



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

***“IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO TIPO BUGUI ELÉCTRICO
RECARGABLE ENCHUFABLE, PARA EL LABORATORIO DE
ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ.”***

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

AUTORES:

Torres Chalá Martin Nicolas

Villacis Ganán Christopher Gabriel

TUTOR:

Yoandrys Morales Tamayo

LA MANÁ – ECUADOR

MARZO 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Torres Chalá Martín Nicolás No. 1728814011, Christopher Gabriel Villacis Ganán No. 1850139401, declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO TIPO BUGUI ELÉCTRICO RECARGABLE ENCHUFABLE, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ.”**, siendo el Phd. Yoandrys Morales Tamayo Tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

La Maná, 17 de marzo del 2026

Villacis Ganán Christopher Gabriel
C.C: 1850139401

Torres Chalá Martín Nicolás
C.C.: 1728814011

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO TIPO BUGUI ELÉCTRICO RECARGABLE ENCHUFABLE, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ.”**, de Martín Nicolás Torres Chalá y Christopher Gabriel Villacis Ganán, , de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, 17 de marzo del 2026



Phd. Yoandrys Morales Tamayo
C.C. 1756958797
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, Carrera de Electromecánica; por cuanto los postulantes: Torres Chalá Martín Nicolás, Christopher Gabriel Villacis Ganán, con el título de proyecto de investigación: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO TIPO BUGUI ELÉCTRICO RECARGABLE ENCHUFABLE, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ."** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

La Maná, marzo 17 del 2026

Para constancia firman:



Ing. Romero Bedón Freddy Rodrigo

C.I 0503499624

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Vázquez Carrera Paco Jovanni

C.I 0501758767

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Borja Borja Cristian Darwin

C.I 1719252585

LECTOR 3 (MIEMBRO)

Agradecimientos

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, por haberme permitido formarme en sus aulas y brindarme las herramientas necesarias para alcanzar esta meta profesional. Mi gratitud eterna a esta noble institución por ser el escenario de mi crecimiento y aprendizaje. Un agradecimiento especial al cuerpo de ingenieros y docentes que conforman la institución. Gracias por compartir su sabiduría, por su exigencia y por guiarnos con ética en cada etapa de nuestra formación. Sus enseñanzas han sido el pilar fundamental para el desarrollo de nuestras capacidades técnicas y humanas. De manera particular, expreso mi sincero agradecimiento al Ing. Joandrys Morales Tamayo, por su valiosa tutoría, su paciencia y sus orientaciones técnicas durante la ejecución de este proyecto. Su guía fue clave para llevar a cabo con éxito el diseño y construcción de nuestro vehículo tipo bugui. Finalmente, agradezco a mi compañero de tesis, Christopher Gabriel Villacis Ganan, por el trabajo en equipo, la perseverancia y el esfuerzo compartido en cada fase de este proceso investigativo.

Martín

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía y fortaleza. Dedico este logro con toda mi alma a mi madre, Marcela Chalá; mamá, eres mi motor, mi refugio y el cimiento de mi perseverancia. Este título es el reflejo de tu sacrificio y amor infinito; sin ti, nada de esto sería posible. A mis hermanos, Eddy y Jhordy, por ser mi sangre, mi primer equipo y la motivación constante para superarme cada día. A Marlon y Christopher, hermanos de vida y de carrera; gracias por ser mi familia en la convivencia y por construir un hogar en cada desvelo compartido. A mi pareja, por ser mi pilar y mi fuerza silenciosa. Gracias por tu amor incondicional, por sostenerme en los momentos de crisis y por ser el equilibrio fundamental que me impulsó a llegar a la meta. A mi mejor amigo, Estuardo Maldonado, por su lealtad inquebrantable y por ser mi hermano de vida en cada batalla. Gracias a mi padre, Jaime Torres, y a Juliana Maldonado por su apoyo y presencia constante. A mis fieles compañeros, Gomita, Macarena y Kratitos, por su alegría. A Blanca Tigasí, por su cariño de madre, y a mi primo en el cielo, cuya luz guía mis pasos."Porque este título no lleva solo mi nombre, sino la huella imborrable de cada uno de sus corazones en mi camino."

Martín

Agradecimiento

“El éxito es la suma de pequeños esfuerzos repartidos días tras días” Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por brindarme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación académica.

De igual manera, agradezco a los ingenieros y docentes de la carrera de ingeniería en electromecánica, quienes compartieron sus conocimientos experiencias y enseñanzas a lo largo de mi formación. A si mismo extendiendo mi gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi-Extensión La Mana por brindar la oportunidad de formarme académicamente y permitir desarrollar el presente trabajo de investigación.

Christopher

Dedicatoria

Dedico este logro a mis padres, Sofía Ganan y Pedro Villacís, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y el mayor apoyo durante todo mi proceso académico. Gracias por su amor, esfuerzo y sacrificio constante, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por motivarme a seguir adelante para alcanzar cada una de mis metas.

Este logro también les pertenece a ustedes, porque con su ejemplo de trabajo, valores y perseverancia me enseñaron que con dedicación y esfuerzo todo es posible. Su apoyo incondicional ha sido la base que permitió culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

Asimismo, dedico este logro a mis hermanos, por su compañía, apoyo y motivación a lo largo de este camino.

De manera especial, a Marlon y Martín, amigos que se han convertido en verdaderos hermanos, con quienes he compartido momentos importantes y quienes han sido un gran apoyo durante este proceso.

Con profundo cariño, amor y respeto, les dedico este logro como muestra de todo lo que han hecho y continúan haciendo por mí.

Christopher

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: “Implementación de un vehículo tipo bugui eléctrico recargable enchufable para el Lab de Electromecánica UTC La Maná”

Autores: Torres Chalá Martín Nicolás
Villacis Ganán Christopher Gabriel

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo diseñar, construir y validar un vehículo tipo bugui eléctrico triciclo, entendiendo por triciclo una configuración vehicular de tres ruedas, destinado al Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado y experimental, orientado a integrar conocimientos de ingeniería mecánica y eléctrica en una solución funcional de movilidad académica y validación técnica.

La metodología se estructuró en fases secuenciales que incluyeron el análisis de requerimientos, el diseño del sistema mecánico y eléctrico, la selección de componentes, la construcción del chasis tubular, la integración del sistema de propulsión, la instalación del sistema de recarga y la validación funcional del prototipo. La configuración de tres ruedas permitió simplificar la estructura, reducir la masa relativa del sistema y facilitar el análisis de estabilidad, distribución de cargas y comportamiento estructural dentro de un entorno académico controlado.

El sistema eléctrico del prototipo quedó conformado por un motor eléctrico de 1500 W y 72 V, un controlador electrónico de 1500 W y 72 V, un banco de baterías de plomo-ácido y un sistema de tracción directa. La selección de estos componentes respondió a criterios de compatibilidad eléctrica, capacidad de respuesta bajo carga, viabilidad económica y funcionamiento seguro del vehículo. De igual manera, el chasis tubular fue fabricado con acero ASTM A36 de 3 mm, por su adecuada combinación entre resistencia mecánica, rigidez, soldabilidad y disponibilidad comercial.

A partir del análisis de carga se determinó una masa total aproximada de 273 kg, valor que sirvió como base para la evaluación estructural del bastidor. Mediante simulación se aplicó el criterio de Von Mises, obteniéndose una tensión equivalente máxima inferior al límite de fluencia del material y un factor de seguridad mínimo de 3,13252, lo cual confirma la viabilidad mecánica del chasis. En el análisis energético, la potencia mecánica ideal de desplazamiento fue de 595,05 W; sin embargo, al incorporar una potencia útil corregida de 1033,45 W y una

eficiencia total del sistema del 82 %, se determinó una demanda eléctrica real de 1260,30 W, valor que justificó técnicamente la selección del motor de 1500 W a 72 V.

Asimismo, a partir de una energía almacenada de 1440 Wh, se estimó un tiempo de operación aproximado de 1,14 h, una autonomía teórica de 17,10 km y una autonomía real corregida de 15,39 km, con un consumo específico de 93,57 Wh/km. Estos resultados son adecuados para fines académicos, didácticos y experimentales dentro del contexto de uso previsto para el prototipo.

En conclusión, el vehículo desarrollado constituye una herramienta didáctica funcional para prácticas de laboratorio, análisis energético, validación estructural y estudio aplicado de sistemas electromecánicos, fortaleciendo la formación práctica de los estudiantes en el área de Electromecánica.

Palabras clave: vehículo eléctrico, bugui triciclo, chasis tubular, análisis estructural, tracción directa, movilidad sostenible.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: “Implementation of a rechargeable and plug-in electric bugui vehicle for the UTC Electromechanics Laboratory, La Maná Campus”

Authors: Torres Chalá Martín Nicolás

Villacis Ganán Christopher Gabriel

ABSTRACT

The objective of this degree project was to design, build, and validate a three-wheeled electric bugui prototype, where “tricycle” refers to a three-wheel vehicle configuration, intended for the Electromechanics Laboratory of the Technical University of Cotopaxi, La Maná Campus. The research followed an applied and experimental approach aimed at integrating mechanical and electrical engineering knowledge into a functional academic mobility and technical validation platform.

The methodology was organized into sequential phases, including requirements analysis, mechanical and electrical system design, component selection, tubular chassis construction, propulsion system integration, charging system installation, and functional validation of the prototype. The three-wheel configuration made it possible to simplify the structure, reduce the relative mass of the system, and facilitate the analysis of stability, load distribution, and structural behavior under controlled academic conditions.

The prototype electrical system consists of a 1500 W, 72 V electric motor, a 1500 W, 72 V electronic controller, a lead-acid battery bank, and a direct-drive traction system. These components were selected based on electrical compatibility, load response capability, economic feasibility, and safe vehicle operation. Likewise, the tubular chassis was manufactured using 3 mm ASTM A36 steel, due to its suitable balance of mechanical strength, rigidity, weldability, and commercial availability.

Based on the load analysis, a total mass of approximately 273 kg was determined and used as the basis for the structural evaluation of the frame. The Von Mises criterion was applied through simulation, obtaining a maximum equivalent stress below the material yield strength and a minimum safety factor of 3.13252, confirming the mechanical feasibility of the chassis. In the energy analysis, the ideal mechanical propulsion power was calculated as 595.05 W; however, after incorporating a corrected useful power of 1033.45 W and an overall system efficiency of

82%, the real electrical input demand was determined to be 1260.30 W, which technically justified the selection of the 1500 W, 72 V motor.

Likewise, based on a stored energy of 1440 Wh, an operating time of approximately 1.14 h, a theoretical range of 17.10 km, and a corrected real range of 15.39 km were estimated, with a specific energy consumption of 93.57 Wh/km. These results are appropriate for academic, didactic, and experimental purposes within the intended operating context of the prototype.

In conclusion, the developed vehicle constitutes a functional teaching tool for laboratory practice, energy analysis, structural validation, and applied study of electromechanical systems, thereby strengthening the practical training of students in the field of Electromechanics.

Keywords: electric vehicle, three-wheeled bugui, tubular chassis, structural analysis, direct drive, sustainable mobility.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
INDICE DE FIGURAS	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xix
1. INFORMACION GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	6
4.1. Beneficiarios Indirectos.....	6
4.2. Beneficiario Directo	6
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	6
5.1. Problema.....	6
5.2. Planteamiento del problema	7
6. OBJETIVOS.....	8
6.1. OBJETIVO GENERAL	8
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
7. Actividades y sistema de tareas respecto a los objetivos planteados.	9
8. MARCO TEÓRICO.....	10
8.1. Introducción al Vehículo Eléctrico.....	10
8.2. Movilidad eléctrica sostenible	11
8.3. Conceptos clave de la movilidad sostenible	11
8.4. Comparación entre vehículo eléctricos y de combustión	12
8.5. Ventajas de motores eléctricos	13
8.6. Desventajas de los motores eléctricos	14

8.7.	Estructura general de un bugui eléctrico triciclo	14
8.8.	Función y diseño del chasis	15
8.9.	Integración de los sistemas eléctricos y mecánicos	16
8.9.1.	Estructura tubular	16
8.9.2.	Motor eléctrico de corriente continua con escobillas (Brushed)	16
8.9.3.	Suspensión	17
8.9.4.	Dirección	17
8.9.5.	Sistema de tracción directa	18
8.9.6.	Controlador electrónico de moto eléctrica	18
8.9.7.	Baterías y almacenamiento de energía	19
8.9.8.	Baterías de plomo-acido para vehículos eléctricos	19
8.9.9.	Consideraciones para el prototipo	20
8.9.10.	Sistema de Control en vehículos eléctricos	20
8.9.11.	Integración de sensores y actuadores	21
8.9.12.	Sistema de suspensión	21
8.9.13.	Masa suspendida y masa no suspendida.....	22
8.9.14.	Masa suspendida.....	22
8.9.15.	Masa no suspendida.....	23
8.9.16.	Evolución Histórica del Bugui y de los vehículos eléctricos	23
8.9.17.	Evolución del bugui.....	23
8.9.18.	Diseño del Vehículo Eléctrico Tipo Bugui.....	24
8.9.19.	Estética, Funcionalidad y Operación	24
8.9.20.	Configuración de Ruedas.....	25
8.9.21.	Innovaciones en la movilidad eléctrica	26
8.9.22.	Reducción de emisiones y sustentabilidad energética	27
8.9.23.	Infraestructura de carga y estrategia de recarga parcial	28

8.9.24.	Estrategias para aumentar la autonomía de un vehículo eléctrico tipo bugui triciclo recargable	29
8.9.25.	Impacto ambiental comparado con vehículos a combustión	31
8.9.26.	Aplicación Social del Vehículo Eléctrico en Comunidades Rurales.....	32
8.9.27.	Vulnerabilidad de las redes eléctricas rurales ante la carga simultánea de vehículos eléctricos	34
8.9.28.	Normativas Técnicas Y Reglamentación	35
9.	HIPÓTESIS	37
10.	METODOLOGÍA.....	37
10.1.	Tipo y enfoque de la investigación.....	37
10.2.	Tipo y enfoque de la investigación.....	38
10.3.	Fases de la metodología.....	39
10.3.1.	Enfoque metodológico por fases	39
10.3.2.	Fase 1: Análisis del problema y definición de requerimientos.....	39
10.3.3.	Fase 2: Diseño del sistema mecánico (chasis).....	40
10.3.4.	Fase 3: Diseño del sistema eléctrico y electrónico	42
10.3.5.	Fase 4: Selección y adquisición de componentes.....	43
10.3.6.	Fase 5: Construcción y ensamblaje del prototipo.....	43
10.3.7.	Fase 6: Integración del sistema y pruebas funcionales.....	46
10.3.8.	Fase 7: Evaluación y validación del prototipo.....	46
10.4.	Técnicas, instrumentos y herramientas empleadas.....	48
10.5.	Técnicas de investigación empleadas	48
10.5.1.	Investigación documental	48
10.5.2.	Investigación experimental.....	49
10.5.3.	Observación técnica directa.....	49
10.6.	Instrumentos utilizados en la investigación.....	49
10.7.	Herramientas de diseño, simulación y construcción	51

10.7.1.	Software de diseño y simulación	51
10.7.2.	Herramientas de taller.....	51
10.8.	Importancia del uso integrado de técnicas e instrumentos	51
10.9.	Cronograma de actividades (Diagrama de Gantt)	52
10.10.	Descripción de las fases incluidas en el cronograma	52
10.10.1.	Fase 1: Análisis del problema y definición de requerimientos.....	52
10.10.2.	Fase 2: Diseño del sistema mecánico (chasis).....	52
10.10.3.	Fase 3: Diseño del sistema eléctrico y electrónico	53
10.10.4.	Fase 4: Selección y adquisición de componentes	53
10.10.5.	Fase 5: Construcción y ensamblaje del prototipo	53
10.10.6.	Fase 6: Integración del sistema y pruebas funcionales.....	53
10.10.7.	Fase 7: Evaluación, análisis de resultados y validación del prototipo.....	53
10.11.	Importancia del diagrama de Gantt en el proyecto.....	53
10.12.	Cálculo de la capacidad de carga del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo.....	54
10.12.1.	Objetivo del apartado:	54
10.12.2.	Consideraciones iniciales del cálculo	54
10.12.3.	Determinación de los pesos que conforman la carga total	55
10.12.4.	Conversión de peso a carga en Newtons	57
10.12.5.	Análisis técnico del resultado	57
10.12.6.	Definición de la carga total del vehículo	58
10.12.7.	Peso del sistema eléctrico y mecánico.....	58
10.12.8.	Peso de los ocupantes (carga útil).....	59
10.12.9.	Cálculo de la carga total del vehículo.....	59
10.12.10.	Consideraciones de seguridad estructural.....	60
10.12.11.	Importancia del cálculo de carga en el diseño del bugui.....	60
10.13.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL BUGUI ELÉCTRICO.....	61

10.13.1.	Descripción general del sistema de propulsión	61
10.13.2.	Potencia requerida para el desplazamiento del bugui.....	61
10.13.3.	Relación peso–potencia del vehículo	63
10.13.4.	Análisis del torque requerido en las ruedas	64
10.13.5.	Justificación técnica del motor seleccionado.....	65
10.13.6.	Justificación técnica del controlador seleccionado.....	68
10.14.	Cálculo de la autonomía estimada del vehículo eléctrico tipo bugui	70
10.14.1.	Fundamentos teóricos de la autonomía en vehículos eléctricos	70
10.14.2.	Características del sistema de almacenamiento energético	70
10.14.3.	Consumo energético del motor eléctrico	71
10.14.4.	Estimación del tiempo de operación.....	71
10.14.5.	Estimación de la autonomía en kilómetros.....	72
10.14.6.	Ajuste por pérdidas del sistema	73
10.14.7.	Análisis del balance energético (Wh/km).....	74
10.14.8.	Discusión técnica	75
10.15.	Análisis estructural del chasis del vehículo tipo bugui.....	76
10.15.1.	Función estructural del chasis tubular	76
10.15.2.	Material seleccionado: acero estructural ASTM A36 de 3mm	76
10.15.3.	Geometría del perfil estructural	79
4.4.4	Cálculo del área de la sección transversal	82
10.15.4.	Análisis de carga aplicada sobre el chasis	83
10.15.5.	Esfuerzo equivalente en el chasis según el criterio de Von Mises	88
10.15.6.	Verificación del factor de seguridad.....	91
10.15.7.	Consideraciones dinámicas y operativas	93
10.15.8.	Conclusión del análisis estructural	94
10.16.	Análisis del sistema de frenado y seguridad del vehículo	95

10.17.	Análisis estructural del chasis del vehículo tipo bugui triciclo	97
10.17.1.	Cargas consideradas en el análisis estructural	97
10.17.2.	Comportamiento estructural y distribución de esfuerzos	98
10.17.3.	Consideraciones del proceso de fabricación.....	98
10.17.4.	Validación estructural del diseño	99
10.18.	Análisis del sistema de recarga eléctrica	99
11.	4.8 Análisis de costos del prototipo del bugui eléctrico	101
12.	ANALISIS Y RESULTADOS	104
12.1.	Análisis de resultados de las pruebas experimentales	104
12.1.1.	Análisis de la velocidad promedio obtenida.....	104
12.1.2.	Análisis de la autonomía del vehículo	105
12.1.3.	Análisis del consumo energético observado.....	106
12.1.4.	Validación estructural del chasis mediante inspección visual (VT).....	106
12.1.5.	Síntesis técnica de los resultados.....	107
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
13.1.	Conclusiones.....	108
13.1.1.	Conclusión 1.....	108
13.1.2.	Conclusión 2.....	108
13.1.3.	Conclusión 3.....	108
13.1.4.	Conclusión 4.....	109
13.1.5.	Conclusión 5.....	109
13.2.	Recomendaciones	109
13.2.1.	Recomendación 1.	109
13.2.2.	Recomendación 2.	110
13.2.3.	Recomendación 3.	110
	BIBLIOGRAFIA	111

ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
--------------	-------------------------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas con relación a los objetivos	9
Tabla 2. Estimación del peso del sistema eléctrico y mecánico del vehículo tipo bugui triciclo	58
Tabla 3. Estimación de costos del prototipo del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo.....	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Chasis tubular de vehículo tipo bugui eléctrico triciclo.[4]	15
Figura 2. Plano acotado del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.	16
Figura 3. Motor eléctrico [4]	17
Figura 4. Dirección por barras [4]	18
Figura 5. Prototipo del bugui eléctrico triciclo durante la fase de pruebas de construcción. ..	26
Figura 6. Distribución del factor de seguridad en el chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.	26
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de armado del chasis del bugui eléctrico.	41
Figura 8. Diagrama de flujo de la instalación del sistema eléctrico del vehículo tipo bugui eléctrico.	46
Figura 9. Cronograma de actividades del proyecto (Diagrama de Gantt).....	54
Figura 10. Propiedades del material empleadas en la simulación estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.	79
Figura 11. Propiedades geométricas de la sección y modelo de viga del chasis tubular en la simulación estructural.....	81
Figura 12. Propiedades del material y de la sección transversal empleadas en la simulación estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.	82
Figura 13. Aplicación de la carga lateral en el modelo estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.	87
Figura 14. Resumen de resultados estáticos y mapa de desplazamiento del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15. Resumen de resultados del análisis estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.....	90
Figura 16. Configuración de cargas y reporte del análisis de factor de seguridad del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.....	92

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Peso del Chasis	55
Ecuación 2. Peso del sistema de propulsión eléctrica	55
Ecuación 3. Peso del banco de baterías	56
Ecuación 4. Peso de los ocupantes	56
Ecuación 5. Cálculo del peso total del vehículo	56
Ecuación 6. Valor del peso total del vehículo	57
Ecuación 7. Cálculo de la fuerza en función de la masa y la aceleración gravitacional.	57
Ecuación 8. Valor de la fuerza en función de la masa y la aceleración gravitacional.	57
Ecuación 9. Peso del sistema eléctrico y mecánico	59
Ecuación 10. Peso de los ocupantes (carga útil).....	59
Ecuación 11. Cálculo de la carga total del vehículo	59
Ecuación 12. Valor de la carga total del vehículo	60
Ecuación 13. Cálculo del Peso del Diseño	60
Ecuación 14. Valor del Peso del Diseño.....	60
Ecuación 15. Cálculo de la Fuerza de Resistencia a la Rodadura	62
Ecuación 16. Cálculo de la potencia mecánica ideal de desplazamiento	62
Ecuación 17. Cálculo de la potencia eléctrica real de entrada.....	63
Ecuación 18. Relación peso–potencia del vehículo.....	63
Ecuación 19. Valor de la Relación peso–potencia del vehículoEste valor se encuentra dentro de los rangos aceptables para vehículos eléctricos ligeros de uso académico y experimental, indicando que el motor seleccionado presenta una capacidad adecuada para movilizar el bugui eléctrico triciclo sin comprometer el desempeño general del sistema.....	64
Ecuación 20. Ecuación del torque requerido en las ruedas	64
Ecuación 21. Valor del torque requerido en las ruedas	65
Ecuación 22. Cálculo de la energía total almacenada.....	70
Ecuación 23. Valor de la energía total almacenada.....	71
Ecuación 24. Valor del Consumo energético del motor eléctrico	71
Ecuación 25. Estimación del tiempo de operación.....	72
Ecuación 26. Valor del tiempo de operación.....	72
Ecuación 27. Estimación de la autonomía en kilómetros	72
Ecuación 28. Valor de la Estimación de la Autonomía en kilómetros	73

Ecuación 29. Cálculo de la Autonomía Real	73
Ecuación 30. Valor de la Autonomía Real	73
Ecuación 31. Cálculo del Consumo Energético Especifico.....	74
Ecuación 32. Valor del consumo energético específico	74
Ecuación 33. Cálculo del área de la sección transversal	83
Ecuación 34. Valor del área de la sección transversal.....	83
Ecuación 35. Cálculo del impacto frontal	84
Ecuación 36. Valor del Impacto Frontal.....	84
Ecuación 37. Cálculo de Impacto Frontal por Nodo	85
Ecuación 38. Valor de Impacto Frontal por Nodo.....	85
Ecuación 39. Cálculo del Impacto Lateral.....	86
Ecuación 40. Valor del Impacto Lateral	86
Ecuación 41. Cálculo de Impacto Lateral por Nodo.....	86
Ecuación 42. Valor de Impacto Lateral por Nodo	86
Ecuación 43. Valor Máximo de Esfuerzo Equivalente.....	88
Ecuación 44. Límite de Fluencia del Material Utilizado	88
Ecuación 45. Cálculo de Factor de Seguridad	91
Ecuación 46. Valor del Factor de Seguridad Mínimo	91
Ecuación 47. Potencia de Carga	100
Ecuación 48. Valor de la Potencia de Carga	100
Ecuación 49. Cálculo de Tiempo Estimado de Carga	100
Ecuación 50. Valor del Tiempo Estimado de Carga.....	101

1. INFORMACION GENERAL

Título del proyecto

“IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO TIPO BUGUI ELÉCTRICO RECARGABLE ENCHUFABLE, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ.”

Fecha de inicio:	Abril del 2025
Fecha de finalización:	Marzo del 2026
Lugar de ejecución:	Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
Unidad académica que auspicia	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA
Carrera que auspicia	Ingeniería Electromecánica
Proyecto de investigación vinculado:	
Equipo de trabajo:	
Tutor del proyecto	Phd.Yoandrys Morales Tamayo
Postulantes	Sr. Martín Nicolás Torres Chalá Sr. Christopher Gabriel Villacis Ganán
Área:	Ingeniería, Industria y construcción .
Línea de Investigación:	Energías alternativas y renovables.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la movilidad eléctrica representa una de las transformaciones tecnológicas más relevantes dentro del campo del transporte y la ingeniería aplicada, debido a la necesidad de desarrollar soluciones energéticamente más eficientes, ambientalmente sostenibles y técnicamente innovadoras. El progresivo agotamiento de los combustibles fósiles, junto con el impacto ambiental derivado de su uso intensivo, ha impulsado la búsqueda de alternativas capaces de reducir emisiones contaminantes y mejorar el aprovechamiento de la energía. En este contexto, los vehículos eléctricos han adquirido gran importancia, no solo como medio de transporte alternativo, sino también como plataforma de investigación, desarrollo tecnológico y formación académica en áreas como la ingeniería mecánica, eléctrica y electromecánica. [1]

En el ámbito universitario, la implementación de prototipos eléctricos permite trasladar los conocimientos teóricos a escenarios reales de experimentación, favoreciendo una formación más sólida y aplicada. En la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, esta necesidad se vuelve especialmente importante, ya que la disponibilidad de equipos didácticos funcionales contribuye directamente al fortalecimiento de las competencias técnicas de los estudiantes. A pesar de ello, en muchos casos el aprendizaje permanece limitado al análisis conceptual, sin contar con prototipos reales que permitan validar el comportamiento de sistemas eléctricos, mecánicos y estructurales en condiciones de operación práctica. [2]

Frente a esta problemática, la presente investigación propone el diseño, construcción y validación de un vehículo tipo bugui eléctrico triciclo, entendiendo por triciclo una configuración vehicular de tres ruedas, concebido como prototipo funcional para el Laboratorio de Electromecánica. La elección de esta configuración responde a criterios de simplificación estructural, facilidad de fabricación, reducción relativa de peso y posibilidad de análisis técnico integral dentro de un contexto académico. El desarrollo del proyecto no solo busca construir un vehículo eléctrico operativo, sino también generar una herramienta didáctica que permita estudiar de manera práctica variables como potencia, torque, consumo energético, autonomía, estabilidad estructural y comportamiento del sistema de propulsión. [3]

Dentro del proceso de diseño del prototipo, una de las decisiones más relevantes fue la selección de los componentes principales del sistema de propulsión y del material estructural del bastidor. Esta elección no se realizó de forma arbitraria, sino con base en criterios de compatibilidad

eléctrica, seguridad mecánica, capacidad de carga, facilidad de manufactura y viabilidad económica. En este sentido, se seleccionó un motor eléctrico de 1500 W a 72 V, debido a que esta configuración proporciona una reserva de potencia suficiente para movilizar el vehículo bajo condiciones reales de uso, considerando la masa total del sistema, el peso del chasis, el banco de baterías y la carga útil correspondiente a los ocupantes. Aunque una alternativa de menor potencia, como un motor de 1000 W a 48 V, podría resultar funcional en condiciones más limitadas, su capacidad de respuesta sería inferior frente a exigencias de arranque, aceleración, desplazamiento con carga y variaciones dinámicas propias de un vehículo experimental de tres ruedas. [4]

Esta decisión fue respaldada por el cálculo de la demanda eléctrica real del sistema, la cual, al considerar una potencia útil corregida de 1033,45 W y una eficiencia total del 82 %, alcanzó un valor de 1260,30 W, justificando técnicamente la selección de un motor de 1500 W a 72 V con un margen de seguridad operacional aproximado del 16 %. [4]

De manera complementaria, se eligió un controlador de 1500 W a 72 V, ya que este componente debía mantener compatibilidad directa con la potencia nominal del motor y con el banco de baterías seleccionado para el sistema. La correspondencia entre voltaje, potencia y capacidad de regulación del controlador permite una entrega de energía más segura, estable y progresiva, evitando sobrecargas, reduciendo pérdidas eléctricas y mejorando la eficiencia global del sistema motriz. Asimismo, el uso de un sistema de 72 V ofrece ventajas en términos de operación eléctrica, debido a que permite trabajar con corrientes relativamente menores para una misma potencia, disminuyendo pérdidas por calentamiento y mejorando el desempeño del conjunto. [5]

En cuanto al diseño estructural, se seleccionó acero ASTM A36 de 3 mm para la fabricación del chasis tubular, debido a que este material presenta una combinación adecuada de resistencia mecánica, rigidez, soldabilidad, disponibilidad comercial y costo. Su elección resulta conveniente para un proyecto académico de ingeniería aplicada, ya que permite construir un bastidor resistente y confiable sin recurrir a materiales de mayor costo o menor accesibilidad. El espesor de 3 mm fue considerado apropiado porque proporciona una sección suficientemente robusta para soportar las cargas previstas en el prototipo sin incrementar de manera excesiva la masa total del vehículo. Un espesor menor habría reducido la capacidad resistente del chasis, mientras que un espesor mayor habría incrementado innecesariamente el peso estructural, afectando el desempeño energético y la autonomía del sistema. [6]

Estas decisiones de diseño fueron respaldadas mediante cálculos de carga, comparación técnica de alternativas y análisis estructural por simulación. A partir de la evaluación del prototipo se determinó una masa total aproximada de 273 kg, incluyendo estructura, sistema eléctrico y ocupantes. Sobre esa base, se analizaron condiciones equivalentes de impacto y sollicitación estructural, obteniéndose resultados que evidenciaron un comportamiento adecuado del bastidor tubular. El análisis mecánico mostró una tensión máxima equivalente de Von Mises inferior al límite de fluencia del material y un factor de seguridad mínimo de 3.13252, lo cual confirma la viabilidad estructural del diseño adoptado. [7]

Desde la perspectiva energética, el proyecto también permitió estimar la autonomía y el desempeño general del sistema de propulsión, demostrando que el prototipo puede operar dentro de condiciones adecuadas para el entorno académico previsto. De esta manera, el bugui eléctrico triciclo no solo se concibe como un vehículo experimental, sino como una herramienta de aprendizaje que facilita el estudio práctico de sistemas electromecánicos, la validación de cálculos de diseño y la integración de conocimientos multidisciplinarios en un producto tecnológico funcional. [8]

En consecuencia, la investigación adquiere relevancia tanto por su aporte técnico como por su valor formativo. El desarrollo de este prototipo fortalece el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro del Laboratorio de Electromecánica, promueve la innovación tecnológica en el ámbito universitario y demuestra la posibilidad de convertir conceptos teóricos en soluciones aplicadas de alto valor académico. Bajo esta perspectiva, el presente trabajo se orienta a justificar, desarrollar y validar un vehículo eléctrico recargable y enchufable que responda a necesidades reales de formación experimental, consolidándose como una propuesta pertinente para el fortalecimiento de la ingeniería electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. [9]

3. JUSTIFICACIÓN

El aprendizaje de la Ingeniería Electromecánica no puede limitarse a la revisión teórica en las aulas; exige, por naturaleza, una conexión directa con la práctica experimental. Actualmente, la carrera en la UTC Extensión La Maná enfrenta el desafío de dotar a sus laboratorios de herramientas tangibles que permitan a los estudiantes interactuar con tecnologías vigentes, como la movilidad eléctrica. En este contexto, la implementación del presente vehículo tipo bugui no tiene como único propósito simplemente crear un medio de transporte, sino establecer un banco de pruebas móvil y funcional de variables electromecánicas. Esta plataforma permitirá que docentes y alumnos complementen las simulaciones virtuales con pruebas experimentales reales, fortaleciendo la validación de modelos teóricos así también se analicen, en un entorno real, variables críticas como el torque, el rendimiento de las baterías y la eficiencia energética. [10]

Desde una perspectiva técnica, el diseño del prototipo es una respuesta directa a las condiciones operativas del entorno. Dado que la orografía del cantón La Maná y del campus universitario es predominantemente plana, se determinó que un sistema de propulsión de 1500 W a 72V es la opción más eficiente, pues entrega la potencia necesaria para transportar a dos personas sin caer en el sobredimensionamiento ni en el desperdicio de energía. De igual forma, la elección del material para el chasis responde a una necesidad de durabilidad: al utilizar acero estructural A36 de 3 mm de espesor, se garantiza que la estructura soporte el trato rudo y constante propio de las prácticas estudiantiles, asegurando una larga vida útil al equipo más allá de su función estética. En términos de dimensionamiento, esta elección quedó sustentada por una demanda eléctrica real estimada de 1260,30 W, obtenida al incorporar una eficiencia total del sistema del 82 %, lo que confirma que el motor de 1500 W a 72 V ofrece una reserva de potencia técnicamente adecuada sin incurrir en un sobredimensionamiento excesivo. [11]

Finalmente, la viabilidad económica ha sido un factor decisivo en la ingeniería del proyecto. Se optó por un banco de baterías de ácido-plomo en lugar de litio, priorizando la facilidad de mantenimiento y la disponibilidad de repuestos en el mercado local, lo cual asegura que el vehículo no quede inoperativo por falta de insumos costosos o difíciles de conseguir. Así, este proyecto no solo aporta una solución de movilidad interna libre de emisiones, alineándose con el cuidado ambiental, sino que demuestra cómo la ingeniería funcional puede resolver problemas locales con recursos accesibles y sostenibles. [12]

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios Indirectos

- Estudiantes, profesores e investigadores de áreas técnicas.
- Instituciones educativas y centros de formación.
- Empresas del sector automotriz y tecnológico.
- Comunidad interesada en movilidad sostenible.

4.2. Beneficiario Directo

Comunidad académica y científica nacional, al contar con un prototipo funcional de bugui eléctrico para fines educativos y de investigación.

Los beneficiarios del presente proyecto se clasifican en directos e indirectos, considerando el impacto académico, técnico y social de la implementación del vehículo eléctrico tipo bugui. Los beneficiarios directos corresponden principalmente a los estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. El prototipo permitirá reforzar el aprendizaje práctico en asignaturas relacionadas con máquinas eléctricas, sistemas de potencia, diseño mecánico y eficiencia energética, facilitando la validación experimental de conceptos teóricos mediante un sistema real y funcional. [13]

De manera indirecta, el proyecto beneficia a otras instituciones educativas, investigadores y profesionales del área técnica que podrán tomar como referencia el diseño y metodología aplicada. Asimismo, contribuye a la sociedad al fomentar el uso de tecnologías limpias y accesibles, promoviendo la movilidad eléctrica como alternativa sostenible en entornos rurales y académicos. [14]

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Problema

En la actualidad, la movilidad eléctrica ha representado un campo de creciente desarrollo, orientado a la búsqueda de soluciones eficientes y sostenibles, Sin embargo, muchos de los proyectos solo se quedan en etapas teóricas o conceptuales, sin llegar a implementarlo de una manera completamente funcional ni a demostrar su operatividad en condiciones reales. Por lo cual surge una necesidad del diseño y construcción de un vehículo eléctrico tipo bugui el cual sea plenamente funcional, con lo cual sea capaz de poner en práctica los principios de la ingeniería y demostrando el funcionamiento integral de un sistema electromecánico. [15] Su

principal desafío no radica únicamente en la implementación de componentes eléctricos, sino en el logro de la integración eficiente en todos los sistemas como, propulsión, control, estructura y energía, para garantizar un desempeño óptimo. El proyecto está enfocado en su desarrollo técnico y funcional del vehículo, desde su diseño hasta su puesta en marcha, con el propósito de validar su operatividad mediante pruebas prácticas. [16] De esta manera, el planteamiento está orientado en poder comprobar que, si es posible desarrollar un vehículo eléctrico el cual no solo sea un planteamiento teórico, sino una máquina funcional y operativa siendo como resultado el trabajo aplicado de la ingeniería. [17]

5.2.Planteamiento del problema

El Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, presenta limitaciones en cuanto a equipos didácticos funcionales que permitan a los estudiantes aplicar de manera práctica los conocimientos teóricos relacionados con sistemas de tracción eléctrica, almacenamiento de energía y transmisión de potencia. La ausencia de un prototipo real de vehículo eléctrico dificulta la comprensión integral del funcionamiento de estos sistemas, reduciendo las oportunidades de aprendizaje experimental. [18]

Si bien la movilidad eléctrica ha experimentado un crecimiento significativo a nivel mundial, su aplicación práctica en entornos académicos locales aún es limitada, especialmente en instituciones que no disponen de prototipos adaptados a fines educativos. Esta situación genera una brecha entre la formación teórica impartida en el aula y la experiencia práctica requerida en el ejercicio profesional de la ingeniería electromecánica. [19]

En este contexto, surge la necesidad de diseñar, construir y validar experimentalmente un vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo (tres ruedas), que permita evaluar de manera didáctica el comportamiento estructural, mecánico y eléctrico del sistema bajo condiciones reales de operación. La implementación de esta configuración responde a criterios de simplicidad constructiva, reducción de costos y facilidad de mantenimiento, además de permitir el análisis de estabilidad dinámica y distribución de cargas en una estructura no convencional. [20]

El desarrollo de este prototipo facilitará a los estudiantes el análisis de variables reales como consumo energético, capacidad de carga, desempeño del sistema de tracción y comportamiento estructural ante esfuerzos dinámicos, fortaleciendo así las competencias técnicas y experimentales fundamentales en su formación profesional. [21]

6. OBJETIVOS

6.1.OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo (tres ruedas) mediante el diseño, construcción y validación de un prototipo electromecánico impulsado por un motor eléctrico, que incorpore principios de ingeniería mecánica y eléctrica, promoviendo el uso de energías limpias y el desarrollo tecnológico en el ámbito electromecánico.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el sistema mecánico y eléctrico del vehículo tipo bugui de tres ruedas, considerando criterios de estabilidad estructural y distribución de cargas.
- Seleccionar los componentes del tren motriz eléctrico (motor, baterías, controlador y sistema de transmisión) conforme a los requerimientos técnicos y operativos del prototipo.
- Construir el prototipo del bugui eléctrico triciclo, realizando los ajustes técnicos necesarios para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente.
- Analizar el comportamiento estructural del chasis ante cargas estáticas y dinámicas, verificando su resistencia y factor de seguridad.
- Validar experimentalmente el funcionamiento del vehículo eléctrico mediante pruebas prácticas de carga, consumo energético, desempeño del sistema de tracción y estabilidad dinámica, comprobando el cumplimiento de los parámetros de diseño establecidos.

7. Actividades y sistema de tareas respecto a los objetivos planteados.

En este apartado se puede visualizar en la tabla donde se detalla las actividades y las relaciones con los objetivos que se plantearon.

Tabla 1. *Actividades y sistema de tareas con relación a los objetivos*

Objetivos	Actividad	Resultado de la Actividad	Metodología
Diseñar el sistema mecánico y eléctrico del vehículo tipo bugui de configuración triciclo, considerando estabilidad estructural y distribución de cargas.	Elaborar planos técnicos, modelado 3D del chasis triciclo y simulaciones estructurales mediante software CAD/CAE.	Diseño técnico validado del sistema mecánico y eléctrico del vehículo triciclo.	Análisis de requerimientos técnicos, modelado en software CAD (AUTOCAD / Inventor), simulaciones por elementos finitos (FEA) y revisión de criterios de estabilidad dinámica.
Seleccionar los componentes del tren motriz eléctrico (motor, baterías, controlador y sistema de acople motriz) conforme a los requerimientos técnicos del prototipo.	Realizar estudios comparativos de componentes eléctricos y mecánicos considerando peso, potencia y eficiencia energética.	Lista técnica de componentes seleccionados con justificación técnica.	Investigación de fichas técnicas, análisis de desempeño energético, cálculo de potencia requerida y consultas con proveedores especializados.
Construir el prototipo del bugui eléctrico triciclo evaluando su funcionamiento y realizando ajustes técnicos necesarios.	Ensamblaje del chasis triciclo, instalación del sistema eléctrico y ejecución de pruebas preliminares.	Prototipo funcional con ajustes técnicos validados.	Trabajo en taller, aplicación de procedimientos de ensamblaje, pruebas de campo y registro técnico en bitácoras.

Analizar el comportamiento estructural del chasis ante cargas estáticas y dinámicas propias de la configuración de tres ruedas.	Aplicar cargas equivalentes de impacto frontal y lateral y evaluar el factor de seguridad estructural.	Informe técnico de esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad.	Cálculo analítico de cargas (g), simulación FEA y verificación del factor de seguridad del material.
Validar experimentalmente el desempeño del vehículo eléctrico triciclo.	Realizar pruebas prácticas de carga, consumo energético, estabilidad dinámica y comportamiento en movimiento.	Resultados experimentales que verifiquen el cumplimiento de los parámetros de diseño.	Pruebas de desempeño en entorno controlado, medición de consumo energético y análisis comparativo con los parámetros teóricos.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

8. MARCO TEÓRICO

8.1.Introducción al Vehículo Eléctrico

La mayoría de vehículos eléctricos usan la electricidad como el combustible principal o para la mejora de la eficiencia en los diseños de vehículos convencionales. Los EV incluyen vehículos todo eléctrico o a su vez conocidos también como vehículos eléctricos de batería, y vehículos eléctricos híbridos enchufables. Principalmente estos vehículos se los conoce como autos eléctricos, o simplemente EV, aunque algunos de estos vehículos aun usan los combustibles líquidos junto con la electricidad. La ventaja de este sistema es que nos brinda una aceleración rápida y una experiencia silenciosa al conducir. Otros tipos de vehículos de propulsión eléctricas que no son contemplados aquí incluyen a los que son los vehículos híbridos, los cuales funcionan con dos motores uno llamado convencional mientras el otro es un motor eléctrico la cual utiliza la energía almacenada la cual es tomada de una batería que se carga mediante el freno regenerativo, no enchufándola y los vehículos eléctricos de pila de combustible, el cual utiliza un sistema de propulsión similar al de los vehículos eléctricos, donde una energía almacenada como hidrógeno es convertida en electricidad por la pila de combustible.[1]

8.2.Movilidad eléctrica sostenible

La movilidad eléctrica representa una alternativa tecnológica sostenible frente a los sistemas tradicionales de combustión interna. En este contexto, los vehículos eléctricos emplean energía almacenada en baterías para alimentar un motor eléctrico que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Dentro de esta clasificación se encuentran diversas configuraciones estructurales, entre ellas los vehículos de cuatro ruedas (cuadriciclos) y los vehículos de tres ruedas o triciclos eléctricos. El prototipo desarrollado en esta investigación corresponde a un vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo, diseñado con fines didácticos y experimentales. [2]

La movilidad eléctrica se basa en los sistemas y equipos que apoyan al traslado de pasajeros y carga por medio de los transportes eléctricos. Los medios de transporte eléctrico incluyen a cualquier tipo de transporte que sea impulsado directamente por la electricidad, desde la micro movilidad como los Scooter eléctricos y bicicletas eléctricas ya sea de pedal o asistidas, vehículos de 2 y 3 ruedas las cuales sean totalmente motorizadas, como calesas eléctricas y bicicletas de carga eléctrica, y también los vehículos de 4 ruedas como los automóviles y furgonetas, hasta camiones, autobuses, trolebuses tranvías, trenes, aviones y transbordadores. Esta definición no abarca lo que son los vehículos híbridos, como automóviles o trenes, los cuales funcionan con motores de combustión interna y eléctricos. Los vehículos eléctricos de celda de combustible impulsados por hidrógenos son otra alternativa a los motores de combustión interna convencionales, en particular para algunas aplicaciones que generalmente requieren los niveles más altos de almacenamiento de la densidad energética. Se considera que estos vehículos para el transporte de carretera no están del todo desarrollados para su implementación inmediata.[2]

8.3.Conceptos clave de la movilidad sostenible

La movilidad sostenible implica una transformación estructural de los sistemas de transporte tradicionales hacia modelos energéticamente eficientes, ambientalmente responsables y técnicamente viables. Su objetivo principal es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuir la dependencia de combustibles fósiles y optimizar el uso de recursos energéticos, promoviendo alternativas basadas en energías limpias. [3]

En este contexto, la movilidad eléctrica se consolida como una de las principales estrategias para avanzar hacia sistemas de transporte más sostenibles. Los vehículos eléctricos permiten

eliminar las emisiones directas durante su operación y mejorar la eficiencia energética en comparación con los sistemas de combustión interna. No obstante, su impacto ambiental total depende también de la fuente de generación de la energía eléctrica utilizada para su recarga. [4]

Desde el ámbito académico y tecnológico, el desarrollo de prototipos eléctricos de pequeña escala, como el vehículo tipo bugui de configuración triciclo propuesto en esta investigación, contribuye a la formación práctica en energías limpias, eficiencia energética y diseño electromecánico sostenible. Este tipo de iniciativas permite analizar variables reales como consumo energético, autonomía, distribución de cargas y estabilidad estructural, fortaleciendo el enfoque experimental de la movilidad sostenible en entornos educativos. [5]

De esta manera, la movilidad sostenible no solo se concibe como un cambio en la matriz energética del transporte, sino también como una oportunidad para innovar en diseño estructural, optimización de materiales y desarrollo tecnológico aplicado a sistemas eléctricos de tracción.[2]

8.4.Comparación entre vehículo eléctricos y de combustión

Los vehículos eléctricos presentan ventajas significativas frente a los vehículos de combustión interna, especialmente en términos de emisiones contaminantes y eficiencia energética. Durante su operación, los vehículos eléctricos no generan emisiones directas de gases de efecto invernadero, a diferencia de los motores de combustión que liberan dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y otras partículas contaminantes derivadas de la quema de combustibles fósiles.[1]

Desde el punto de vista energético, los motores eléctricos presentan una eficiencia considerablemente superior. Mientras que un motor de combustión interna convierte aproximadamente entre el 20 % y el 40 % de la energía del combustible en energía útil, los motores eléctricos pueden alcanzar eficiencias superiores al 85 %–90 %, reduciendo pérdidas térmicas y mejorando el aprovechamiento energético.[1]

En términos de funcionamiento, el motor eléctrico opera mediante la interacción de campos magnéticos generados por bobinas energizadas, transformando energía eléctrica en energía mecánica con menor número de componentes móviles en comparación con un motor de combustión interna. Esta característica reduce la necesidad de sistemas auxiliares complejos, como sistemas de refrigeración extensivos, lubricación constante y múltiples etapas de transmisión, lo que disminuye los costos de mantenimiento. [6]

No obstante, los vehículos eléctricos presentan desafíos relacionados con la autonomía y el almacenamiento energético. La energía utilizada proviene de un banco de baterías que debe ser recargado periódicamente, lo que puede implicar tiempos de recarga superiores al tiempo de repostaje de combustible en vehículos convencionales. Además, el impacto ambiental total depende de la fuente de generación eléctrica utilizada para su carga. [7]

En el contexto del prototipo desarrollado en esta investigación, el uso de un sistema eléctrico en una configuración triciclo permite analizar de manera práctica las ventajas energéticas del motor eléctrico, así como evaluar parámetros técnicos como consumo, eficiencia, autonomía y comportamiento estructural, integrando criterios de sostenibilidad y optimización mecánica en un entorno académico controlado.[3]

8.5.Ventajas de motores eléctricos

Una de las principales ventajas de los motores eléctricos es que no requieren combustión de combustibles fósiles para su funcionamiento, lo que elimina las emisiones directas de gases contaminantes durante su operación. Esta característica contribuye significativamente a la reducción de la huella ambiental en comparación con los motores de combustión interna. [8]

Desde el punto de vista constructivo, el motor eléctrico presenta una estructura más compacta y mecánicamente más simple, ya que posee un menor número de componentes móviles. A diferencia de los motores de combustión interna, no requiere sistemas complejos de lubricación, múltiples etapas de refrigeración ni procesos de combustión interna controlada, lo que reduce los costos de mantenimiento y la probabilidad de fallas mecánicas. Asimismo, el funcionamiento del motor eléctrico se basa en la interacción de campos magnéticos generados por bobinas energizadas, lo que permite una entrega de torque inmediata desde bajas revoluciones. Esta característica mejora la respuesta dinámica del vehículo y optimiza el desempeño en condiciones de aceleración y arranque. [9]

Otra ventaja relevante es su alta eficiencia energética. Los motores eléctricos pueden alcanzar eficiencias cercanas al 90 %, mientras que los motores de combustión interna generalmente operan con eficiencias entre el 20 % y el 40 %, debido a pérdidas térmicas y limitaciones termodinámicas inherentes al proceso de combustión. En el caso del prototipo de vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo desarrollado en esta investigación, el uso de un motor eléctrico permite simplificar el sistema de transmisión, reducir el peso estructural y

optimizar el aprovechamiento energético, aspectos fundamentales para mejorar la estabilidad y el desempeño del sistema en un entorno experimental académico.[3]

8.6.Desventajas de los motores eléctricos

Su principal desventaja y así mismo la más importante es su autonomía ya que este tiene el coche eléctrico sin conectarlo a la red. El hecho de que los 100 a 120 kilómetros de viaje se tenga que recargar sus baterías esto nos limita mucho a los usuarios. En cambio, con los motores de combustión el tiempo entre repostaje y repostaje es mucho ms elevado. Aun así, las marcas de los vehículos eléctricos trabajan para poder aumentar su autonomía de sus modelos y cada vez que aumenta la tecnología encontramos modelos con mucha más autonomía. [10]

La necesidad de carga de los coches eléctricos hace que exista mucha más demanda de electricidad proveniente de micro generadoras o centrales eléctricas, con esto decimos que, a más demanda, más generación y más consumo de los recursos naturales.[3]

8.7.Estructura general de un bugui eléctrico triciclo

Los vehículos tipo bugui se caracterizan por su diseño estructural ligero y reforzado, orientado principalmente a la circulación en terrenos irregulares o no estructurados. Su configuración estructural se basa generalmente en un chasis tubular que permite reducir el peso total del vehículo, mejorar la distribución de cargas y aumentar la resistencia ante esfuerzos dinámicos e impactos. [11]

En el caso de un bugui eléctrico de configuración triciclo (tres ruedas), la estructura debe diseñarse considerando únicamente tres puntos de apoyo, lo que implica un análisis más riguroso del centro de gravedad, la estabilidad lateral y la distribución de esfuerzos en el chasis. A diferencia de los vehículos convencionales de cuatro ruedas, la configuración triciclo modifica el comportamiento dinámico del sistema, especialmente en maniobras de giro, frenado y aceleración. [12]

El chasis tubular empleado en este tipo de vehículos cumple una función estructural fundamental, ya que actúa como elemento portante que absorbe y distribuye las cargas provenientes del peso propio, ocupantes, sistema de baterías y fuerzas dinámicas generadas durante la operación. La triangulación de los elementos estructurales permite aumentar la rigidez del conjunto y reducir deformaciones excesivas.

En el prototipo desarrollado en esta investigación, el diseño estructural se modeló mediante herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y fue sometido a simulaciones por elementos finitos (FEA), con el objetivo de evaluar la distribución de esfuerzos y verificar el factor de seguridad del material ante condiciones de carga frontal y lateral.[4]



Figura 1. Chasis tubular de vehículo tipo bugui eléctrico triciclo.[4]

En la figura se observa la estructura tubular del chasis, diseñada para proporcionar rigidez estructural, soporte del sistema eléctrico y adecuada distribución de cargas. El modelo fue utilizado como base para el análisis estructural y simulaciones computacionales del prototipo [13]

8.8.Función y diseño del chasis

La estructura tubular que se utiliza en los diferentes tipos de chasis nos brinda una mayor rigidez al vehículo, esto es gracias a la capacidad de la resistencia debido a las cargas para poder lograr de que este tenga su máxima disposición se debe de tener en cuenta el proceso de soldadura que esta dado por la unión de los componentes, la cual nos facilita la disposición de esfuerzos, otros de sus elementos influyentes en la absorción de cargas, son sus elementos de acople como , la suspensión o su sistema de tracción, que le ayudan al vehículo a soportar su gran capacidad de impactos.[4]

conmutador mecánico, elementos que permiten la conversión de energía eléctrica en energía mecánica de forma eficiente. [15]

Desde el punto de vista técnico, el motor brushed presenta un comportamiento adecuado para aplicaciones de baja y media potencia, ofreciendo buen torque inicial y respuesta inmediata, características relevantes para el desplazamiento del prototipo en superficies irregulares o de laboratorio.

En el diseño del bugui triciclo, el motor se acopla directamente al sistema de tracción, reduciendo pérdidas mecánicas asociadas a sistemas intermedios de transmisión y mejorando la eficiencia energética global del sistema.[4]



Figura 3. Motor eléctrico [4]

8.9.3. Suspensión

El sistema de suspensión cumple la función de absorber y disipar las irregularidades del terreno, reduciendo la transmisión directa de impactos hacia el chasis y los componentes eléctricos. En un vehículo de configuración triciclo, la suspensión adquiere especial importancia debido a la distribución de cargas en tres puntos de apoyo. La adecuada absorción de impactos contribuye a preservar la integridad estructural del chasis tubular, minimizar vibraciones excesivas y mejorar la estabilidad dinámica del prototipo durante su operación.[4]

8.9.4. Dirección

El sistema de dirección permite transmitir el movimiento generado por el volante hacia las ruedas directrices, garantizando control y maniobrabilidad del vehículo. En el prototipo desarrollado, se emplea un sistema de dirección por barras mecánicas, el cual convierte el movimiento rotacional del volante en desplazamiento angular de las ruedas delanteras. La configuración triciclo requiere especial atención en la geometría de dirección para asegurar estabilidad durante giros y evitar pérdidas de control, especialmente considerando la distribución de masas del sistema eléctrico y el banco de baterías.[4]



Figura 4. Dirección por barras [4]

8.9.5. Sistema de tracción directa

En el prototipo de vehículo eléctrico tipo bugui de tres ruedas desarrollado en esta investigación, se implementa un sistema de tracción directa, eliminando el uso de sistemas tradicionales de transmisión por cadena o poleas. El motor eléctrico se acopla directamente al eje de la rueda motriz, permitiendo transmitir el torque sin elementos mecánicos intermedios. Esta configuración reduce pérdidas por fricción, disminuye el mantenimiento requerido y mejora la eficiencia energética del sistema. [16]

Al eliminar componentes adicionales de transmisión, se optimiza el aprovechamiento de la potencia generada por el motor, evitando pérdidas mecánicas innecesarias y garantizando una transferencia de energía más eficiente hacia el suelo. La implementación de tracción directa resulta adecuada para el prototipo triciclo, ya que simplifica el diseño estructural, reduce el peso total del sistema y mantiene un desempeño estable en entornos de prueba controlados.[4]

8.9.6. Controlador electrónico de moto eléctrica

El controlador electrónico es el componente encargado de regular la potencia suministrada al motor eléctrico, controlando parámetros como voltaje, corriente y velocidad de giro. En el presente proyecto se emplea un controlador compatible con motores de corriente continua (DC), adecuado para aplicaciones de baja y media potencia. Este dispositivo permite una respuesta progresiva del acelerador, garantizando un control estable del torque entregado a la rueda motriz. Además, incorpora sistemas de protección contra sobrecorriente, sobrecalentamiento y variaciones bruscas de carga, contribuyendo a la seguridad operativa del sistema de tracción. [17]

El uso de un controlador electrónico resulta fundamental en aplicaciones experimentales y prototipos académicos, ya que permite analizar la interacción entre motor, baterías y carga mecánica, facilitando la evaluación del consumo energético y el desempeño del sistema durante las pruebas prácticas. En el prototipo triciclo desarrollado, el controlador trabaja en conjunto

con el sistema de tracción directa, optimizando la transferencia de potencia hacia la rueda motriz y reduciendo pérdidas energéticas asociadas a sistemas mecánicos intermedios. [18]

8.9.7. Baterías y almacenamiento de energía

El sistema de almacenamiento energético es un elemento fundamental en el funcionamiento del vehículo eléctrico, ya que suministra la energía necesaria para alimentar el motor y los sistemas auxiliares. Las baterías almacenan energía mediante reacciones electroquímicas reversibles, permitiendo múltiples ciclos de carga y descarga. Existen diversas tecnologías de baterías utilizadas en vehículos eléctricos, entre las cuales destacan las baterías de plomo-ácido y las baterías de ion-litio. La selección de la tecnología depende de factores como costo, disponibilidad, densidad energética, facilidad de implementación y requerimientos del proyecto. [19]

En aplicaciones académicas y prototipos experimentales, las baterías de plomo-ácido representan una alternativa viable debido a su bajo costo, facilidad de adquisición y comportamiento estable bajo condiciones controladas. [5]

8.9.8. Baterías de plomo-ácido para vehículos eléctricos

Las baterías de plomo-ácido empleadas en el presente proyecto están compuestas por placas de plomo sumergidas en un electrolito ácido, permitiendo la conversión de energía química en energía eléctrica. Estas baterías ofrecen buena capacidad de suministro de corriente, lo que resulta adecuado para aplicaciones de arranque y tracción de baja potencia. Aunque presentan una menor densidad energética en comparación con tecnologías más modernas como el ion-litio, su robustez y facilidad de mantenimiento las convierten en una opción adecuada para fines didácticos. En el prototipo triciclo desarrollado, la selección de baterías de plomo-ácido responde a criterios técnicos y económicos, permitiendo analizar parámetros como autonomía, consumo energético y comportamiento bajo diferentes condiciones de carga. [6]

8.9.8.1. Tipos de carga

El proceso de carga de las baterías puede clasificarse según la intensidad de corriente y el tiempo requerido para completar el ciclo.[5]

8.9.8.2. Carga lenta

La carga lenta se realiza generalmente con corrientes bajas, lo que prolonga el tiempo de recarga pero reduce el estrés térmico sobre las baterías. Este método resulta adecuado para aplicaciones académicas donde el vehículo puede permanecer conectado durante períodos prolongados sin requerir disponibilidad inmediata. [20]

8.9.8.3.Carga semi-rápida

La carga semi-rápida emplea corrientes intermedias que permiten reducir el tiempo de recarga sin comprometer significativamente la vida útil de la batería. Este tipo de carga es común en instalaciones con suministro eléctrico convencional adaptado para mayor capacidad. [21]

8.9.8.4.Carga rápida

La carga rápida utiliza corrientes elevadas para reducir considerablemente el tiempo de recarga. Sin embargo, requiere infraestructura eléctrica especializada y puede generar mayor calentamiento en las baterías, lo que debe ser controlado adecuadamente para evitar degradación prematura.[5]

8.9.9. Consideraciones para el prototipo

En el caso del bugui eléctrico triciclo desarrollado en esta investigación, se implementa un sistema de carga convencional compatible con el banco de baterías de plomo-ácido seleccionado. El sistema está diseñado para operar bajo condiciones controladas en laboratorio, priorizando seguridad eléctrica, estabilidad del suministro y preservación de la vida útil de las baterías.[5]

8.9.10. Sistema de Control en vehículos eléctricos

El sistema de control en vehículos eléctricos tiene la función de regular la entrega de energía al motor, controlando variables como velocidad de giro, corriente, torque y respuesta del acelerador. Su operación resulta fundamental para garantizar un arranque progresivo, estabilidad en el funcionamiento y protección de los componentes eléctricos ante sobrecargas o variaciones bruscas de demanda. En el presente proyecto se emplea un controlador de motor BLDC para vehículos eléctricos, seleccionado por su compatibilidad con el sistema de tracción implementado y por su capacidad para gestionar de manera eficiente el suministro de energía desde el banco de baterías hacia el motor. Este tipo de controlador permite optimizar la respuesta dinámica del vehículo, mejorar el aprovechamiento energético y mantener un funcionamiento seguro dentro de condiciones de operación académica y experimental. [22]

Los controladores BLDC incorporan funciones de protección contra sobrecorriente, bajo voltaje, calentamiento excesivo y variaciones abruptas de carga, lo que contribuye a la seguridad del sistema y a la preservación de la vida útil de los componentes eléctricos. Además, permiten un control más preciso del motor, característica importante en prototipos eléctricos donde se requiere analizar comportamiento energético, respuesta mecánica y desempeño general del sistema. En el vehículo tipo bugui desarrollado, el controlador BLDC constituye un

elemento clave dentro del sistema de control, ya que coordina la interacción entre el motor, las baterías y el acelerador, permitiendo una operación eficiente y estable del prototipo. [23]

8.9.11. Integración de sensores y actuadores

En un vehículo eléctrico, los sensores y actuadores constituyen elementos esenciales para la supervisión y control de las variables de operación del sistema. Los sensores permiten captar magnitudes físicas del entorno o del propio vehículo, tales como posición, velocidad, corriente, voltaje o temperatura, transformándolas en señales eléctricas que pueden ser interpretadas por el sistema de control. Por su parte, los actuadores ejecutan acciones físicas a partir de dichas señales, interviniendo sobre componentes mecánicos o eléctricos para garantizar el funcionamiento adecuado del prototipo.[8]

En el caso del bugui eléctrico de configuración triciclo desarrollado en esta investigación, la integración de sensores y actuadores se orienta principalmente al monitoreo del sistema eléctrico, al control de la respuesta del acelerador y a la regulación del comportamiento del motor durante la operación. Esta integración permite mejorar la seguridad funcional del vehículo, optimizar la entrega de potencia y facilitar el análisis experimental de variables técnicas dentro de un entorno académico controlado.[7]

Asimismo, la interacción entre sensores, actuadores y controlador electrónico permite establecer una relación directa entre la demanda del usuario y la respuesta dinámica del sistema de tracción. De esta manera, el prototipo no solo cumple una función de desplazamiento, sino que también se convierte en una plataforma didáctica para el estudio aplicado de control electromecánico, eficiencia energética y comportamiento operativo del vehículo eléctrico triciclo. [24]

8.9.12. Sistema de suspensión

El sistema de suspensión es el conjunto de elementos mecánicos encargado de unir el chasis con los componentes rodantes del vehículo, permitiendo absorber irregularidades del terreno y reducir la transmisión directa de impactos hacia la estructura y los ocupantes. Su función principal es mejorar la estabilidad, el confort y la seguridad durante el desplazamiento, además de conservar el contacto adecuado de las ruedas con la superficie de rodadura. En un vehículo de configuración triciclo, la suspensión adquiere una importancia aún mayor, debido a que la distribución de cargas se realiza sobre tres puntos de apoyo y no sobre cuatro, como ocurre en

un vehículo convencional. Esta condición exige un diseño que permita compensar adecuadamente las variaciones de carga, minimizar oscilaciones estructurales y garantizar estabilidad lateral durante maniobras de giro, frenado o desplazamiento sobre superficies irregulares. [25]

En el prototipo desarrollado, la suspensión cumple también una función protectora sobre los componentes del sistema eléctrico y sobre el chasis tubular, ya que disminuye las solicitaciones dinámicas inducidas por el terreno. Esto resulta especialmente importante en un vehículo experimental, donde el comportamiento estructural del bastidor debe mantenerse dentro de márgenes seguros frente a impactos y vibraciones. En estudios previos de chasis tubular se destaca la relevancia de la suspensión delantera independiente como parte del desempeño estructural y geométrico del vehículo. [1]

8.9.13. Masa suspendida y masa no suspendida

Dentro del análisis de suspensión, es fundamental distinguir entre masa suspendida y masa no suspendida. La masa suspendida corresponde a los elementos cuyo peso es soportado directamente por la suspensión, mientras que la masa no suspendida comprende los componentes que se encuentran por debajo de los elementos elásticos y que están en contacto más directo con el terreno.

Esta clasificación resulta clave en el diseño del bugui triciclo, ya que influye directamente en la respuesta dinámica del vehículo, en la absorción de impactos y en la estabilidad general del sistema. Una adecuada relación entre ambas masas favorece el control del prototipo y reduce el efecto de vibraciones o desequilibrios sobre la estructura.[1]

8.9.14. Masa suspendida

La masa suspendida incluye el chasis tubular, los ocupantes, el banco de baterías, el motor, el controlador y los demás componentes que forman parte de la estructura principal del vehículo. En el caso del prototipo triciclo, esta masa concentra una parte importante del comportamiento estructural del sistema, debido a que su ubicación condiciona el centro de gravedad y, por tanto, la estabilidad lateral y longitudinal del vehículo. [25]

Un diseño adecuado de la masa suspendida permite distribuir mejor las cargas, reducir esfuerzos concentrados y mejorar la resistencia del chasis ante solicitaciones dinámicas. Esto adquiere especial relevancia en una configuración de tres ruedas, donde la estabilidad depende en gran medida de la disposición geométrica del sistema y del equilibrio de masas sobre la estructura.[7]

8.9.15. Masa no suspendida

La masa no suspendida está conformada por las ruedas, ejes, elementos de unión, componentes de dirección y las partes inferiores asociadas al sistema de suspensión. Estos elementos son los primeros en recibir las irregularidades del terreno y, por tanto, transmiten directamente parte de las cargas dinámicas al chasis. En un vehículo triciclo, la masa no suspendida debe mantenerse dentro de valores reducidos para evitar respuestas bruscas ante impactos y mejorar la maniobrabilidad del prototipo. Mientras menor sea esta masa, menor será la inercia inducida por las irregularidades del camino y más eficiente resultará la capacidad de la suspensión para amortiguar vibraciones y proteger la estructura tubular.[7]

8.9.16. Evolución Histórica del Bugui y de los vehículos eléctricos

La evolución del bugui y de los vehículos eléctricos responde a dos trayectorias tecnológicas que, con el tiempo, convergen en soluciones de movilidad ligera, adaptable y funcional. Por un lado, los vehículos tipo bugui surgieron como plataformas livianas de uso recreativo y posteriormente fueron incorporando mejoras estructurales, mecánicas y de seguridad. Por otro lado, los vehículos eléctricos han evolucionado desde configuraciones básicas de tracción eléctrica hasta sistemas más eficientes, compactos y controlables, orientados a reducir emisiones y optimizar el aprovechamiento energético. La integración de ambas líneas tecnológicas permite hoy concebir prototipos eléctricos ligeros con fines específicos, ya sea recreativos, utilitarios, didácticos o experimentales. En ese contexto, el bugui eléctrico triciclo desarrollado en esta investigación constituye una adaptación contemporánea de estos principios, orientada al aprendizaje aplicado en ingeniería electromecánica y al análisis estructural y energético del sistema. [27]

8.9.17. Evolución del bugui

Los vehículos tipo bugui tuvieron su origen a partir de modificaciones realizadas sobre chasises ligeros, inicialmente concebidas para actividades recreativas en terrenos arenosos o superficies irregulares. Con el tiempo, estos vehículos evolucionaron desde configuraciones artesanales hasta diseños más elaborados, incorporando chasis tubulares, sistemas de suspensión reforzados y estructuras más seguras frente a impactos o volcamiento. La incorporación del chasis tubular marcó un punto importante en esta evolución, ya que permitió mejorar la rigidez estructural sin incrementar excesivamente el peso del vehículo. En estudios previos sobre diseño y construcción de chasis tipo bugui se destaca que la seguridad, el rendimiento, la facilidad de

operación y el mantenimiento sencillo constituyen criterios esenciales de diseño. En la actualidad, los bugui no solo se emplean en contextos recreativos, sino también en aplicaciones agrícolas, de transporte interno, experimentación técnica y proyectos académicos, donde su estructura abierta y su simplicidad mecánica permiten adaptaciones específicas según el propósito del diseño.[9]

8.9.18. Diseño del Vehículo Eléctrico Tipo Bugui

El diseño de un vehículo eléctrico tipo bugui debe considerar simultáneamente aspectos de rendimiento, seguridad, estabilidad, peso estructural, facilidad de manufactura y eficiencia energética. En el caso particular de un bugui triciclo, estos criterios adquieren mayor relevancia debido a que el sistema se apoya en tres ruedas, condición que modifica la distribución de cargas y el comportamiento dinámico del conjunto. Por ello, el diseño del prototipo desarrollado en esta investigación se orienta hacia una estructura tubular liviana, resistente y geométricamente estable, capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas asociadas al peso del sistema eléctrico, los ocupantes y las condiciones de operación. Esta decisión se encuentra respaldada por el análisis estructural realizado mediante simulación, donde se evaluaron impactos laterales y frontales sobre un modelo de viga estructural. [28]

Asimismo, el diseño del vehículo no se limita al chasis, sino que integra el sistema de suspensión, dirección, tracción, banco de baterías y controlador electrónico como parte de un sistema funcional unificado. De esta manera, el bugui eléctrico triciclo se concibe no solo como un medio de movilidad experimental, sino también como una plataforma de aprendizaje para el estudio de cargas, esfuerzos, estabilidad y desempeño electromecánico. [10]

8.9.19. Estética, Funcionalidad y Operación

El diseño del vehículo debe responder a criterios estéticos, funcionales y operativos de manera equilibrada. Desde el punto de vista estético, el bugui debe presentar una configuración visual clara, compacta y coherente con su estructura tubular, permitiendo identificar fácilmente sus componentes principales y su propósito didáctico. Desde la perspectiva funcional, el prototipo debe facilitar el acceso a los sistemas mecánicos y eléctricos para tareas de inspección, mantenimiento y evaluación experimental. Esto resulta especialmente importante en proyectos académicos, donde el vehículo no solo debe funcionar, sino también permitir el aprendizaje directo sobre sus componentes y su comportamiento estructural. [29]

En cuanto a la operación, el diseño debe garantizar maniobrabilidad, respuesta controlada del sistema de tracción y condiciones básicas de seguridad durante su uso. En antecedentes de diseño de chasis tubular se establece que la operación segura, la confiabilidad, la facilidad de mantenimiento y el uso de herramientas estándar constituyen principios fundamentales en la construcción de este tipo de vehículos.

En el caso del bugui triciclo desarrollado, estos criterios se integran dentro de un enfoque funcional y académico, priorizando la simplicidad constructiva, el comportamiento estable del sistema y la posibilidad de utilizar el prototipo como herramienta didáctica dentro del laboratorio de Electromecánica. [30]

8.9.20. Configuración de Ruedas

El vehículo eléctrico tipo bugui desarrollado en esta investigación presenta una configuración triciclo, es decir, una disposición estructural de tres ruedas, compuesta por dos ruedas delanteras y una rueda trasera centrada. Esta alternativa de diseño fue adoptada considerando criterios de simplicidad constructiva, reducción de peso, facilidad de ensamblaje y adecuación al propósito académico y experimental del prototipo. A diferencia de un vehículo convencional de cuatro ruedas, la configuración triciclo modifica la distribución de cargas y el comportamiento dinámico del sistema, por lo que su diseño debe contemplar con mayor precisión aspectos como el centro de gravedad, la estabilidad lateral y la respuesta estructural del chasis ante esfuerzos estáticos y dinámicos. En este sentido, el prototipo fue concebido como una plataforma de análisis aplicada, permitiendo estudiar el comportamiento mecánico y eléctrico de una estructura no convencional dentro de un entorno académico controlado. [31]

La disposición de dos ruedas delanteras y una rueda trasera motriz permite mantener una base delantera más amplia, favoreciendo el control direccional del vehículo y mejorando la estabilidad en desplazamientos rectos y maniobras de baja velocidad. Asimismo, esta configuración reduce la complejidad mecánica del sistema trasero, simplifica la integración de la tracción y contribuye a una construcción más ligera en comparación con esquemas de cuatro ruedas. Desde el punto de vista estructural, la configuración triciclo exige una evaluación específica del comportamiento del chasis, ya que las cargas no se distribuyen sobre cuatro puntos de apoyo, sino sobre tres. Por esta razón, el diseño fue complementado con análisis estructurales y simulaciones computacionales que permitieron verificar la resistencia del bastidor, la distribución de esfuerzos y el factor de seguridad del material empleado. [1]

En consecuencia, la configuración de tres ruedas no constituye una limitación del proyecto, sino una decisión técnica coherente con los objetivos de diseño, construcción y validación experimental del vehículo, permitiendo desarrollar un prototipo funcional, estable y didácticamente útil para el Laboratorio de Electromecánica. [9]



Figura 5. Prototipo del bugui eléctrico triciclo durante la fase de pruebas de construcción.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

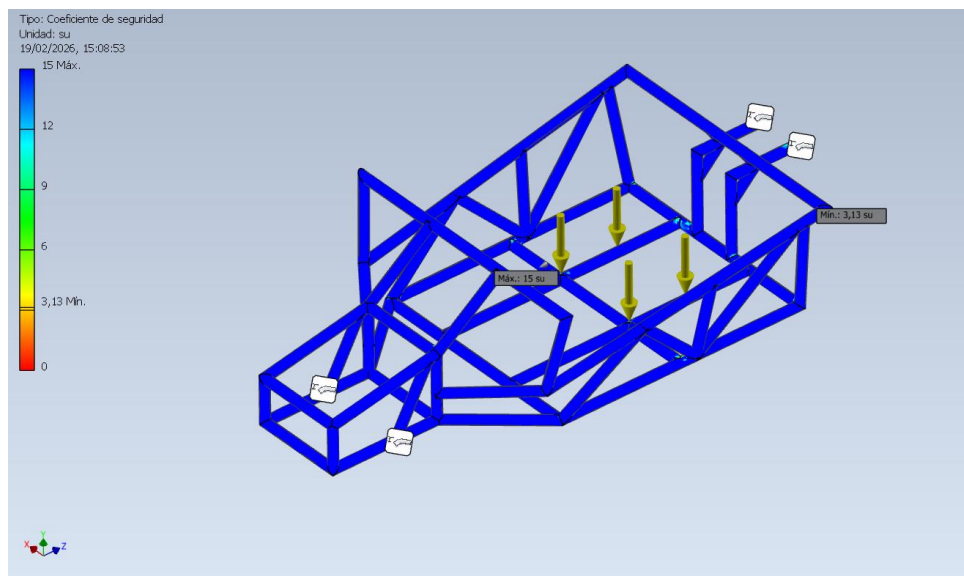


Figura 6. Distribución del factor de seguridad en el chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

8.9.21. Innovaciones en la movilidad eléctrica

Actualmente, la movilidad eléctrica ha evolucionado hasta consolidarse como una línea estratégica dentro del desarrollo tecnológico del transporte, debido a su capacidad para reducir

emisiones, optimizar el uso de energía y favorecer nuevas formas de diseño vehicular. Esta transformación no solo se evidencia en automóviles de uso masivo, sino también en vehículos livianos y prototipos experimentales, donde la integración de sistemas eléctricos permite desarrollar soluciones adaptadas a necesidades específicas de operación y aprendizaje.[12].

En ese contexto, los vehículos eléctricos ligeros representan una oportunidad importante para la innovación, ya que permiten combinar eficiencia energética, simplicidad mecánica y flexibilidad de diseño. En particular, los buguis eléctricos constituyen plataformas adecuadas para explorar nuevas configuraciones estructurales, sistemas de control, estrategias de carga y criterios de seguridad, especialmente cuando se desarrollan con fines académicos y experimentales. [12].

En el prototipo estudiado en esta investigación, la innovación no se limita al uso de un motor eléctrico y un banco de baterías, sino que también se expresa en la adopción de una configuración triciclo, en la simplificación del sistema de tracción y en la evaluación estructural del chasis mediante simulación computacional. Este enfoque permite integrar el diseño mecánico, el análisis de esfuerzos y el desempeño energético dentro de un mismo proceso formativo. La simulación estructural del chasis fue planteada como un análisis estático con estudio de impacto lateral, considerando un modelo de viga del bastidor [11]. Asimismo, la innovación en este tipo de vehículos no debe entenderse únicamente como incorporación de tecnología avanzada, sino también como la capacidad de adaptar soluciones funcionales a entornos reales con recursos accesibles. Desde esa perspectiva, el bugui eléctrico triciclo desarrollado constituye una propuesta de innovación aplicada, orientada a fortalecer la formación práctica en electromecánica, análisis estructural y movilidad sostenible. [12].

8.9.22. Reducción de emisiones y sustentabilidad energética

La implementación de vehículos eléctricos representa una alternativa viable para disminuir el impacto ambiental asociado al uso de motores de combustión interna, especialmente en contextos donde se busca reducir emisiones contaminantes y dependencia de combustibles fósiles. A diferencia de los sistemas convencionales, el vehículo eléctrico no genera emisiones directas de gases de escape durante su funcionamiento, lo que contribuye a mejorar las condiciones ambientales del entorno inmediato. En el caso del bugui eléctrico triciclo desarrollado en esta investigación, la reducción de emisiones se relaciona directamente con la sustitución de un sistema de propulsión térmico por un sistema eléctrico alimentado mediante

baterías recargables. Si bien el impacto ambiental total también depende de la fuente de energía empleada para la recarga, el uso de electricidad como fuente motriz representa una mejora frente a la combustión directa de hidrocarburos. [13]

Desde la perspectiva de sustentabilidad energética, el proyecto también permite analizar de manera práctica el consumo eléctrico del sistema, la autonomía disponible y la eficiencia en la conversión de energía eléctrica a energía mecánica. Este análisis resulta especialmente valioso en un prototipo académico, donde el objetivo no es únicamente movilizar el vehículo, sino estudiar el comportamiento real del sistema energético bajo condiciones controladas. Además, la configuración estructural ligera del bugui triciclo favorece una menor demanda energética para el desplazamiento, ya que reduce la masa total del vehículo y, por tanto, la potencia necesaria para mantener el movimiento. Este criterio se alinea con el principio de sustentabilidad aplicado al diseño vehicular: optimizar materiales, reducir peso y mejorar el aprovechamiento de la energía disponible. [10]

8.9.23. Infraestructura de carga y estrategia de recarga parcial

La infraestructura de carga constituye un aspecto fundamental en el funcionamiento de cualquier vehículo eléctrico, ya que condiciona la disponibilidad operativa del sistema y la continuidad de uso del prototipo. En vehículos ligeros y de aplicación académica, como el bugui eléctrico triciclo desarrollado, resulta conveniente emplear estrategias de recarga compatibles con condiciones de laboratorio y suministro eléctrico convencional, priorizando la seguridad y la facilidad de implementación. En este proyecto, la recarga del banco de baterías se plantea bajo un esquema de carga controlada, orientado a preservar la vida útil del sistema de almacenamiento y garantizar condiciones seguras de operación. Esta estrategia resulta adecuada para un prototipo de uso experimental, donde las pruebas no se desarrollan de manera continua durante largas jornadas, sino en sesiones técnicas específicas. [14]

La recarga parcial constituye una alternativa funcional dentro de este tipo de sistema, ya que permite recuperar parte de la energía consumida sin necesidad de completar un ciclo total en cada uso. Desde el punto de vista práctico, esto facilita la disponibilidad del vehículo para actividades académicas sucesivas y reduce tiempos de espera entre pruebas. Al mismo tiempo, contribuye a mantener un comportamiento más estable del banco de baterías durante su operación. Por tanto, la estrategia de recarga del bugui triciclo no debe entenderse únicamente como un proceso de alimentación energética, sino como parte integral de la gestión técnica del

prototipo, vinculada al análisis de autonomía, consumo y rendimiento eléctrico dentro de un entorno controlado. [10]

8.9.24. Estrategias para aumentar la autonomía de un vehículo eléctrico tipo bugui triciclo recargable

La autonomía de un vehículo eléctrico depende de múltiples variables, entre ellas la capacidad del banco de baterías, la eficiencia del motor, el peso total del sistema, la resistencia al avance y el comportamiento del usuario durante la conducción. En un bugui eléctrico triciclo, estos factores adquieren especial relevancia debido a que la configuración estructural influye directamente en la distribución de cargas, la estabilidad y el requerimiento energético del sistema de tracción. En el prototipo desarrollado en esta investigación, la autonomía no se concibe únicamente como un dato de alcance en kilómetros, sino como un parámetro integral relacionado con el desempeño energético del vehículo, la eficiencia del sistema de propulsión y la optimización del diseño estructural. Por ello, incrementar la autonomía implica mejorar tanto la gestión eléctrica como las condiciones mecánicas de operación. [15]

8.9.24.1. Selección eficiente del motor y del controlador

Uno de los factores más importantes para mejorar la autonomía de un vehículo eléctrico es la adecuada selección del motor y del controlador. Un sistema de propulsión sobredimensionado puede generar consumos innecesarios, mientras que uno subdimensionado puede operar con sobreesfuerzo y pérdida de eficiencia. En el bugui eléctrico triciclo desarrollado, la selección del motor y del controlador debe responder a criterios de compatibilidad técnica, entrega de torque, estabilidad de funcionamiento y aprovechamiento energético. Esto permite que la potencia suministrada sea coherente con la masa del vehículo, la carga útil y las condiciones de desplazamiento previstas. Desde el punto de vista operativo, un controlador adecuado regula de forma progresiva la entrega de energía al motor, evita picos de corriente innecesarios y favorece una respuesta más estable del sistema de tracción. En consecuencia, la relación entre motor y controlador constituye un elemento clave para conservar energía y mejorar la autonomía útil del prototipo. [10]

8.9.24.2. Aprovechamiento de la recarga parcial

La recarga parcial constituye una estrategia práctica para mantener la disponibilidad operativa del vehículo sin depender de ciclos completos de carga entre cada uso. En un entorno académico, donde el prototipo puede ser utilizado en sesiones de ensayo, demostración o

evaluación técnica, esta estrategia permite optimizar tiempos y mantener el sistema en condiciones funcionales. Su principal ventaja radica en que posibilita restituir parte de la energía consumida durante períodos breves de inactividad, facilitando la continuidad de pruebas sin necesidad de esperar una recarga total. En el caso del bugui eléctrico triciclo, esto se traduce en una mejor gestión del uso del banco de baterías y en una mayor flexibilidad para desarrollar actividades experimentales de manera secuencial.[10]

8.9.24.3. Optimización del peso del bugui

La reducción del peso estructural constituye una estrategia directa para mejorar la autonomía de un vehículo eléctrico. A menor masa total, menor será la energía requerida para iniciar el movimiento, mantener la velocidad y superar resistencias al avance. En el prototipo desarrollado, este criterio se incorpora mediante el uso de un chasis tubular liviano y una configuración triciclo, que reduce componentes mecánicos innecesarios y simplifica la estructura general del sistema. Esta decisión permite disminuir la demanda energética del vehículo y, al mismo tiempo, facilita el análisis estructural del bastidor bajo diferentes condiciones de carga. La importancia de esta estrategia también se respalda en la simulación estructural del chasis, donde se verificó el comportamiento del material frente a esfuerzos aplicados y se obtuvo un coeficiente mínimo de seguridad de 3,13252, valor que indica que la estructura mantiene un margen adecuado frente a las cargas analizadas.[13]

8.9.24.4. Confianza del usuario: cómo la experiencia reduce la ansiedad por la autonomía y su conducción eficiente

La percepción del usuario respecto a la autonomía influye de manera importante en la forma de utilizar un vehículo eléctrico. En sistemas experimentales o de baja escala, como el bugui triciclo desarrollado, esta percepción puede condicionar la forma de acelerar, frenar o administrar el uso de la energía disponible. A medida que el operador se familiariza con el comportamiento del vehículo, con la respuesta del sistema de tracción y con la capacidad real del banco de baterías, se reduce la incertidumbre asociada a la autonomía. Esto favorece una conducción más eficiente, evitando aceleraciones innecesarias, variaciones bruscas de carga y demandas excesivas de potencia. En ese sentido, la experiencia de uso no solo mejora la operación práctica del vehículo, sino que también se convierte en un elemento formativo dentro del proyecto, ya que permite comprender de manera directa la relación entre consumo energético, comportamiento dinámico y autonomía disponible. Por tanto, la confianza del

usuario debe entenderse como parte de la gestión eficiente del sistema eléctrico y como un componente relevante dentro del aprendizaje aplicado de la movilidad eléctrica.[16]

8.9.25. Impacto ambiental comparado con vehículos a combustión

El uso de vehículos eléctricos representa una alternativa tecnológica importante frente a los sistemas de combustión interna, especialmente por su capacidad de reducir emisiones directas durante la operación. A diferencia de los motores convencionales, el motor eléctrico no requiere la quema de combustibles fósiles para generar movimiento, lo que disminuye significativamente la liberación de gases contaminantes al ambiente. En el caso del bugui eléctrico triciclo desarrollado en esta investigación, esta ventaja ambiental se complementa con una estructura liviana y un sistema de propulsión simplificado, factores que contribuyen a reducir la energía demandada durante el desplazamiento. De esta manera, el impacto ambiental no solo se reduce por la sustitución del motor térmico, sino también por la optimización del diseño estructural y del peso total del vehículo. Además, el uso académico de este prototipo permite fomentar la formación técnica en movilidad sostenible, promoviendo en los estudiantes la comprensión aplicada de conceptos como eficiencia energética, reducción de emisiones y aprovechamiento racional de los recursos eléctricos. [17]

8.9.25.1. Vehículos eléctricos una alternativa para la reducción de emisiones

Los vehículos eléctricos se consideran una alternativa viable para disminuir el impacto ambiental del transporte, debido a que eliminan las emisiones directas de gases de escape durante su operación. Esta característica resulta especialmente relevante en entornos urbanos y rurales donde la contaminación atmosférica y acústica afecta la calidad de vida de la población. Desde el punto de vista energético, el motor eléctrico presenta un mejor aprovechamiento de la energía suministrada en comparación con los motores de combustión interna, ya que reduce pérdidas térmicas y transforma con mayor eficiencia la energía eléctrica en movimiento útil. Esto se traduce en un menor consumo de energía por unidad de desplazamiento y, por tanto, en un mejor desempeño ambiental. En el prototipo de bugui triciclo, la combinación de un sistema eléctrico de tracción con una estructura tubular ligera permite reforzar esta ventaja, al reducir la masa total del vehículo y simplificar el sistema mecánico. Así, el proyecto no solo constituye una propuesta tecnológica de movilidad, sino también una herramienta académica para el estudio de alternativas menos contaminantes y más eficientes. [17].

8.9.25.2. Hábitos de carga nocturna como estrategia de autonomía

La carga nocturna constituye una práctica funcional para mejorar la disponibilidad operativa de un vehículo eléctrico, especialmente cuando se trabaja con prototipos de uso académico o experimental. Esta estrategia permite aprovechar períodos de inactividad del vehículo para recuperar energía sin interferir con las sesiones de prueba o con las actividades formativas programadas.[16]

En el caso del bugui eléctrico triciclo, la carga nocturna favorece una mejor organización del uso del banco de baterías, permitiendo iniciar cada jornada de ensayo con un nivel de energía adecuado para el desarrollo de prácticas y evaluaciones. Además, esta modalidad reduce la necesidad de recargas frecuentes durante el día y facilita una gestión más ordenada del sistema de almacenamiento energético.

Desde una perspectiva técnica, la carga nocturna también puede contribuir a una operación más estable del sistema, al evitar demandas repentinas sobre la instalación eléctrica de uso académico y al permitir una recarga más controlada del banco de baterías. En consecuencia, esta estrategia no solo mejora la autonomía disponible, sino que también fortalece la operatividad del prototipo dentro del laboratorio.[18]

8.9.26. Aplicación Social del Vehículo Eléctrico en Comunidades Rurales

La aplicación de vehículos eléctricos ligeros en comunidades rurales representa una posibilidad interesante para mejorar la movilidad local, reducir la dependencia de combustibles fósiles y promover soluciones tecnológicas adaptadas a contextos de recursos limitados. En este escenario, el bugui eléctrico triciclo puede considerarse una propuesta funcional por su simplicidad estructural, bajo peso y facilidad de mantenimiento. A diferencia de vehículos más complejos o de mayor escala, este tipo de prototipo puede operar con menores requerimientos mecánicos y energéticos, lo que facilita su estudio y eventual adaptación en contextos donde la infraestructura tecnológica es más limitada. Además, su diseño liviano y abierto lo convierte en una plataforma adecuada para procesos de enseñanza, validación experimental y demostración técnica. Desde una perspectiva formativa, la aplicación social del bugui eléctrico no se limita al transporte, sino que también permite analizar cómo una solución de movilidad sostenible puede diseñarse a partir de necesidades concretas del entorno. En este sentido, el proyecto fortalece la relación entre innovación, contexto local y formación técnica. [18]

8.9.26.1. *Inclusión tecnológica y acceso a la movilidad en zonas aisladas*

La movilidad en zonas rurales suele estar condicionada por el estado de las vías, la disponibilidad de transporte y el acceso a recursos energéticos o mecánicos. En ese contexto, los vehículos eléctricos ligeros constituyen una alternativa con potencial de aplicación, especialmente cuando se orientan a trayectos cortos, transporte interno o actividades de apoyo técnico y académico. El bugui eléctrico triciclo, por su configuración simple y estructura ligera, ofrece ventajas asociadas a su maniobrabilidad, menor complejidad constructiva y facilidad de estudio. Estas características permiten que el vehículo sea comprendido, mantenido y eventualmente mejorado en contextos donde no siempre existen talleres especializados ni disponibilidad inmediata de componentes sofisticados. Asimismo, el proyecto pone en evidencia que la innovación tecnológica no siempre depende de sistemas complejos, sino también de la capacidad de adaptar soluciones funcionales a necesidades reales. En este sentido, la inclusión tecnológica se expresa en la posibilidad de acercar conocimientos de movilidad eléctrica, análisis estructural y eficiencia energética a entornos académicos y sociales con acceso limitado a estas tecnologías.[17]

8.9.26.2. *Generación de empleo y economías circulares*

El desarrollo de prototipos eléctricos livianos también puede relacionarse con procesos locales de fabricación, ensamblaje, mantenimiento y adaptación tecnológica. Aunque el presente proyecto tiene un enfoque principalmente académico, su lógica de construcción demuestra que es posible integrar conocimientos de soldadura, diseño mecánico, sistemas eléctricos y control dentro de una solución funcional de movilidad. Esta característica favorece la formación de capacidades técnicas que, a largo plazo, pueden vincularse con pequeños emprendimientos, talleres de fabricación metálica, mantenimiento electromecánico y desarrollo de soluciones de movilidad local. En consecuencia, el bugui eléctrico triciclo no solo constituye un ejercicio de diseño, sino también una referencia de cómo la tecnología puede impulsar procesos productivos de pequeña escala. Desde la perspectiva de economías circulares, la simplicidad del sistema facilita la sustitución, reparación y adaptación de componentes, promoviendo un uso más eficiente de materiales y una mayor posibilidad de aprovechamiento técnico dentro del entorno local.[18]

8.9.26.3. Adaptación del sistema eléctrico domiciliario

Uno de los aspectos relevantes en el uso de vehículos eléctricos ligeros es la compatibilidad entre el sistema de carga y la infraestructura eléctrica disponible. En el caso del bugui eléctrico triciclo desarrollado en esta investigación, el sistema fue concebido dentro de un entorno de pruebas controlado, por lo que su recarga se plantea a partir de condiciones eléctricas convencionales y seguras para fines académicos. La adaptación del sistema eléctrico domiciliario o institucional para la carga del vehículo implica considerar la capacidad del circuito, la estabilidad del suministro y la protección básica de los elementos de conexión. Este aspecto resulta importante porque la viabilidad operativa del prototipo depende no solo del diseño del vehículo, sino también de la posibilidad de recargarlo en condiciones seguras y controladas. En aplicaciones académicas, esta adaptación adquiere valor adicional, ya que permite a los estudiantes comprender de manera práctica la relación entre movilidad eléctrica e infraestructura energética, integrando conocimientos de potencia, seguridad y operación del sistema.[17]

8.9.27. Vulnerabilidad de las redes eléctricas rurales ante la carga simultánea de vehículos eléctricos

Si bien los vehículos eléctricos ligeros presentan ventajas en términos de sostenibilidad y eficiencia, su implementación a mayor escala también puede generar nuevas exigencias sobre la infraestructura eléctrica disponible. En zonas rurales, donde las redes suelen operar con menores márgenes de tolerancia y menor capacidad instalada, la carga simultánea de varios vehículos podría ocasionar problemas de sobrecarga o caída de tensión. Aunque el presente proyecto corresponde a un prototipo académico de uso puntual, este aspecto resulta importante desde el punto de vista teórico y social, ya que evidencia que la movilidad eléctrica debe analizarse no solo desde el vehículo, sino también desde la capacidad del sistema energético que lo sostiene. En otras palabras, la sostenibilidad de estas soluciones depende de la interacción equilibrada entre diseño vehicular, demanda eléctrica e infraestructura de recarga. Por ello, en contextos rurales o de recursos limitados, la incorporación progresiva de vehículos eléctricos debe acompañarse de estrategias de gestión energética, planificación de horarios de carga y evaluación de la capacidad de la red. Esta visión permite comprender que el bugui eléctrico triciclo no solo funciona como un objeto técnico de estudio, sino también como un medio para reflexionar sobre la integración entre electromovilidad e infraestructura local.[19]

8.9.28. Normativas Técnicas Y Reglamentación

El desarrollo de vehículos eléctricos requiere considerar normas técnicas y criterios de seguridad que regulen tanto el sistema de propulsión como los componentes eléctricos asociados a la carga, almacenamiento de energía y protección del usuario. Aunque no existe una única norma global aplicable a todos los diseños, sí existen marcos normativos internacionales que orientan el diseño seguro de vehículos eléctricos y de sus sistemas de alimentación. En el caso del bugui eléctrico triciclo desarrollado en esta investigación, estas normas constituyen un referente técnico para la selección de componentes, el análisis de seguridad eléctrica y la validación funcional del prototipo dentro de un entorno académico controlado. Su aplicación no implica una homologación industrial del vehículo, sino una base de referencia para asegurar coherencia técnica y condiciones mínimas de seguridad en el diseño experimental. [19]

8.9.28.1. NORMA ISO 6469

La norma ISO 6469 establece requisitos de seguridad para vehículos de carretera propulsados eléctricamente. Esta norma se enfoca en aspectos relacionados con la protección de los usuarios, la seguridad del sistema eléctrico y el comportamiento del vehículo frente a riesgos operativos asociados al uso de energía eléctrica. [20].

Entre los aspectos más relevantes de esta norma se encuentran:

- la evaluación del aislamiento eléctrico del sistema de almacenamiento de energía;
- la prevención de riesgos asociados a gases, calor excesivo, cortocircuitos o incendios;
- la protección de los ocupantes y del personal de intervención ante fallas del sistema;
- y la seguridad operacional del vehículo en condiciones normales y anormales de funcionamiento.

Dentro del contexto del presente proyecto, la norma ISO 6469 sirve como referencia para comprender la necesidad de incorporar criterios de protección eléctrica, aislamiento adecuado y control seguro del sistema de potencia, especialmente considerando que el vehículo fue diseñado con fines académicos y experimentales. [21].

8.9.28.2. NORMAS IEC (*International Electrotechnical Commission*)

Las normas emitidas por la International Electrotechnical Commission (IEC) constituyen una referencia importante en sistemas de carga, conectores, cableado y seguridad eléctrica aplicada a vehículos eléctricos. Estas normas permiten establecer lineamientos para el diseño seguro de sistemas de recarga y para la correcta interacción entre la fuente de alimentación y el vehículo. Entre las más relevantes se encuentran:

IEC 61851-1, relacionada con los requisitos generales del sistema de carga conductiva para vehículos eléctricos;

IEC 61851-22, orientada a estaciones de carga en corriente alterna (AC), incluyendo funciones de seguridad, protección y monitoreo;

IEC 61851-23, enfocada en sistemas de carga en corriente continua (DC), con requisitos de protección contra sobrecorriente, sobretensión y control del suministro energético.

Estas normas no se incorporan en el proyecto como exigencia de certificación formal, pero sí como base conceptual para la comprensión de buenas prácticas de diseño y seguridad del sistema de recarga del bugui eléctrico triciclo. [23].

8.9.28.3. Reglamento técnico INEN para accesorios de carga de vehículos eléctricos

El Proyecto de Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 162 constituye una referencia nacional relacionada con los requisitos técnicos y de seguridad aplicables a conectores, cargadores, cableado y baterías utilizados en sistemas de carga de vehículos eléctricos. Este marco normativo contempla especificaciones para distintos tipos de conectores y tecnologías de almacenamiento energético, así como lineamientos de seguridad para el uso de accesorios de carga. Su importancia dentro de esta investigación radica en que permite contextualizar el diseño del sistema de alimentación del prototipo dentro de criterios técnicos reconocidos en el ámbito nacional. En particular, el uso de baterías de plomo-ácido en el presente proyecto requiere considerar criterios de protección eléctrica, conexión segura y manejo adecuado de la energía almacenada, aun cuando el prototipo no haya sido concebido como un vehículo comercial, sino como una plataforma experimental de aprendizaje. [22]

8.9.28.4. Aplicación normativa al prototipo desarrollado

El bugui eléctrico triciclo implementado en esta investigación no fue diseñado como un vehículo comercial de circulación masiva, sino como un prototipo funcional orientado al

aprendizaje práctico en el área de Electromecánica. Por esta razón, las normas técnicas analizadas deben interpretarse como referencias de diseño y seguridad, más que como requisitos de homologación obligatoria. No obstante, su revisión resulta fundamental para justificar la incorporación de criterios de seguridad eléctrica, protección de componentes, análisis estructural y selección adecuada de materiales y sistemas de carga. En ese sentido, la normativa internacional y nacional permite fortalecer la base técnica del proyecto y mejorar la coherencia entre diseño, construcción y validación experimental. [23]

9. HIPÓTESIS

El vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo, implementado con un sistema de tracción basado en motor eléctrico, banco de baterías y controlador electrónico, presenta un desempeño funcional adecuado para su uso académico, verificable mediante pruebas experimentales de carga, consumo energético, estabilidad estructural y autonomía.

10. METODOLOGÍA

10.1. Tipo y enfoque de la investigación

La presente investigación corresponde a un estudio de tipo aplicado, con un enfoque experimental, orientado al diseño, cálculo, construcción y validación de un vehículo eléctrico tipo bugui enchufable completamente funcional, destinado al uso académico en el Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. La investigación aplicada se caracteriza por la utilización directa del conocimiento científico y técnico para la solución de problemas reales, priorizando la implementación práctica sobre el desarrollo teórico abstracto. En el ámbito de la ingeniería electromecánica, este enfoque es particularmente pertinente, ya que permite integrar conceptos de diseño mecánico, sistemas eléctricos, análisis energético y validación experimental en un solo proceso metodológico coherente [24].

Desde el punto de vista experimental, el proyecto involucra la manipulación controlada de variables técnicas, tales como la potencia del motor, el torque transmitido a las ruedas, la relación de transmisión, la carga estructural y el consumo energético del sistema. Estas variables son analizadas mediante cálculos ingenieriles, simulaciones básicas y pruebas funcionales, con el fin de evaluar el desempeño real del prototipo bajo condiciones de operación controladas [25].

El enfoque experimental adoptado permite verificar la correspondencia entre los resultados teóricos obtenidos en los cálculos y el comportamiento físico del vehículo, lo cual es fundamental en proyectos de diseño de vehículos eléctricos ligeros. De acuerdo con Heisler y Messner, la validación experimental constituye una etapa indispensable en el desarrollo de sistemas electromecánicos, ya que garantiza la confiabilidad del diseño y la seguridad operativa del prototipo [26].

En este contexto, la metodología aplicada no se limita a la construcción del vehículo, sino que incorpora un proceso sistemático de análisis, diseño, evaluación y validación, asegurando que el bugui eléctrico cumpla con los requerimientos funcionales, estructurales y energéticos establecidos al inicio del proyecto.

10.2. Tipo y enfoque de la investigación

La presente investigación corresponde a un estudio de tipo aplicada, con un enfoque experimental y tecnológico, orientado al diseño, construcción, integración y validación funcional de un vehículo eléctrico tipo bugui recargable enchufable, destinado al uso académico en el Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. La investigación aplicada se caracteriza por su finalidad práctica, ya que busca resolver un problema real mediante la aplicación directa del conocimiento científico y técnico, a diferencia de los estudios puramente teóricos. En este contexto, el desarrollo del bugui eléctrico no se limita al análisis conceptual de la movilidad eléctrica, sino que materializa un prototipo funcional, permitiendo verificar en condiciones reales los principios electromecánicos involucrados en su operación [24].

Desde el punto de vista del enfoque experimental, el estudio implica la manipulación controlada de variables técnicas, tales como potencia eléctrica, torque en ruedas, relación de transmisión, capacidad de carga y consumo energético, con el fin de evaluar su comportamiento durante el funcionamiento del vehículo. De acuerdo con Montgomery (2017), una investigación experimental permite validar hipótesis técnicas mediante pruebas controladas y mediciones directas, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos [25].

Asimismo, el trabajo adopta un enfoque tecnológico-proyectual, dado que integra actividades propias del diseño ingenieril, como el modelado CAD del chasis, la selección de componentes eléctricos, el ensamblaje del sistema y la realización de pruebas funcionales. Este tipo de

enfoque es característico de proyectos de ingeniería aplicada, donde el resultado principal es un producto tecnológico operativo, validado técnica y funcionalmente [26].

En términos metodológicos, la investigación presenta un nivel descriptivo–experimental, ya que describe detalladamente cada una de las fases del desarrollo del prototipo y, simultáneamente, evalúa su desempeño mediante ensayos prácticos. Según Hernández-Sampieri et al., este tipo de nivel es adecuado cuando se busca documentar procesos técnicos y comprobar su funcionamiento bajo condiciones reales de operación [27].

En consecuencia, la combinación del enfoque aplicado, experimental y tecnológico permite que la investigación trascienda el plano teórico, consolidándose como un aporte práctico al proceso de enseñanza–aprendizaje en electromecánica, al tiempo que valida la viabilidad técnica de un vehículo eléctrico tipo bugui como herramienta didáctica y experimental.

10.3. Fases de la metodología

10.3.1. Enfoque metodológico por fases

El desarrollo del vehículo eléctrico tipo bugui se estructuró mediante una metodología secuencial por fases, permitiendo una planificación ordenada y coherente desde la identificación del problema hasta la validación del prototipo funcional. Este enfoque es ampliamente utilizado en proyectos de ingeniería aplicada, ya que facilita el control técnico del proceso, reduce errores acumulativos y garantiza la trazabilidad entre el diseño teórico y la implementación práctica. Según Crespo y García, la metodología por fases en proyectos electromecánicos permite dividir el sistema en subsistemas analizables, optimizando la toma de decisiones técnicas y asegurando la correcta integración entre componentes mecánicos, eléctricos y de control. En este sentido, cada fase del proyecto cumple un objetivo específico y se apoya en los resultados obtenidos en la fase anterior, evitando improvisaciones durante la construcción del prototipo. La metodología adoptada responde al carácter aplicado–experimental de la investigación, ya que no se limita al análisis teórico, sino que culmina con la construcción real y prueba funcional del vehículo eléctrico tipo bugui destinado al Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. [24].

10.3.2. Fase 1: Análisis del problema y definición de requerimientos

La primera fase consistió en el análisis detallado del problema académico–técnico, centrado en la carencia de equipos experimentales funcionales que permitan a los estudiantes de la carrera

de Ingeniería Electromecánica interactuar con sistemas reales de movilidad eléctrica. Esta etapa permitió establecer las necesidades específicas del laboratorio y definir los criterios mínimos que debía cumplir el prototipo. De acuerdo con Ulrich y Eppinger, la correcta definición de requerimientos funcionales y técnicos es fundamental para evitar rediseños costosos en etapas posteriores del proyecto [25]. En este contexto, se establecieron los siguientes requerimientos generales:

- Capacidad para transportar dos ocupantes.
- Uso de propulsión eléctrica libre de emisiones directas.
- Sistema de recarga enchufable a red domiciliaria.
- Condiciones básicas de seguridad mecánica y eléctrica.
- Enfoque didáctico y experimental, más que comercial.

Estos requerimientos sirvieron como base para el diseño conceptual del vehículo y la posterior selección de componentes.

10.3.3. Fase 2: Diseño del sistema mecánico (chasis)

En la segunda fase se desarrolló el diseño mecánico del vehículo eléctrico tipo bugui, con especial énfasis en la estructura del chasis tubular. El diseño tuvo como objetivo principal garantizar la resistencia estructural, estabilidad y ergonomía necesarias para el uso académico del prototipo. El chasis fue concebido bajo un esquema tubular de acero estructural ASTM A36, material ampliamente utilizado en aplicaciones mecánicas debido a su buena resistencia, facilidad de soldadura y disponibilidad local. El diseño se realizó mediante herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), permitiendo evaluar la geometría, distribución de cargas y disposición de componentes antes de la fabricación física. Según Budynas y Nisbett, el uso de software CAD en el diseño estructural permite anticipar concentraciones de esfuerzo y optimizar el uso de material, reduciendo peso sin comprometer la seguridad. Esta fase permitió validar que el chasis soporta adecuadamente las cargas estáticas generadas por el peso del vehículo, el banco de baterías y los ocupantes. [26]



Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de armado del chasis del buggy eléctrico.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

El diagrama de flujo describe de manera secuencial el proceso constructivo del chasis tubular, iniciando con la selección del material, corte de perfiles, ensamblaje preliminar, soldadura estructural, verificación dimensional y acabado final, garantizando la correcta distribución de cargas y la seguridad estructural del vehículo. El diagrama de flujo del proceso de armado del chasis del buggy eléctrico permite representar de manera secuencial y ordenada cada una de las actividades necesarias para la construcción de la estructura principal del vehículo. Este enfoque metodológico facilita el control del proceso constructivo, reduce errores durante el ensamblaje y garantiza que el chasis cumpla con los criterios de resistencia, estabilidad y seguridad establecidos en la fase de diseño. El proceso inicia con la selección del material estructural, considerando perfiles tubulares de acero ASTM A36, los cuales fueron elegidos por su adecuada resistencia mecánica, buena soldabilidad y disponibilidad en el mercado local. Esta etapa es fundamental, ya que el material seleccionado influye directamente en la capacidad del chasis para soportar las cargas estáticas y dinámicas generadas durante la operación del vehículo eléctrico. [20]

Posteriormente, se realiza el corte de perfiles, actividad que incluye la medición, marcado y corte de los tubos de acero según las dimensiones definidas en los planos de diseño. En esta etapa se emplean herramientas manuales y eléctricas, asegurando que los cortes sean precisos y que las superficies queden adecuadamente preparadas para el ensamblaje, minimizando desviaciones dimensionales. Una vez cortados los perfiles, se procede al ensamblaje preliminar del chasis, donde las piezas son alineadas y fijadas temporalmente mediante puntos de soldadura. Esta etapa permite verificar la geometría general de la estructura, comprobar la correcta disposición de los elementos estructurales y realizar ajustes antes de la soldadura definitiva, garantizando la correcta distribución de cargas en el chasis. [21]

La siguiente etapa corresponde a la soldadura estructural, realizada mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW). Durante este proceso se ejecutan los cordones de soldadura definitivos en las uniones del chasis, asegurando la continuidad estructural y la resistencia mecánica de la estructura. Posteriormente, se realiza una inspección visual de las soldaduras para verificar la calidad de los cordones y detectar posibles defectos. Luego de la soldadura, se lleva a cabo la verificación dimensional del chasis, utilizando instrumentos de medición como flexómetros y escuadras, con el objetivo de comprobar la alineación, escuadra y dimensiones generales de la estructura. Esta etapa es esencial para garantizar que el chasis cumpla con las especificaciones de diseño y que permita el montaje adecuado de los sistemas mecánicos y eléctricos del vehículo. Finalmente, el proceso concluye con el acabado final del chasis, que incluye la limpieza general de la estructura, eliminación de residuos de soldadura y la aplicación de pintura anticorrosiva. Este tratamiento protege el chasis frente a la corrosión, incrementa su vida útil y mejora la presentación final del prototipo, preparándolo para las etapas posteriores de ensamblaje e integración del sistema eléctrico. [22]

10.3.4. Fase 3: Diseño del sistema eléctrico y electrónico

La tercera fase correspondió al diseño del sistema eléctrico y electrónico del bugui, integrando el motor eléctrico, el controlador, el banco de baterías y los sistemas de protección. El objetivo fue asegurar la compatibilidad entre los componentes y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Se seleccionó un motor eléctrico BLDC de 72 V y 1500 W, acompañado de su controlador electrónico, considerando criterios de eficiencia energética, disponibilidad comercial y facilidad de implementación. Para el dimensionamiento del sistema de propulsión se adoptó un criterio de cálculo corregido que distingue entre la potencia mínima teórica de desplazamiento y la potencia eléctrica real demandada por el conjunto motriz. Inicialmente, el análisis ideal de resistencia a la rodadura permitió estimar una potencia base de 595,05 W; sin embargo, este valor no representa por sí solo las condiciones reales de operación del prototipo. Por ello, durante el diseño se incorporó un ajuste técnico asociado a arranque, variaciones de carga, fricción, transmisión y pérdidas térmicas del sistema, obteniéndose una potencia útil corregida de 1033,45 W. Posteriormente, al considerar una eficiencia total del sistema del 82 % ($\eta=0,82$), se determinó una demanda eléctrica real de entrada de 1260,30 W. Este criterio metodológico sirvió como base para la selección del motor de 1500 W a 72 V y del controlador correspondiente, garantizando coherencia entre el diseño teórico y las condiciones reales de funcionamiento del bugui eléctrico triciclo. [23]

Además, se diseñó el sistema de alimentación eléctrica, contemplando protecciones básicas contra sobrecorriente, cortocircuito y desconexión de emergencia. De acuerdo con Larminie y Lowry, un diseño adecuado del sistema eléctrico en vehículos eléctricos ligeros debe priorizar la simplicidad, seguridad y facilidad de mantenimiento, especialmente cuando el objetivo es académico y experimental [27].

10.3.5. Fase 4: Selección y adquisición de componentes

Una vez definidos los diseños mecánico y eléctrico, se procedió a la selección y adquisición de los componentes necesarios para la construcción del prototipo. Esta fase consideró criterios de:

- Compatibilidad técnica entre componentes.
- Disponibilidad en el mercado local.
- Relación costo–beneficio.
- Facilidad de reemplazo y mantenimiento.

La correcta selección de componentes es clave para garantizar la viabilidad del proyecto, ya que influye directamente en la confiabilidad del sistema y en los costos de operación futura [28].

10.3.6. Fase 5: Construcción y ensamblaje del prototipo

En esta fase se ejecutó la construcción física del vehículo eléctrico tipo bugui. Se realizaron procesos de corte, conformado y soldadura del chasis tubular, seguidos del ensamblaje de los sistemas mecánicos y eléctricos. Durante el ensamblaje se verificó el alineamiento estructural, la correcta fijación de los componentes y la organización del cableado eléctrico, cumpliendo principios básicos de seguridad industrial. Esta etapa permitió materializar el diseño teórico en un prototipo funcional real. [24]

10.3.6.1. Proceso de pintura

El proceso de pintura del chasis del vehículo eléctrico tipo bugui constituye una etapa fundamental dentro de la fase de construcción y ensamblaje del prototipo, ya que cumple funciones tanto de protección estructural como de mejora estética. Este procedimiento permite prolongar la vida útil de la estructura metálica, protegerla frente a la corrosión y garantizar un acabado adecuado para su uso en ambientes académicos y experimentales. La primera etapa del proceso corresponde a la limpieza superficial del chasis, la cual se realizó una vez concluida la

soldadura y verificación estructural. En esta fase se eliminaron residuos de grasa, polvo, escoria de soldadura y partículas metálicas mediante limpieza mecánica y manual, asegurando que la superficie del acero se encuentre libre de contaminantes que puedan afectar la adherencia de los recubrimientos posteriores. [25]

Posteriormente, se aplicó un recubrimiento anticorrosivo, cuya función principal es proteger el acero frente a la oxidación provocada por la humedad y las condiciones ambientales. Este tratamiento es especialmente importante en estructuras metálicas expuestas, ya que actúa como una barrera protectora entre el material base y el entorno, incrementando la durabilidad del chasis y reduciendo la necesidad de mantenimiento correctivo. Finalmente, se realizó la aplicación de la pintura final, seleccionada considerando criterios de resistencia, adherencia y acabado. La pintura fue aplicada de manera uniforme sobre toda la superficie del chasis, asegurando una cobertura completa y un acabado homogéneo. Esta etapa no solo mejora la apariencia visual del prototipo, sino que también contribuye a una protección adicional contra agentes externos. El proceso de pintura descrito garantiza que el chasis del bugui eléctrico cumpla con condiciones adecuadas de protección y presentación, permitiendo que el prototipo sea utilizado de forma segura y prolongada dentro del laboratorio de Electromecánica. Asimismo, este procedimiento refuerza el carácter metodológico y práctico del proyecto, alineándose con los objetivos de diseño, construcción y validación experimental del vehículo eléctrico. [26]

10.3.6.2. Diagrama de flujo de la instalación del sistema eléctrico

El diagrama de flujo de la instalación del sistema eléctrico del vehículo tipo bugui eléctrico permite describir de manera ordenada y secuencial las actividades necesarias para la correcta integración de los componentes eléctricos del prototipo. Este procedimiento metodológico garantiza una instalación segura, funcional y acorde a los criterios básicos de seguridad eléctrica, facilitando además la identificación de posibles fallas durante el proceso de montaje. El proceso inicia con la instalación del banco de baterías, el cual constituye la principal fuente de energía del vehículo eléctrico. Para el presente proyecto se emplean baterías de ácido-plomo, seleccionadas por su disponibilidad, costo accesible y facilidad de implementación en aplicaciones educativas. Las baterías son ubicadas estratégicamente en el chasis, asegurando una correcta distribución del peso y una adecuada sujeción mecánica para evitar desplazamientos durante la operación del vehículo. [26]

Posteriormente, se realiza la conexión del controlador electrónico, componente encargado de regular la entrega de energía desde las baterías hacia el motor eléctrico. El controlador es

instalado en una zona protegida del chasis, considerando la ventilación, accesibilidad y protección frente a vibraciones. En esta etapa se efectúan las conexiones eléctricas correspondientes entre baterías, controlador y sistemas de protección, respetando la polaridad y las especificaciones del fabricante. La siguiente etapa corresponde a la instalación del motor eléctrico, el cual se acopla mecánicamente al sistema de transmisión del vehículo. Una vez fijado el motor, se procede a la conexión eléctrica con el controlador, asegurando un correcto ajuste de los terminales y evitando pérdidas de energía o riesgos de cortocircuito. Esta etapa es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de propulsión. [27]

A continuación, se integran los sistemas de protección eléctrica, los cuales incluyen fusibles, interruptores y dispositivos de corte de corriente. Estos elementos cumplen la función de proteger los componentes del sistema eléctrico frente a sobrecargas, cortocircuitos o fallas imprevistas, contribuyendo a la seguridad del prototipo y de los usuarios durante su operación. Finalmente, el proceso concluye con la fase de pruebas eléctricas, donde se verifican las conexiones, continuidad del circuito y correcto funcionamiento del sistema. En esta etapa se realizan pruebas de encendido, respuesta del controlador y operación del motor en condiciones controladas, permitiendo validar la correcta instalación del sistema eléctrico antes de la puesta en marcha definitiva del vehículo. [28]

El diagrama de flujo presentado facilita la comprensión del proceso de instalación eléctrica y sirve como una guía metodológica para futuras intervenciones, mantenimiento o mejoras del prototipo, reforzando su valor como herramienta didáctica dentro del laboratorio de Electromecánica. [29]



Figura 8. Diagrama de flujo de la instalación del sistema eléctrico del vehículo tipo bugui eléctrico.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

10.3.7. Fase 6: Integración del sistema y pruebas funcionales

Con el prototipo ensamblado, se realizaron pruebas funcionales preliminares para verificar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico y mecánico. Entre las pruebas ejecutadas se incluyeron:

- Arranque del sistema.
- Respuesta del acelerador.
- Funcionamiento del motor eléctrico.
- Sistema de frenado.
- Sistema de recarga de baterías.

Estas pruebas se realizaron en condiciones controladas, permitiendo identificar posibles fallas y realizar ajustes antes de la validación final. Según Ogata, las pruebas funcionales son esenciales para confirmar que el sistema responde conforme al diseño previsto [29].

10.3.8. Fase 7: Evaluación y validación del prototipo

Finalmente, se desarrolló la fase de evaluación y validación del prototipo, orientada a comprobar de manera práctica que el vehículo eléctrico tipo bugui triciclo fue efectivamente

construido, ensamblado y puesto en funcionamiento conforme a los parámetros definidos en la etapa de diseño. Esta fase constituyó el cierre técnico del proyecto, ya que permitió verificar no solo la culminación física del vehículo, sino también su operatividad real bajo condiciones controladas de prueba. La validación del último objetivo específico se llevó a cabo mediante la ejecución de pruebas funcionales sobre el prototipo ya terminado, considerando la integración total de sus sistemas mecánicos, eléctricos y estructurales. Para ello, se verificó primero que el vehículo contara con todos sus elementos principales instalados y operativos, entre ellos: chasis tubular ensamblado, sistema de dirección, suspensión, sistema de frenado, banco de baterías, controlador electrónico, motor eléctrico, sistema de aceleración y sistema de recarga. La presencia e integración de estos componentes permitió constatar que el vehículo no permaneció en una etapa conceptual o de simulación, sino que alcanzó una condición material y funcional completa. [30]

Posteriormente, se realizaron pruebas de encendido y respuesta del sistema eléctrico, con el propósito de comprobar la correcta alimentación del controlador, la activación del motor y la respuesta progresiva del acelerador. Estas pruebas permitieron verificar que el sistema de propulsión respondía de acuerdo con lo previsto en el diseño, evidenciando que la energía suministrada por el banco de baterías era correctamente gestionada por el controlador y transformada en movimiento útil a través del sistema de tracción del vehículo. Adicionalmente, se desarrollaron pruebas de funcionamiento mecánico del prototipo, observando la estabilidad de la estructura, la respuesta del sistema de dirección, el comportamiento del sistema de frenado y la correcta integración del conjunto chasis-suspensión-tracción. Estas verificaciones permitieron confirmar que el vehículo presentaba condiciones mínimas de seguridad y operatividad para su utilización en un entorno académico y experimental, sin evidenciar fallas críticas que impidieran su funcionamiento. [31]

Como parte de esta fase, también se ejecutaron pruebas de desempeño relacionadas con consumo energético, comportamiento bajo carga y respuesta general del sistema durante el movimiento. Estas pruebas sirvieron para contrastar el funcionamiento real del prototipo con los parámetros de diseño previamente establecidos, permitiendo verificar que el vehículo alcanzó un nivel de desempeño coherente con los objetivos del proyecto. La culminación del prototipo se demostró no solo por la finalización física de su estructura y el montaje completo de sus componentes, sino también por la evidencia práctica de que el vehículo fue capaz de encender, responder al acelerador, movilizarse, frenar y operar como sistema electromecánico integrado. En consecuencia, esta fase permitió comprobar de forma experimental que el

vehículo sí funcionó y que fue concluido satisfactoriamente como producto tecnológico aplicable al Laboratorio de Electromecánica. Por tanto, la evaluación y validación del prototipo confirma que el último objetivo específico fue cumplido, ya que se logró demostrar en la práctica que el vehículo tipo bugui triciclo alcanzó una condición final de operatividad, integración funcional y culminación constructiva, consolidándose como una herramienta didáctica real para la formación académica en el área de Electromecánica. [10]

10.4. Técnicas, instrumentos y herramientas empleadas

El desarrollo del proyecto “Implementación de un vehículo tipo bugui eléctrico recargable enchufable para el Laboratorio de Electromecánica de la UTC – Extensión La Maná” requirió la aplicación de diversas técnicas de investigación, así como el uso de instrumentos y herramientas técnicas, tanto en la etapa de diseño como en la fase de construcción y validación del prototipo. La correcta selección de estos elementos permitió garantizar la viabilidad técnica, la precisión de los cálculos y la confiabilidad de los resultados experimentales. Según Hernández-Sampieri et al., en investigaciones aplicadas de carácter tecnológico es fundamental integrar técnicas documentales, experimentales y de observación directa para asegurar la validez del proceso investigativo [24].

10.5. Técnicas de investigación empleadas

10.5.1. Investigación documental

Se aplicó la técnica de investigación documental para recopilar información teórica y técnica relacionada con:

- Vehículos eléctricos ligeros
- Sistemas de tracción eléctrica
- Diseño de chasis tubulares
- Almacenamiento energético en baterías
- Normativas de seguridad eléctrica y mecánica

Esta técnica permitió fundamentar el diseño del prototipo, así como sustentar los criterios de selección de materiales y componentes. La consulta incluyó libros técnicos, artículos científicos, normas internacionales (ISO, IEC) y fichas técnicas de fabricantes [25].

10.5.2. Investigación experimental

La investigación experimental fue la técnica principal del estudio, ya que el proyecto implicó la construcción física de un prototipo funcional y la evaluación directa de su desempeño.

Esta técnica permitió:

- Verificar el funcionamiento real del motor eléctrico
- Evaluar el comportamiento estructural del chasis
- Analizar el consumo energético del sistema
- Validar la operatividad del vehículo en condiciones reales

De acuerdo con Montgomery, la investigación experimental es indispensable en proyectos de ingeniería cuando se busca comprobar el desempeño real de un sistema diseñado teóricamente [26].

10.5.3. Observación técnica directa

Durante las fases de ensamblaje y pruebas, se aplicó la observación técnica directa, permitiendo identificar:

- Vibraciones anómalas
- Comportamientos irregulares del sistema de transmisión
- Respuesta del sistema eléctrico bajo carga
- Posibles fallas mecánicas o eléctricas

Esta técnica fue clave para realizar ajustes y mejoras progresivas al prototipo, garantizando su correcto funcionamiento antes de la validación final [27].

10.6. Instrumentos utilizados en la investigación

Los instrumentos empleados permitieron recopilar datos cuantitativos y cualitativos necesarios para el análisis técnico del vehículo eléctrico tipo bugui.

Los instrumentos empleados permitieron recopilar datos cuantitativos y cualitativos necesarios para el análisis técnico del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo. Entre los principales instrumentos se consideraron herramientas de medición física, equipos de pesaje, instrumentos eléctricos y un instrumento de percepción aplicado mediante encuesta estructurada. En particular, se diseñó una encuesta estructurada con escala tipo Likert de cinco niveles, orientada a valorar la percepción de los participantes respecto a la pertinencia académica, utilidad didáctica, viabilidad técnica e impacto formativo del prototipo desarrollado. La incorporación

de este instrumento permitió complementar la validación técnica del vehículo con una apreciación directa de su aporte como herramienta de enseñanza-aprendizaje dentro del área de Electromecánica. La encuesta estuvo conformada por 15 preguntas cerradas, redactadas en función de los objetivos de la investigación y organizadas para explorar aspectos relacionados con el aprendizaje práctico, la comprensión de sistemas eléctricos y mecánicos, la valoración del diseño implementado y la utilidad del bugui triciclo como recurso académico. Su estructura permitió obtener información ordenada, comparable y susceptible de interpretación cuantitativa.

La escala de valoración utilizada en la encuesta fue la siguiente:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

La aplicación de este instrumento permitió recoger evidencia complementaria sobre la aceptación y funcionalidad del prototipo desde una perspectiva académica, reforzando el carácter aplicado de la investigación. El formato completo de la batería de preguntas utilizada se presenta en el Anexo A.

Entre los principales instrumentos utilizados en la investigación se destacan:

- Cinta métrica y calibrador Vernier, para medición de longitudes y diámetros estructurales.
- Balanza digital, utilizada para determinar el peso del chasis, componentes y carga total.
- Multímetro digital, empleado para medición de voltaje, corriente y continuidad del sistema eléctrico.
- Tacómetro, utilizado para verificar la velocidad de rotación del motor.
- Cronómetro, para registrar tiempos de prueba y estimaciones de autonomía.
- Encuesta estructurada con escala Likert, para valorar la percepción académica y funcional del prototipo.

Estos instrumentos son comúnmente utilizados en laboratorios de ingeniería electromecánica debido a su confiabilidad y precisión [28].

10.7. Herramientas de diseño, simulación y construcción

10.7.1. Software de diseño y simulación

Para el desarrollo del proyecto se emplearon herramientas digitales especializadas que facilitaron el diseño y análisis previo del prototipo:

- Software CAD (AutoCAD / SolidWorks) para el diseño del chasis y disposición de componentes.
- Simulaciones estructurales básicas, utilizadas para visualizar esfuerzos y distribución de cargas.
- Hojas de cálculo, empleadas para cálculos de peso, potencia, torque y consumo energético.

El uso de herramientas CAD permite reducir errores constructivos y optimizar el diseño antes de su fabricación física [29].

10.7.2. Herramientas de taller

En la fase de construcción se utilizaron herramientas propias del taller de electromecánica, entre ellas:

- Equipos de soldadura por arco manual (SMAW)
- Esmeriles y cortadoras
- Llaves, dados y herramientas manuales
- Equipos de seguridad personal (guantes, caretas, gafas)

Estas herramientas permitieron el ensamblaje seguro y preciso del chasis y los sistemas mecánicos del vehículo [30].

10.8. Importancia del uso integrado de técnicas e instrumentos

La correcta combinación de técnicas de investigación, instrumentos de medición y herramientas tecnológicas permitió:

- Garantizar la coherencia entre diseño teórico y construcción real
- Validar experimentalmente los cálculos desarrollados
- Reducir riesgos estructurales y eléctricos
- Asegurar la funcionalidad del vehículo como herramienta didáctica

En proyectos de ingeniería aplicada, este enfoque integral es fundamental para obtener resultados confiables y reproducibles [31].

10.9. Cronograma de actividades (Diagrama de Gantt)

El cronograma de actividades constituye una herramienta fundamental para la planificación, organización y control del proyecto de investigación, ya que permite estructurar temporalmente cada una de las fases metodológicas definidas para el desarrollo del vehículo eléctrico tipo bugui. A través del uso del diagrama de Gantt se logra una visualización clara del tiempo requerido para cada actividad, así como la secuencia lógica de ejecución y la relación de dependencia entre tareas. Según Kerzner, la planificación temporal mediante diagramas de Gantt facilita el seguimiento del progreso del proyecto, permite identificar retrasos potenciales y optimiza el uso de recursos humanos y técnicos disponibles. [24]

En proyectos de ingeniería aplicada, como el presente, esta herramienta es esencial para garantizar que el proceso de diseño, construcción y validación del prototipo se realice de manera ordenada y eficiente. El cronograma propuesto fue elaborado considerando la metodología estructurada por fases descrita en el Capítulo III, así como el tiempo académico disponible para la ejecución del proyecto de titulación. Cada actividad fue distribuida en semanas, tomando en cuenta su complejidad técnica, la disponibilidad de materiales, el acceso a laboratorios y talleres, y la necesidad de validaciones parciales antes de avanzar a la siguiente etapa. [25]

10.10. Descripción de las fases incluidas en el cronograma

10.10.1. Fase 1: Análisis del problema y definición de requerimientos

Esta fase inicial contempla la identificación de la necesidad académica del proyecto, el análisis del entorno de aplicación y la definición de los requerimientos técnicos y funcionales del vehículo eléctrico tipo bugui. Su correcta ejecución es clave, ya que establece las bases para el diseño posterior del sistema. De acuerdo con PMI, una definición adecuada de requerimientos reduce significativamente los errores durante las etapas de construcción y validación [25].

10.10.2. Fase 2: Diseño del sistema mecánico (chasis)

En esta etapa se desarrollan los planos estructurales del chasis tubular mediante herramientas CAD, considerando criterios de resistencia, ergonomía y seguridad. El diseño mecánico se programa en el cronograma con una duración suficiente para permitir iteraciones y correcciones previas a la fabricación, tal como recomiendan metodologías de diseño mecánico aplicadas [26].

10.10.3. Fase 3: Diseño del sistema eléctrico y electrónico

Esta fase incluye la selección del motor eléctrico, controlador, banco de baterías y sistema de protección, asegurando la compatibilidad entre componentes. El cronograma asigna un tiempo específico para la revisión de fichas técnicas, cálculos eléctricos y esquematización del sistema, lo cual es fundamental para evitar incompatibilidades durante el ensamblaje [27].

10.10.4. Fase 4: Selección y adquisición de componentes

Una vez definidos los diseños mecánico y eléctrico, se planifica la adquisición de materiales y componentes. Esta fase contempla posibles tiempos de espera por disponibilidad de proveedores, motivo por el cual se asigna un margen temporal adecuado dentro del cronograma. La literatura técnica destaca que una planificación deficiente en esta etapa puede generar retrasos significativos en proyectos de prototipado [28].

10.10.5. Fase 5: Construcción y ensamblaje del prototipo

Corresponde a la fase de mayor carga operativa del proyecto. Incluye la fabricación del chasis mediante procesos de corte y soldadura, así como el montaje de los sistemas mecánicos y eléctricos. El cronograma considera esta etapa como crítica, debido a que concentra la mayor parte del trabajo práctico en taller y laboratorio [29].

10.10.6. Fase 6: Integración del sistema y pruebas funcionales

En esta fase se realizan pruebas de encendido, funcionamiento del motor, respuesta del acelerador, sistema de frenado y proceso de recarga. Estas actividades permiten identificar fallas y realizar ajustes técnicos. Según Montgomery, la validación experimental es indispensable para confirmar que el sistema cumple con los requisitos definidos inicialmente [30].

10.10.7. Fase 7: Evaluación, análisis de resultados y validación del prototipo

Finalmente, el cronograma incluye el análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas, la validación del desempeño del vehículo y la elaboración de conclusiones técnicas. Esta etapa asegura que el prototipo funcione como una herramienta didáctica efectiva para el laboratorio de Electromecánica [31].

10.11. Importancia del diagrama de Gantt en el proyecto

El diagrama de Gantt presentado permite:

- Controlar el avance del proyecto de manera sistemática.
- Identificar actividades críticas y dependencias entre fases.

- Optimizar el uso del tiempo y los recursos disponibles.
- Garantizar la culminación del proyecto dentro del período académico establecido.

En la Figura 6 se presenta el diagrama de Gantt correspondiente al cronograma de actividades del proyecto, donde se visualiza la distribución temporal de cada fase metodológica.

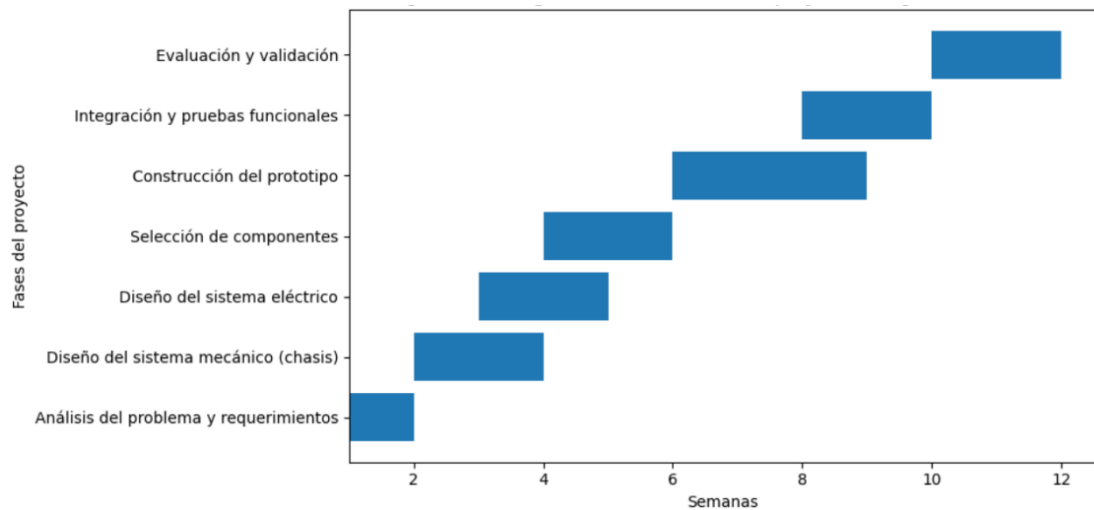


Figura 9. Cronograma de actividades del proyecto (Diagrama de Gantt).

Fuente: Torres y Villacis (2026).

10.12. Cálculo de la capacidad de carga del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo

10.12.1. Objetivo del apartado:

Justificar técnicamente que el chasis, el sistema de propulsión y el sistema de almacenamiento energético del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo soportan de forma segura el peso total del prototipo bajo condiciones reales de operación.

10.12.2. Consideraciones iniciales del cálculo

Antes de realizar cualquier análisis de potencia, autonomía o comportamiento estructural, es indispensable determinar la capacidad de carga total del vehículo. Este cálculo permite verificar que la estructura del chasis, el sistema de propulsión y el banco de baterías fueron dimensionados correctamente para operar de forma segura, sin comprometer la integridad mecánica del prototipo. [11]

En vehículos eléctricos ligeros, el análisis de carga constituye un paso fundamental dentro del proceso de diseño, ya que de él dependen la selección del motor, la resistencia del chasis, la estabilidad del sistema y la estimación del desempeño energético. En el presente proyecto, este análisis adquiere mayor relevancia debido a que el vehículo desarrollado corresponde a una

configuración triciclo, es decir, una estructura de tres ruedas, lo que exige una distribución adecuada de masas y una evaluación precisa del peso total soportado por el sistema. Para el presente estudio se considera una capacidad de transporte de dos ocupantes, acorde al uso académico previsto dentro del Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. [12]

10.12.3. Determinación de los pesos que conforman la carga total

Para el cálculo de la carga total se consideran los siguientes elementos:

10.12.3.1. Peso del chasis tubular

El chasis del vehículo está construido con perfiles tubulares de acero estructural ASTM A36 de 1¼ pulgadas, seleccionados por su resistencia mecánica, disponibilidad comercial y facilidad de fabricación. Con base en el diseño adoptado y el material empleado en la construcción del prototipo, se considera el siguiente valor estimado:

Peso del chasis:

$$W_{chasis} = 45 \text{ kg} \quad (1)$$

Ecuación 1. Peso del Chasis

Este valor corresponde al peso estructural del bastidor principal del bugui triciclo y representa la base resistente sobre la cual se integran el sistema eléctrico, los ocupantes y los demás componentes del vehículo. [26].

10.12.3.2. Peso del sistema de propulsión eléctrica

El sistema de propulsión está conformado por el motor eléctrico, el controlador electrónico y los elementos auxiliares de acople y conexión. En este proyecto se considera un sistema de tracción eléctrica liviano, acorde con la configuración triciclo y con el enfoque experimental del prototipo.

De acuerdo con los componentes implementados, se adopta el siguiente valor promedio:

$$W_{propulsion} = 18 \text{ kg} \quad (2)$$

Ecuación 2. Peso del sistema de propulsión eléctrica

Este peso incluye el conjunto motriz necesario para generar el movimiento del vehículo y transferir el par hacia la rueda motriz.

10.12.3.3. Peso del banco de baterías

El sistema de almacenamiento energético está conformado por baterías de plomo-ácido, seleccionadas por su disponibilidad local, facilidad de mantenimiento y bajo costo relativo frente a otras tecnologías de almacenamiento.

Para el arreglo empleado en el prototipo se considera el siguiente valor:

$$W_{baterias} = 60 \text{ kg} \quad (3)$$

Ecuación 3. Peso del banco de baterías

Este valor es consistente con la incorporación de un banco de baterías de plomo-ácido para alimentación del sistema eléctrico del bugui triciclo. [27].

10.12.3.4. Peso de los ocupantes

Se considera un peso promedio por ocupante de 75 kg, valor frecuentemente adoptado en estudios preliminares de diseño vehicular para estimar carga útil. [27].

Por tanto:

$$W_{ocupantes} = 2 \times 75 = 150 \text{ kg} \quad (4)$$

Ecuación 4. Peso de los ocupantes

10.12.3.5. Cálculo del peso total del vehículo

La carga total del vehículo se obtiene sumando todos los pesos considerados:

$$W_{total} = W_{chasis} + W_{propulsion} + W_{baterias} + W_{ocupantes} \quad (5)$$

Ecuación 5. Cálculo del peso total del vehículo

Sustituyendo:

$$W_{total} = W_{chasis} + W_{propulsion} + W_{baterias} + W_{ocupantes}$$

$$W_{total} = 45 + 18 + 60 + 150$$

$$W_{total} = 273 \text{ kg} \quad (6)$$

Ecuación 6. *Valor del peso total del vehículo*

Por lo tanto, el peso total estimado del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo, incluyendo estructura, sistema motriz, banco de baterías y ocupantes, es de:

$$W_{total} = 273 \text{ kg}$$

10.12.4. Conversión de peso a carga en Newtons

Para fines de análisis estructural y dinámico, el peso total debe expresarse como fuerza:

$$F = m \cdot g \quad (7)$$

Ecuación 7. *Cálculo de la fuerza en función de la masa y la aceleración gravitacional.*

Donde:

- $m = 273 \text{ kg}$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Entonces:

$$\begin{aligned} F_{total} &= 273 \times 9,81 \\ F_{total} &= 2678.13 \text{ N} \end{aligned} \quad (8)$$

Ecuación 8. *Valor de la fuerza en función de la masa y la aceleración gravitacional.*

Este valor representa la carga gravitacional total que debe soportar el sistema estructural del vehículo bajo condiciones estáticas normales.

10.12.5. Análisis técnico del resultado

El valor obtenido representa la carga estática total que debe soportar el chasis del vehículo, el sistema de suspensión y el sistema de apoyo estructural del bugui triciclo. Este resultado permite establecer una base técnica para verificar la resistencia mecánica del prototipo y para desarrollar posteriormente análisis de impacto, estabilidad y comportamiento estructural. La configuración triciclo implica que la carga total no se distribuye sobre cuatro puntos de apoyo,

sino sobre tres ruedas, por lo que la distribución de peso y la ubicación del centro de gravedad adquieren una importancia especial en el diseño. En este sentido, el valor total calculado permite fundamentar los análisis de estabilidad lateral, impacto frontal e impacto lateral desarrollados posteriormente en la tesis. [13]

El resultado también confirma que el uso de una estructura tubular liviana resulta adecuado para fines académicos y experimentales, ya que permite soportar el peso del sistema sin sobredimensionar el vehículo, manteniendo una relación favorable entre resistencia estructural y masa total. Asimismo, el cálculo demuestra que el prototipo puede operar con dos ocupantes, el sistema de propulsión y el banco de baterías sin comprometer la integridad general del bastidor, constituyendo así una base técnica válida para los análisis posteriores de potencia requerida, desempeño energético y validación experimental. [14]

10.12.6. Definición de la carga total del vehículo

El cálculo de la capacidad de carga del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo demuestra que el prototipo presenta una masa total estimada de 273 kg, equivalente a una carga gravitacional de 2678.13 N. Este resultado constituye un parámetro fundamental para el análisis estructural del chasis y para la evaluación del comportamiento mecánico del vehículo bajo condiciones normales de operación. La determinación de esta carga permite validar que la estructura fue concebida dentro de un rango adecuado para un vehículo eléctrico ligero de uso académico, además de servir como referencia para los análisis de impacto, seguridad estructural y estabilidad dinámica propios de una configuración de tres ruedas. [15]

10.12.7. Peso del sistema eléctrico y mecánico

El sistema eléctrico y mecánico del vehículo está compuesto principalmente por el motor eléctrico, el banco de baterías, el controlador electrónico y los elementos auxiliares de conexión, protección y acople. Para efectos del cálculo de carga total del prototipo, se consideran los siguientes valores aproximados:

Tabla 2. Estimación del peso del sistema eléctrico y mecánico del vehículo tipo bugui triciclo

Componente	Peso estimado (kg)
Motor eléctrico 1500 W – 72 V	10
Banco de baterías plomo-ácido (72 V)	60

Controlador y cableado	5
Sistema de acople y soporte mecánico	3
Total sistema eléctrico y mecánico	78 kg

Fuente: Torres y Villacis (2026).

Por lo tanto:

$$W_{sistema\ electrico} = 78\ kg \quad (9)$$

Ecuación 9. *Peso del sistema eléctrico y mecánico*

Este peso representa una configuración realista del conjunto eléctrico-mecánico del prototipo, considerando un sistema de propulsión liviano y un banco de baterías de plomo-ácido acorde al diseño académico del vehículo. [28].

10.12.8. Peso de los ocupantes (carga útil)

El vehículo ha sido diseñado para transportar dos personas, considerando un peso promedio estándar de 75 kg por ocupante, valor comúnmente utilizado en estudios de diseño vehicular y dimensionamiento estructural.

$$W_{ocupantes} = 2 \times 75 = 150\ kg \quad (10)$$

Ecuación 10. *Peso de los ocupantes (carga útil)*

Este criterio permite evaluar el comportamiento del vehículo bajo condiciones reales de uso académico y experimental, tomando en cuenta la influencia directa de la carga útil sobre la estabilidad, la resistencia estructural y el desempeño general del prototipo. [16]

10.12.9. Cálculo de la carga total del vehículo

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación general:

$$W_{total} = W_{Chasis} + W_{Sistema} + W_{Ocupantes} \quad (11)$$

Ecuación 11. *Cálculo de la carga total del vehículo*

$$W_{total} = 45 + 78 + 150$$

$$W_{total} = 273kg \quad (12)$$

Ecuación 12. *Valor de la carga total del vehículo*

Por lo tanto, el vehículo tipo bugui eléctrico triciclo debe ser capaz de operar correctamente con una masa total aproximada de 273 kg, sin comprometer la integridad estructural del chasis ni el desempeño general del sistema de propulsión. [17]

10.12.10. Consideraciones de seguridad estructural

Para el diseño del chasis y la validación del prototipo, se recomienda aplicar un factor de seguridad que permita cubrir condiciones dinámicas adicionales como aceleraciones, irregularidades del terreno, vibraciones y cargas transitorias derivadas del uso real del vehículo. [18]

La carga de diseño corregida puede expresarse como:

$$W_{diseño} = 1,3 \times W_{total} \quad (13)$$

Ecuación 13. *Cálculo del Peso del Diseño*

Sustituyendo:

$$W_{diseño} = 1,3 \times 273 = 354,9 \text{ kg} \quad (14)$$

Ecuación 14. *Valor del Peso del Diseño*

Este valor constituye la carga de referencia para los análisis estructurales posteriores, permitiendo evaluar el comportamiento del chasis tubular bajo condiciones más exigentes que las estrictamente estáticas.

Los resultados de simulación estructural del chasis muestran un coeficiente mínimo de seguridad de 3.13252, valor que indica un margen adecuado frente a las cargas analizadas para el material seleccionado. [19]

10.12.11. Importancia del cálculo de carga en el diseño del bugui

El cálculo de la capacidad de carga constituye una etapa fundamental en el desarrollo del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo, ya que condiciona directamente:

- la selección del motor eléctrico y su potencia nominal;
- la elección y dimensionamiento del banco de baterías;
- la verificación estructural del chasis tubular;
- el análisis de estabilidad propio de una configuración de tres ruedas;
- y la estimación de la autonomía y del desempeño energético del sistema.

En vehículos eléctricos ligeros, una estimación adecuada de la masa total mejora significativamente la confiabilidad del diseño, la seguridad de operación y la coherencia entre estructura, tracción y sistema de almacenamiento energético. [26], [27].

10.13. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL BUGUI ELÉCTRICO

10.13.1. Descripción general del sistema de propulsión

El sistema de propulsión del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo está constituido por el conjunto de elementos encargados de transformar la energía eléctrica almacenada en las baterías en energía mecánica útil para generar el desplazamiento del vehículo. Este sistema está compuesto principalmente por el motor eléctrico, el controlador electrónico y el mecanismo de acople hacia la rueda motriz. En el presente proyecto se seleccionó un motor eléctrico de 1500 W de potencia nominal y 72 V, adecuado para aplicaciones de vehículos eléctricos ligeros y de uso académico. Su elección responde a criterios de disponibilidad, compatibilidad con el sistema de baterías y capacidad suficiente para movilizar el prototipo bajo condiciones normales de operación. [20]

A diferencia de configuraciones que emplean transmisión por cadena o poleas, en este prototipo se implementa un sistema de tracción directa, en el cual el motor transmite el movimiento de forma directa al conjunto motriz, eliminando elementos intermedios de transmisión. Esta decisión reduce pérdidas mecánicas por fricción, simplifica el sistema, disminuye requerimientos de mantenimiento y mejora el aprovechamiento de la potencia entregada por el motor. Por tanto, el sistema de propulsión del bugui triciclo se caracteriza por su simplicidad mecánica, su eficiencia de operación y su adecuación a un entorno académico y experimental, donde resulta importante analizar el comportamiento real del vehículo con una arquitectura funcional y técnicamente coherente. [21]

10.13.2. Potencia requerida para el desplazamiento del bugui

La potencia requerida para el desplazamiento del vehículo se determinó a partir de la fuerza de resistencia a la rodadura y de la velocidad de diseño adoptada para el prototipo. Este cálculo

constituye una primera aproximación ideal al comportamiento del sistema, ya que permite estimar la potencia mecánica mínima necesaria para mantener el movimiento sobre una superficie de rodadura bajo condiciones controladas. []

La fuerza de resistencia a la rodadura se obtuvo mediante la expresión:

$$F_r = \mu_r \cdot m \cdot g \quad (15)$$

Ecuación 15. *Cálculo de la Fuerza de Resistencia a la Rodadura*

Donde:

$\mu_r = 0,02$ es el coeficiente de resistencia a la rodadura,

$m = 273 \text{ kg}$ es la masa total estimada del vehículo,

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ es la aceleración gravitacional.

Sustituyendo los valores:

$$F_r = 0,02 \cdot 273 \cdot 9,81$$

$$F_r = 53,56 \text{ N}$$

Con este valor, la potencia mecánica ideal de desplazamiento se calculó mediante:

$$P = F_r \cdot v \quad (16)$$

Ecuación 16. *Cálculo de la potencia mecánica ideal de desplazamiento*

Considerando una velocidad de diseño de:

$$v = 11,11 \text{ m/s}$$

se tiene:

$$P = 53,56 \cdot 11,11$$

$$P = 595,05 \text{ W}$$

Este resultado representa la potencia mínima teórica necesaria para vencer únicamente la resistencia a la rodadura en condiciones ideales. No obstante, en un vehículo experimental de configuración triciclo este valor no es suficiente para definir por sí solo la selección del sistema motriz, debido a que no incorpora los efectos asociados al arranque, las variaciones de carga, las pérdidas por fricción, la transmisión de potencia, las irregularidades del terreno y las exigencias dinámicas propias de la operación real. [20]

Por esta razón, para el dimensionamiento del sistema se adoptó una potencia útil corregida de:

$$P_u = 1033,45 \text{ W}$$

Este valor representa una demanda de trabajo más cercana a las condiciones reales del prototipo. A partir de esta potencia útil corregida y considerando una eficiencia total del sistema del 82 % ($\eta=0,82$), la potencia eléctrica real de entrada se determinó mediante:

$$P_{in} = \frac{P_u}{\eta} \quad (17)$$

Ecuación 17. *Cálculo de la potencia eléctrica real de entrada*

Sustituyendo:

$$P_{in} = \frac{1033,45}{0,82}$$

$$P_{in} = 1260,30 \text{ W}$$

En consecuencia, la demanda eléctrica real del sistema de propulsión del bugui eléctrico triciclo se estimó en 1260,30 W. Este valor constituye el referente técnico correcto para la selección del motor y del controlador, ya que incorpora de manera más realista las pérdidas y exigencias operativas del prototipo. Bajo este criterio, un motor de 1500 W a 72 V no se encuentra sobredimensionado, sino que dispone de una reserva de potencia razonable para garantizar arranque, estabilidad de operación y funcionamiento seguro en condiciones académicas y experimentales. [21]

10.13.3. Relación peso–potencia del vehículo

La relación peso–potencia es un indicador técnico fundamental para evaluar el desempeño dinámico de un vehículo eléctrico, ya que expresa la correspondencia entre la masa total del sistema y la potencia disponible del motor. Este parámetro permite estimar si el conjunto motriz es suficiente para desplazar el prototipo bajo condiciones normales de operación. [22]

Matemáticamente, la relación peso–potencia se expresa como:

$$\text{Relación peso – potencia} = \frac{m}{p} \quad (18)$$

Ecuación 18. *Relación peso–potencia del vehículo*

Donde:

- m = masa total del vehículo (kg)
- P = Potencia Nominal del Motor (kW)

Para el prototipo desarrollado se tiene:

- $m = 273 \text{ kg}$
- $P = 1500 \text{ W} = 1,5 \text{ kW}$

Sustituyendo:

$$\text{Relación peso-potencia} = \frac{273}{1.5}$$

$$\text{Relación peso-potencia} = 182 \text{ kg/kW} \quad (19)$$

Ecuación 19. *Valor de la Relación peso-potencia del vehículo*

Este valor se encuentra dentro de los rangos aceptables para vehículos eléctricos ligeros de uso académico y experimental, indicando que el motor seleccionado presenta una capacidad adecuada para movilizar el bugui eléctrico triciclo sin comprometer el desempeño general del sistema. Asimismo, este resultado confirma que la combinación entre masa estructural, banco de baterías y potencia instalada mantiene una relación coherente con el propósito del prototipo, orientado al transporte ligero y al análisis técnico en entorno controlado. [23]

10.13.4. Análisis del torque requerido en las ruedas

El torque en la rueda constituye un parámetro esencial para garantizar la capacidad de arranque, desplazamiento y respuesta dinámica del vehículo. En un prototipo de tracción directa, como el desarrollado en esta investigación, el par generado por el motor se transmite de manera más directa al sistema motriz, reduciendo pérdidas mecánicas por elementos intermedios de transmisión. El torque requerido se estima a partir de la fuerza de tracción y el radio efectivo de la rueda, mediante la expresión:

$$T = F \cdot r \quad (20)$$

Ecuación 20. *Ecuación del torque requerido en las ruedas*

Donde:

- T es el torque requerido (N·m)
- F es la fuerza de tracción (N)
- r es el radio de la rueda (m)

Para este análisis se adopta como referencia la fuerza de resistencia a la rodadura calculada previamente:

$$F = 53.56 \text{ N}$$

Y se considera un radio efectivo de rueda de:

$$r = 0,25 \text{ m}$$

Sustituyendo:

$$T = 53.56 \cdot 0,25$$

$$T = 13.39 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (21)$$

Ecuación 21. *Valor del torque requerido en las ruedas*

Este valor representa el torque mínimo requerido para mantener el movimiento del vehículo bajo condiciones ideales de desplazamiento uniforme. No obstante, durante arranque, aceleración o circulación sobre superficies irregulares, la demanda de torque puede incrementarse, razón por la cual la selección del motor de 1500 W proporciona un margen adecuado para responder ante variaciones de carga y condiciones de uso reales. En el bugui triciclo desarrollado, la ausencia de cadena o poleas implica que no existe multiplicación mecánica del torque por una transmisión intermedia; por tanto, el sistema debe garantizar directamente desde el conjunto motriz la capacidad necesaria para movilizar el vehículo con seguridad y eficiencia. [24]

10.13.5. Justificación técnica del motor seleccionado

La selección del motor eléctrico constituye una de las decisiones más relevantes dentro del diseño del vehículo tipo bugui triciclo, ya que de este componente depende directamente la capacidad de arranque, el desplazamiento bajo carga, la respuesta dinámica del sistema de tracción y el desempeño energético general del prototipo. En el presente proyecto se seleccionó un motor eléctrico de 1500 W y 72 V, debido a que esta configuración proporciona una relación adecuada entre potencia disponible, compatibilidad eléctrica, capacidad de respuesta y viabilidad de implementación para un vehículo experimental de tres ruedas. La justificación de esta elección se sustenta, en primer lugar, en la masa total del prototipo. A partir del análisis de carga realizado en la investigación, se determinó una masa aproximada de 273 kg, incluyendo chasis, sistema eléctrico y mecánico, banco de baterías y dos ocupantes. Este valor implica que el sistema motriz no debe dimensionarse únicamente en función de una condición ideal de avance, sino considerando además los requerimientos asociados al arranque, la aceleración inicial, las variaciones de carga y las pérdidas propias del sistema. [25]

En el análisis inicial de desplazamiento se obtuvo una potencia teórica mínima de 595,05 W, correspondiente a la condición ideal de resistencia a la rodadura. Sin embargo, este valor no representa la demanda real del prototipo en operación. Al incorporar una potencia útil corregida

de 1033,45 W y una eficiencia total del sistema del 82 % ($\eta=0,82$), la demanda eléctrica real de entrada se estableció en 1260,30 W. Este resultado constituye la base técnica correcta para justificar la potencia nominal del motor seleccionado. Bajo este criterio, la selección de un motor de 1500 W a 72 V se encuentra técnicamente fundamentada, ya que proporciona un margen de seguridad operacional de aproximadamente el 16 % respecto a la demanda eléctrica real calculada. Dicho margen resulta conveniente en un prototipo académico y experimental, debido a que permite absorber sobrecargas transitorias, exigencias de arranque y variaciones operativas sin llevar el motor a trabajar de forma permanente en su límite nominal. Si se hubiese seleccionado un motor de 1000 W a 48 V, la potencia disponible habría resultado insuficiente frente a la demanda eléctrica real estimada, lo que habría incrementado la probabilidad de sobreexigencia, calentamiento, caída de rendimiento y reducción de la vida útil del sistema. En cambio, el motor de 1500 W a 72 V permite una operación con mayor holgura, una mejor respuesta bajo carga y una entrega de potencia más estable durante el funcionamiento del vehículo. [26]

Otro criterio importante en la selección fue el nivel de tensión del sistema. El uso de 72 V permite trabajar con menores corrientes para una misma potencia, reduciendo pérdidas por efecto Joule, mejorando la estabilidad del sistema eléctrico y favoreciendo una integración más eficiente entre motor, controlador y banco de baterías. Esta condición mejora la seguridad eléctrica del prototipo y fortalece la coherencia técnica del diseño. Asimismo, el motor de 1500 W a 72 V resulta compatible con la arquitectura general del vehículo, ya que se integra adecuadamente con el sistema de tracción directa y con el banco de baterías seleccionado. Esta compatibilidad reduce complejidad de montaje, favorece la estabilidad funcional del conjunto y facilita la implementación del prototipo dentro del entorno académico previsto. En consecuencia, la elección del motor de 1500 W a 72 V no responde a un sobredimensionamiento injustificado, sino a un criterio técnico de diseño basado en la demanda real corregida del sistema. Su selección asegura capacidad suficiente para movilizar con seguridad el bugui triciclo, mantener una operación confiable y preservar un margen razonable frente a las condiciones reales de uso del vehículo. [27]

Tabla 3. Comparación técnica entre alternativas de motores eléctricos para el bugui triciclo

Parámetro	Motor 1000 W – 48 V	Motor 1500 W – 72 V	Motor 2000 W – 72 V
Potencia nominal	1000 W	1500 W	2000 W
Voltaje de operación	48 V	72 V	72 V
Corriente nominal teórica ($I = P/V$)	20,83 A	20,83 A	27,78 A
Demanda eléctrica real del sistema	-	1260,30 W	-
Compatibilidad con demanda real calculada (1260,30 W)	No cumple	Sí cumple	Sí cumple con exceso de capacidad
Capacidad de respuesta bajo carga	Media	Alta	Muy alta
Compatibilidad con masa total de 273 kg	Limitada	Adecuada	Sobredimensionada
Exigencia térmica del sistema	Alta	Moderada	Alta
Viabilidad económica	Alta	Adecuada	Menor
Complejidad de integración	Baja	Adecuada	Mayor
Adecuación para uso académico y experimental	Aceptable	Óptima	Excesiva

Fuente: Torres y Villacis (2026).

10.13.6. Justificación técnica del controlador seleccionado

El controlador electrónico constituye un elemento fundamental dentro del sistema de propulsión del vehículo tipo bugui triciclo, ya que regula la entrega de energía desde el banco de baterías hacia el motor, controlando variables como voltaje, corriente, aceleración y respuesta dinámica del sistema motriz. Su selección debe guardar coherencia con la potencia nominal del motor, el nivel de tensión del sistema y las condiciones de operación del prototipo. En el presente proyecto se seleccionó un controlador de 1500 W a 72 V, debido a que esta configuración presenta compatibilidad directa con el motor eléctrico elegido y con el banco de baterías implementado en el vehículo. Esta correspondencia entre motor y controlador es técnicamente necesaria para garantizar una operación estable, evitar sobrecargas innecesarias y asegurar una entrega de potencia adecuada durante el arranque, el desplazamiento y las variaciones de carga del sistema. [28]

Desde el punto de vista eléctrico, la potencia del controlador debe ser igual o superior a la potencia nominal del motor, con el fin de evitar que el sistema opere en condiciones de limitación permanente. Si el motor seleccionado es de 1500 W a 72 V, resulta coherente emplear un controlador con la misma capacidad nominal, ya que de esta manera se garantiza que el sistema pueda suministrar la energía requerida sin subdimensionamiento electrónico. En cambio, utilizar un controlador de menor capacidad, por ejemplo, de 1000 W, implicaría una reducción de la capacidad de respuesta del sistema, riesgo de sobrecalentamiento y una operación más forzada en condiciones de arranque y carga. [29]

Asimismo, la elección de 72 V como tensión nominal del controlador responde a la configuración del banco de baterías y al criterio de eficiencia del sistema. Un controlador de menor tensión, por ejemplo, de 48 V, no sería compatible con un banco de 72 V, lo que impediría su integración adecuada o exigiría modificaciones no justificadas en la arquitectura eléctrica del prototipo. En consecuencia, la selección de un controlador de 1500 W a 72 V no solo se fundamenta en la potencia requerida, sino también en la necesidad de mantener compatibilidad integral entre fuente de energía, controlador y motor. [30]

Desde la perspectiva operativa, el controlador de 1500 W a 72 V proporciona una regulación más segura y estable de la corriente, permitiendo una respuesta progresiva del acelerador, mayor control del torque y protección del sistema frente a variaciones bruscas de carga. Esta característica resulta especialmente importante en un vehículo de configuración triciclo, donde la estabilidad dinámica y la suavidad de respuesta del sistema de tracción influyen directamente en el comportamiento general del prototipo. [31]

Además, la selección de este controlador contribuye a preservar la vida útil del motor y del banco de baterías, ya que evita picos innecesarios de corriente y mantiene una operación más equilibrada del sistema de potencia. Esto resulta particularmente conveniente en un proyecto académico y experimental, donde el vehículo debe funcionar como plataforma de análisis práctico y no únicamente como medio de desplazamiento. Por tanto, la elección del controlador de 1500 W a 72 V se justifica porque garantiza compatibilidad con el motor y el banco de baterías, proporciona capacidad suficiente para la demanda del sistema, mejora la eficiencia operativa y fortalece la seguridad eléctrica y funcional del bugui triciclo. [11]

Tabla 4. Comparación técnica entre alternativas de controladores para el bugui triciclo

Parámetro	Controlador 1000	Controlador 1500	Controlador 2000
	W – 48 V	W – 72 V	W – 72 V
Potencia nominal	1000 W	1500 W	2000 W
Voltaje de operación	48 V	72 V	72 V
Compatibilidad con motor de 1500 W	No adecuada	Adecuada	Adecuada
Compatibilidad con banco de baterías de 72 V	No compatible	Compatible	Compatible
Capacidad de respuesta bajo carga	Limitada	Óptima	Alta
Riesgo de sobreexigencia	Alto	Bajo	Bajo
Eficiencia en la integración del sistema	Baja	Alta	Media
Viabilidad económica	Alta	Adecuada	Menor
Adecuación para uso académico y experimental	Baja	Óptima	Sobredimensionada

Fuente: Torres y Villacis (2026).

De acuerdo con la comparación técnica realizada, el controlador de 1500 W a 72 V representa la alternativa más adecuada para el bugui eléctrico triciclo, ya que mantiene compatibilidad directa con el motor seleccionado y con el banco de baterías implementado, sin sobredimensionar innecesariamente el sistema. Frente a un controlador de 1000 W a 48 V,

ofrece compatibilidad eléctrica y capacidad suficiente para responder a la demanda real del prototipo; y frente a un controlador de 2000 W a 72 V, evita incrementar costos y complejidad sin un beneficio proporcional para el uso académico y experimental del vehículo. En consecuencia, su selección resulta la más conveniente desde el punto de vista técnico, funcional y económico. [12]

10.14. Cálculo de la autonomía estimada del vehículo eléctrico tipo bugui

10.14.1. Fundamentos teóricos de la autonomía en vehículos eléctricos

La autonomía de un vehículo eléctrico se define como la distancia máxima que puede recorrer con una carga completa del sistema de almacenamiento energético. Este parámetro depende de múltiples factores, entre ellos la capacidad total del banco de baterías, la potencia consumida por el motor, la masa total del vehículo, las pérdidas energéticas del sistema y las condiciones de operación. En vehículos eléctricos ligeros, la autonomía constituye un indicador fundamental para validar la viabilidad del diseño, ya que permite relacionar la energía disponible con el desempeño real esperado del prototipo. En el caso del bugui eléctrico triciclo desarrollado, este cálculo adquiere especial importancia debido a que el vehículo fue concebido con fines académicos y experimentales, donde resulta necesario estimar su tiempo y distancia de operación bajo condiciones controladas. [13]

10.14.2. Características del sistema de almacenamiento energético

Para el presente proyecto se seleccionó un banco de baterías de plomo-ácido, elegido por su disponibilidad local, facilidad de mantenimiento y compatibilidad con el sistema eléctrico implementado.

La configuración adoptada presenta las siguientes características aproximadas:

- Voltaje nominal del sistema: 72 V
- Capacidad individual estimada: 20 Ah
- Tipo: Baterías plomo-ácido selladas
- Configuración: Serie

La energía total almacenada puede calcularse mediante la expresión:

$$E = V \times Ah \quad (22)$$

Ecuación 22. Cálculo de la energía total almacenada

Sustituyendo:

$$E = 72V \times 20Ah$$

$$E=1440 \text{ Wh}$$

Por lo tanto, el banco de baterías proporciona una energía total teórica de:

$$E=1440 \text{ Wh} \quad (23)$$

Ecuación 23. *Valor de la energía total almacenada*

10.14.3. Consumo energético del motor eléctrico

El consumo energético del motor eléctrico debe estimarse con base en la demanda real del sistema de propulsión y no únicamente a partir de una fracción arbitraria de la potencia nominal. En los apartados previos del análisis del sistema de propulsión se determinó que la potencia mecánica ideal de desplazamiento del bugui triciclo es de 595,05 W; sin embargo, al incorporar las condiciones reales de operación del vehículo, tales como pérdidas por fricción, transmisión, exigencias de arranque, variaciones de carga y comportamiento no ideal del sistema, se estableció una potencia útil corregida de 1033,45 W. Posteriormente, al considerar una eficiencia total del sistema del 82 % ($\eta=0,82$), se obtuvo una demanda eléctrica real de entrada de 1260,30 W, valor que constituye la referencia técnica correcta para el análisis energético del prototipo. [14]

Por tanto, para el presente cálculo de autonomía se adopta como consumo energético de referencia del motor la demanda eléctrica real previamente determinada:

$$P_{prom} = 1260,30 \text{ W} \quad (24)$$

Ecuación 24. *Valor del Consumo energético del motor eléctrico*

Este valor representa un criterio de cálculo más consistente con el dimensionamiento del motor seleccionado, ya que relaciona directamente la energía demandada por el sistema con las condiciones reales de funcionamiento previstas para el vehículo eléctrico tipo bugui triciclo. En consecuencia, el análisis de autonomía deja de depender de una estimación porcentual genérica y pasa a sustentarse en la demanda efectiva corregida del sistema motriz. [15]

10.14.4. Estimación del tiempo de operación

El tiempo de operación del vehículo se calcula a partir de la relación entre la energía total almacenada en el banco de baterías y la potencia eléctrica real consumida por el sistema. De acuerdo con el análisis del apartado 4.3.2, la energía total teórica disponible es de 1440 Wh. Al

utilizar como referencia la demanda eléctrica real corregida del sistema de propulsión, el tiempo de operación se determina mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{E}{P_{prom}} \quad (25)$$

Ecuación 25. *Estimación del tiempo de operación*

Sustituyendo:

$$t = \frac{1440 \text{ Wh}}{1260,30 \text{ W}}$$

$$t = 1,14 \text{ h} \quad (26)$$

Ecuación 26. *Valor del tiempo de operación*

Esto significa que el vehículo podría operar aproximadamente durante 1,14 horas continuas, equivalentes a cerca de 68,6 minutos, bajo un criterio de consumo corregido y técnicamente más conservador. Este resultado es coherente con la naturaleza experimental del prototipo, ya que expresa el tiempo de funcionamiento esperado cuando el sistema trabaja con una demanda energética más cercana a sus condiciones reales de operación. [16]

10.14.5. Estimación de la autonomía en kilómetros

Para transformar el tiempo de operación en distancia recorrida, se considera una velocidad media representativa de uso académico y experimental. Dado que el prototipo fue concebido para prácticas de laboratorio, desplazamientos controlados y pruebas internas de funcionamiento, se adopta una velocidad promedio de:

$$v = 15 \text{ km/h}$$

Bajo esta condición, la autonomía teórica del vehículo se calcula como el producto entre el tiempo de operación estimado y la velocidad media adoptada:

$$\text{Autonomia} = t \times v \quad (27)$$

Ecuación 27. *Estimación de la autonomía en kilómetros*

$$\text{Autonomia} = 1,14 \text{ h} \times 15 \text{ km/h}$$

$$\text{Autonomia} = 17,10 \text{ km}$$

Por tanto, la autonomía teórica estimada del bugui eléctrico triciclo es de:

$$Autonomia = 17,10 \text{ km} \quad (28)$$

Ecuación 28. *Valor de la Estimación de la Autonomía en kilómetros*

Por tanto, la autonomía teórica estimada del bugui eléctrico triciclo es de 17,10 km. Este valor expresa la distancia máxima aproximada que el vehículo podría recorrer bajo condiciones promedio de uso académico, considerando la energía disponible en el banco de baterías y una demanda eléctrica corregida del sistema de propulsión. En comparación con el criterio anterior basado en una fracción de la potencia nominal, esta estimación resulta metodológicamente más sólida, ya que mantiene coherencia directa con la selección del motor y con el análisis energético desarrollado en los apartados precedentes. [17]

10.14.6. Ajuste por pérdidas del sistema

En condiciones reales de operación, la autonomía teórica del vehículo se ve afectada por diversos factores que reducen el rendimiento energético efectivo del sistema. Entre ellos se encuentran la eficiencia del controlador, las pérdidas eléctricas internas, la resistencia a la rodadura, las variaciones de carga, las exigencias de arranque y las condiciones no ideales de descarga del banco de baterías. Por esta razón, la autonomía teórica calculada debe corregirse mediante un factor de ajuste que permita aproximar de mejor manera el comportamiento real del prototipo. [18]

Para incorporar estas pérdidas de forma conservadora, se adopta un factor correctivo del 10 %, por lo que la autonomía real estimada se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$A_{real} = A_t \cdot (1 - 0,10) \quad (29)$$

Ecuación 29. *Cálculo de la Autonomía Real*

Sustituyendo el valor previamente obtenido para la autonomía teórica:

$$A_{real} = 17,10 \cdot 0,90$$

$$Autonomia_{real} \approx 15,39 \text{ km} \quad (30)$$

Ecuación 30. *Valor de la Autonomía Real*

Por tanto, la autonomía real estimada del bugui eléctrico triciclo es de 15,39 km. Este resultado representa una condición más cercana al comportamiento operativo del vehículo dentro de un entorno académico y experimental, considerando que el sistema eléctrico no trabaja bajo condiciones ideales permanentes. En consecuencia, esta autonomía corregida constituye una

referencia más realista para valorar el desempeño del prototipo en pruebas de funcionamiento y desplazamientos controlados. [19]

10.14.7. Análisis del balance energético (Wh/km)

El balance energético permite estimar el consumo específico del vehículo por unidad de distancia recorrida. Este parámetro es útil para evaluar la eficiencia global del sistema, ya que relaciona directamente la energía disponible en el banco de baterías con la autonomía real obtenida bajo condiciones corregidas de operación. En vehículos eléctricos ligeros, este indicador se expresa comúnmente en vatios-hora por kilómetro (Wh/km). [20]

Para el presente análisis, el balance energético se determina mediante la siguiente expresión:

$$BE = \frac{E}{A_r} \quad (31)$$

Ecuación 31. Cálculo del Consumo Energético Especifico

Donde:

BE = balance energético del vehículo en Wh/km,

$E=1440 \text{ Wh}$ = energía total almacenada en el banco de baterías,

$A_r = 15,39 \text{ km}$ = autonomía real estimada del vehículo.

Sustituyendo:

$$BE = \frac{1440}{15,39}$$

$$BE \approx 93.57 \text{ Wh/km} \quad (32)$$

Ecuación 32. Valor del consumo energético específico

Este valor indica que el bugui eléctrico triciclo consume aproximadamente 93,57 Wh por cada kilómetro recorrido. Desde el punto de vista técnico, este resultado confirma que el prototipo presenta un comportamiento energético razonable para un vehículo eléctrico ligero de pequeña escala, especialmente al considerar su carácter experimental, la masa total aproximada de 273 kg y el uso de baterías de plomo-ácido. En consecuencia, el balance energético obtenido respalda la viabilidad funcional del sistema dentro del contexto académico para el cual fue diseñado. [21]

10.14.8. *Discusión técnica*

El análisis de autonomía desarrollado en esta investigación permite establecer que el vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo cumple de manera satisfactoria con los requerimientos funcionales definidos para el proyecto, proporcionando una autonomía coherente con su finalidad académica, experimental y didáctica. A diferencia de un vehículo diseñado para recorridos prolongados, el presente prototipo fue concebido para prácticas de laboratorio, validación de componentes, análisis energético y desplazamientos cortos dentro de un entorno universitario controlado. En ese contexto, una autonomía teórica de 17,10 km y una autonomía real estimada de 15,39 km resultan técnicamente adecuadas para el propósito del proyecto. [22]

La corrección metodológica introducida en este capítulo fortalece la consistencia interna del documento, ya que el análisis energético deja de basarse en una fracción arbitraria de la potencia nominal del motor y pasa a sustentarse en la demanda eléctrica real del sistema, previamente establecida en 1260,30 W. Esta decisión mejora la coherencia entre la selección del motor de 1500 W a 72 V, el cálculo del tiempo de operación y la estimación de la autonomía, evitando contradicciones entre el análisis del sistema de propulsión y el análisis energético del banco de baterías. [23]

Asimismo, el valor obtenido para el balance energético, equivalente a 93,57 Wh/km, confirma que el prototipo mantiene un nivel de consumo compatible con su escala, masa total y configuración eléctrica. Aunque el uso de baterías de plomo-ácido impone limitaciones en densidad energética frente a tecnologías más modernas, su selección continúa siendo defendible dentro del contexto del proyecto, debido a su menor costo, disponibilidad comercial y facilidad de implementación en un prototipo universitario de carácter demostrativo y funcional. [24]

AEn consecuencia, el estudio de autonomía no solo valida la operatividad del sistema eléctrico del vehículo, sino que también demuestra que la propuesta desarrollada cumple con una relación adecuada entre demanda energética, capacidad de almacenamiento y alcance operativo. Esto permite concluir que el bugui eléctrico triciclo diseñado en la investigación es técnicamente viable para fines académicos y experimentales, y que además ofrece una base sólida para futuras mejoras orientadas a incrementar la eficiencia, reducir masa estructural o incorporar tecnologías de almacenamiento energético de mayor desempeño. [25]

10.15. Análisis estructural del chasis del vehículo tipo bugui

10.15.1. Función estructural del chasis tubular

El chasis tubular constituye el elemento estructural principal del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo, ya que sobre él se integran el sistema de propulsión, el banco de baterías, los componentes de dirección, la suspensión y los ocupantes. Su función no se limita únicamente a servir como base física para el montaje de componentes, sino que también debe garantizar la resistencia mecánica, la estabilidad general del conjunto y la seguridad del prototipo durante la operación. En una configuración triciclo, la función estructural del chasis adquiere aún mayor relevancia, debido a que la distribución de cargas se realiza sobre tres puntos de apoyo y no sobre cuatro, como ocurre en un vehículo convencional. Esta condición exige un diseño capaz de soportar esfuerzos verticales, laterales y frontales sin comprometer la integridad del bastidor. La geometría tubular resulta adecuada para este tipo de aplicación porque favorece una buena relación entre resistencia y peso, permitiendo distribuir los esfuerzos a través de elementos triangulados que reducen deformaciones excesivas y mejoran la rigidez global del sistema. [26]

10.15.2. Material seleccionado: acero estructural ASTM A36 de 3mm

La selección del material estructural del chasis constituye una decisión fundamental dentro del diseño del vehículo tipo bugui triciclo, ya que de ella dependen directamente la resistencia mecánica del bastidor, la facilidad de fabricación, la estabilidad estructural, el peso total del sistema y la viabilidad económica del proyecto. En la presente investigación se seleccionó acero estructural ASTM A36 con espesor de 3 mm, debido a que esta alternativa ofrece un equilibrio adecuado entre resistencia, rigidez, soldabilidad, disponibilidad comercial y costo para la construcción del prototipo. El acero ASTM A36 es ampliamente utilizado en aplicaciones estructurales y mecánicas debido a sus propiedades favorables para la fabricación de bastidores tubulares. Entre sus principales ventajas se encuentran su buena resistencia a esfuerzos de fluencia, su capacidad para soportar cargas dinámicas moderadas, su facilidad de soldadura y su amplia disponibilidad en el mercado local. Estas características lo convierten en una opción apropiada para proyectos académicos y experimentales donde se requiere una estructura confiable, resistente y técnicamente justificable. [27]

En el análisis estructural del chasis se consideraron propiedades mecánicas consistentes con el acero suave utilizado en la simulación del prototipo, entre las cuales destacan:

- esfuerzo de fluencia aproximado: 207 MPa
- resistencia máxima a la tracción: 345 MPa

- módulo de Young: 220 GPa
- densidad aproximada: 7850 kg/m³

Estas propiedades permiten que el material soporte de forma adecuada las solicitaciones de flexión, compresión, cortante y torsión generadas en la estructura del bugui triciclo, especialmente bajo las condiciones de carga estática y dinámica evaluadas en la simulación estructural. La elección del espesor de 3 mm se justifica porque proporciona una sección resistente suficiente para mantener la rigidez del bastidor sin incrementar excesivamente el peso del vehículo. Un espesor menor, por ejemplo, de 2 mm, habría reducido el peso estructural, pero también disminuiría la resistencia de las uniones soldadas, la capacidad de absorción de carga y la rigidez del conjunto ante impactos frontales y laterales. Por otro lado, un espesor mayor, como 4 mm, incrementaría la resistencia mecánica, pero a costa de aumentar innecesariamente la masa del chasis, la dificultad de fabricación y la demanda energética del sistema de propulsión. [28]

Desde el punto de vista del diseño del prototipo, el uso de acero ASTM A36 de 3 mm permite mantener una relación favorable entre resistencia y peso, aspecto particularmente importante en un vehículo de tres ruedas, donde la estabilidad y la distribución de masas tienen un papel determinante en el comportamiento estructural y dinámico del sistema. Esta decisión también favorece la manufactura del chasis, ya que permite realizar cortes, uniones y soldaduras con mayor facilidad en comparación con materiales de mayor dureza o espesores superiores. Asimismo, la selección de este material guarda coherencia con los resultados del análisis estructural, en los que el bastidor tubular presentó una tensión equivalente máxima de Von Mises inferior al límite de fluencia del material y un factor de seguridad mínimo de 3.13252, lo que confirma que el acero seleccionado y el espesor adoptado resultan adecuados para el nivel de sollicitación previsto en el proyecto. Por tanto, la elección de acero ASTM A36 de 3 mm se justifica porque ofrece resistencia mecánica suficiente, facilidad de fabricación, buena respuesta estructural, compatibilidad con el proceso constructivo del prototipo y una relación adecuada entre desempeño estructural, peso y costo. [29]

Tabla 5. Comparación técnica entre alternativas de material para el chasis del bugui triciclo

Parámetro	Acero ASTM A36	Acero inoxidable	Aluminio estructural
Resistencia mecánica	Alta	Alta	Media

Soldabilidad en taller académico	Alta	Media	Media
Facilidad de fabricación	Alta	Media	Media
Disponibilidad local	Alta	Media	Baja
Costo relativo	Bajo	Alto	Alto
Rigidez estructural	Alta	Alta	Media
Peso estructural	Medio	Medio	Bajo
Viabilidad para el proyecto	Óptima	Aceptable	Limitada
Adecuación para uso académico y experimental	Óptima	Media	Media

Fuente: Torres y Villacis (2026).

Tabla 6. Comparación técnica entre espesores considerados para el chasis tubular

Parámetro	Espesor 2 mm	Espesor 3 mm	Espesor 4 mm
Resistencia estructural	Media	Alta	Muy alta
Rigidez del bastidor	Media	Alta	Muy alta
Peso del chasis	Bajo	Adecuado	Alto
Facilidad de soldadura	Alta	Alta	Media
Comportamiento ante carga dinámica	Limitado	Adecuado	Sobredimensionado
Impacto sobre la autonomía	Favorable	Equilibrado	Desfavorable
Viabilidad para el prototipo	Riesgosa	Óptima	Excesiva

Fuente: Torres y Villacis (2026).

De acuerdo con la comparación técnica realizada, el acero ASTM A36 de 3 mm representa la alternativa más adecuada para la construcción del chasis del bugui triciclo, ya que ofrece una combinación equilibrada entre resistencia mecánica, rigidez, facilidad de fabricación, soldabilidad y costo. Frente a materiales como el aluminio estructural o el acero inoxidable, el ASTM A36 presenta mejores condiciones de disponibilidad y viabilidad para un entorno académico; y frente a espesores menores o mayores, el espesor de 3 mm permite alcanzar una

capacidad estructural suficiente sin penalizar innecesariamente el peso total del vehículo. En consecuencia, su selección resulta técnicamente justificada para el diseño, construcción y validación experimental del prototipo. [30]

Con el fin de documentar las propiedades mecánicas empleadas en la simulación estructural del chasis, en la Figura 10 se presenta el reporte correspondiente al material utilizado en el análisis computacional. En dicho informe se observan parámetros como densidad, límite de elasticidad, resistencia máxima a la tracción, módulo de Young y coeficiente de Poisson, los cuales sirvieron como base para la validación mecánica del bastidor tubular. [31]

Informe de análisis de la estructura



Archivo analizado:	simulacion impacto frontal y lateral.iam
Versión:	2026.2 (Build 302298000, 298)
Fecha de creación:	30/01/2026, 9:16
Autor de la simulación:	TORRES VILLACIS
Resumen:	

Impacto lateral

Objetivo general y configuración:

Tipo de simulación	Análisis estático
Fecha de la última modificación	30/01/2026, 8:54
Estado de modelo	[Principal]
Vista de diseño	Por defecto
Posicional	[Principal]

iProperties

Resumen

Autor: nicol

Proyecto

Nº de pieza	simulacion impacto frontal y lateral
Diseñador	nicol
Coste estimado	0,00 €
Fecha de creación	29/01/2026

Estado

Estado del diseño: Trabajo en curso

Propiedades físicas

Masa	94,079 kg
Área	67940,826 mm ²
Volumen	11984,585 mm ³
Centro de gravedad	x=24,432 mm y=-20,947 mm z=119,388 mm

Material(es)

Nombre	Acero, suave
Densidad de masa	7,850 g/cm ³
Límite de elasticidad	207,000 MPa
Resistencia máxima a tracción	345,000 MPa
Módulo de Young	220,000 GPa
Coefficiente de Poisson	0,275 su

Nombre(s) de pieza	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 48,815
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,601
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 8,987
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,8
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 8,987
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,922
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,601
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,109
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,109
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,748
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 39,37
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,227
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,228
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 46,172
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 39,37
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 46,172
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 47,403
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 40,483
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 4,106
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,428
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 6,681
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,397
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,428
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 4,106
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 6,681
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,397
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242

Figura 10. Propiedades del material empleadas en la simulación estructural del chasis tubular del buqui eléctrico triciclo.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

10.15.3. Geometría del perfil estructural

El chasis se construyó con perfiles tubulares circulares de acero, seleccionados por su facilidad de manufactura y buen comportamiento mecánico frente a cargas combinadas. En los documentos de simulación se reporta una sección transversal con dimensiones equivalentes a:

Ancho de sección: 42.164 mm

Altura de sección: 42.164 mm

Área de sección: 431.309 mm^2

Asimismo, el modelo de viga empleado en simulación reporta propiedades geométricas apropiadas para el análisis estructural del chasis tubular, incluyendo momentos de inercia iguales en ambos ejes y un módulo de rigidez torsional consistente con una sección tubular cerrada. La selección de un perfil tubular circular se justifica por su comportamiento uniforme frente a esfuerzos de flexión, compresión y torsión, además de su buena compatibilidad con procesos de soldadura y fabricación de estructuras livianas. [12]

Para complementar la descripción geométrica del bastidor, en la Figura 11, se presentan las propiedades seccionales del perfil tubular y la representación del chasis mediante un modelo de viga empleado en la simulación estructural. En este reporte se observan parámetros como el área de la sección, momentos de inercia, módulo de torsión, número de nodos, número de vigas y vínculos rígidos aplicados al modelo.

Con el propósito de documentar las características geométricas y mecánicas consideradas en el modelo computacional, en la Figura 12 se presentan las propiedades del material y de la sección transversal empleadas en la simulación estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo. En este reporte se observan parámetros como el área de sección, dimensiones geométricas, momentos de inercia, módulo de torsión, así como las propiedades mecánicas del acero utilizado en el análisis. [13]

Sección o secciones transversales

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	431,309 mm ²
	Anchura de sección	42,164 mm
	Altura de sección	42,164 mm
	Centroide de sección (x)	21,082 mm
Propiedades mecánicas	Centroide de sección (y)	21,082 mm
	Momento de inercia (I _x)	81044,267 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	81044,267 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	162088,533 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	3844,240 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	3844,240 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _t)	7688,480 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _v)	216,871 mm ²
Nombre(s) de pieza	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 48,815	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,601	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 8,987	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,8	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 8,987	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,922	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,601	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,109	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,109	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,748	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 39,37	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,227	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,228	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 46,172	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 39,37	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 46,172	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 47,403	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 40,483	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 4,106	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,428	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 6,681	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,397	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,428	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 4,106	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 6,681	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,397	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035	
	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242	

Modelo de viga

Nodos	112
Vigas	56
- Tubos redondos	56

Vínculos rígidos

Nombre	Desplazamiento			Rotación			Nodo padre	Nodo o nodos hijo
	Eje X	Eje Y	Eje Z	Eje X	Eje Y	Eje Z		
Vínculo rígido:1	fijo	fijo	fijo	fijo	fijo	fijo	Nodo:20	Nodo:22
Vínculo rígido:2	fijo	fijo	fijo	fijo	fijo	fijo	Nodo:23	Nodo:90
Vínculo rígido:3	fijo	fijo	fijo	fijo	fijo	fijo	Nodo:63	Nodo:110

Condiciones de funcionamiento**Fuerza:1**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	982,870 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	180,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	-982,870 N
Fy	0,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	0,000 mm

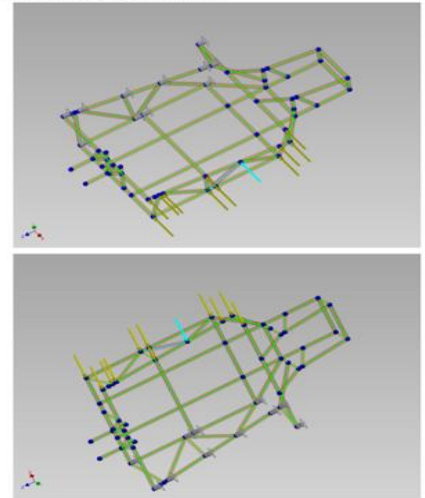
Referencia o referencias seleccionadas**Fuerza:2**

Figura 11. Propiedades geométricas de la sección y modelo de viga del chasis tubular en la simulación estructural.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

Impacto frontal**Objetivo general y configuración:**

Tipo de simulación	Análisis estático
Fecha de la última modificación	30/01/2026, 8:38
Estado de modelo	[Principal]
Vista de diseño	Por defecto
Posicional	[Principal]

iPropiedades**Resumen**

Autor: nicol

Proyecto

Nº de pieza	simulacion impacto frontal y lateral
Diseñador	nicol
Coste estimado	0,00 €
Fecha de creación	29/01/2026

Estado

Estado del diseño: Trabajo en curso

Propiedades físicas

Masa	94,079 kg
Área	67940,826 mm ²
Volumen	11984,585 mm ³
Centro de gravedad	x=24,432 mm y=-20,947 mm z=119,388 mm

Material(es)

Nombre	Aceros, suave
General	Densidad de masa 7,850 g/cm ³ Límite de elasticidad 207,000 MPa Resistencia máxima a tracción 345,000 MPa
Tensión	Módulo de Young 220,000 GPa Coeficiente de Poisson 0,275 su
Nombre(s) de pieza	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 48,815 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,601 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 8,987 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,8 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 8,987 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,922 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,601 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,109 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,748 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,227 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,228 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 39,37 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 46,172 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 47,403 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 40,483 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 4,106 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,428 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 6,681 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,397 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242

Sección o secciones transversales

Propiedades de geometría	Área de sección (a) 431,309 mm ² Anchura de sección 42,164 mm Altura de sección 42,164 mm Centroide de sección (x) 21,082 mm Centroide de sección (y) 21,082 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I.) 81044,267 mm ⁴ Momento de inercia (I.) 81044,267 mm ⁴ Módulo de rigidez de torsión (J) 162088,533 mm ⁴ Módulo de sección (W.) 3844,240 mm ³ Módulo de sección (W.) 3844,240 mm ³ Módulo de sección de torsión (W.) 7688,480 mm ³ Área de esfuerzo cortante reducida (A.) 216,871 mm ² Área de esfuerzo cortante reducida (A.) 216,871 mm ² ANSI 1 1/4 x 0.140 - 48,815 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,601 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 8,987 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,8 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 8,987 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,922 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,601 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,109 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,748 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 39,37 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,227 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,228 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 46,172 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 39,37 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 46,172 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 47,403 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 40,483 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 4,106 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,428 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 6,681 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,397 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242
Nombre(s) de pieza	ANSI 1 1/4 x 0.140 - 20,272 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,109 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,109 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,748 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,276 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 39,37 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,227 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,228 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,767 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,19 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,239 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 14,079 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 23,846 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 45,832 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 16,775 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 46,172 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,78 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,149 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 47,403 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 40,483 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 11,811 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,937 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 4,106 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 13,428 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 6,681 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 15,397 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 18,035 ANSI 1 1/4 x 0.140 - 3,242

Figura 12. Propiedades del material y de la sección transversal empleadas en la simulación estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

La información presentada permite verificar que el modelo estructural fue configurado con propiedades geométricas y mecánicas coherentes con el diseño del bastidor tubular, constituyendo una base técnica adecuada para el análisis posterior de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad del prototipo.

4.4.4 Cálculo del área de la sección transversal

Para fines de verificación analítica preliminar, el área resistente del perfil tubular puede expresarse mediante la ecuación del área de una sección circular hueca:

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (33)$$

Ecuación 33. Cálculo del área de la sección transversal

Donde:

- D es el diámetro exterior del tubo;
- d es el diámetro interior del tubo.

De manera complementaria, el modelo estructural utilizado en simulación reporta un área efectiva de sección de:

$$A = 431.309 \text{ mm}^2 \quad (34)$$

Ecuación 34. Valor del área de la sección transversal

Este valor constituye una referencia más confiable para el análisis estructural global del bastidor, ya que corresponde directamente a la geometría usada en el modelo de cálculo por elementos tipo viga.

10.15.4. Análisis de carga aplicada sobre el chasis

Para el análisis estructural del chasis del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo se consideran cargas representativas de operación real, con el propósito de verificar la capacidad resistente del bastidor tubular frente a solicitaciones estáticas y dinámicas. Estas cargas fueron determinadas a partir de la masa total del prototipo, la configuración geométrica del vehículo y los escenarios de impacto más relevantes para su evaluación estructural. [14]

A partir del cálculo de capacidad de carga desarrollado en el apartado 4.1, se obtuvo una masa total del vehículo de:

$$m_{total} = 273 \text{ kg}$$

Este valor incluye el peso del chasis tubular, el sistema de propulsión eléctrica, el banco de baterías y la carga útil correspondiente a dos ocupantes. Con base en esta masa total, se establecieron dos condiciones de análisis estructural principales: el impacto frontal y el impacto lateral. La incorporación de estas cargas resulta particularmente importante debido a que el prototipo corresponde a un vehículo de tres ruedas, condición que modifica la distribución de esfuerzos y la forma en que el bastidor absorbe las solicitaciones mecánicas. En consecuencia, el análisis no solo debe considerar el peso vertical del sistema, sino también los efectos equivalentes asociados a desaceleraciones e impactos que pueden presentarse durante la operación. [15]

Para representar estas condiciones de manera simplificada y conservadora, se adoptaron factores de aceleración equivalentes expresados en múltiplos de la gravedad, siguiendo un criterio de análisis estructural aplicado a vehículos ligeros experimentales. De esta forma, el impacto frontal se evaluó con una sollicitación equivalente de 8g, mientras que el impacto lateral se analizó con una sollicitación equivalente de 4g. Estas cargas fueron distribuidas en nodos específicos del modelo estructural del chasis, de acuerdo con la geometría del bastidor y el esquema de aplicación de fuerzas empleado en la simulación. Este procedimiento permite representar de manera razonable la respuesta del sistema ante escenarios de carga crítica, manteniendo coherencia entre el cálculo analítico y el análisis computacional del prototipo. [16]

10.15.4.1. Cálculo del impacto frontal

El impacto frontal representa una de las condiciones más exigentes en la evaluación estructural del chasis, debido a que concentra esfuerzos importantes en la zona delantera del bastidor y en los elementos que deben absorber la desaceleración del vehículo. Para este análisis se adopta una sollicitación equivalente de 8 veces la aceleración de la gravedad, criterio conservador que permite estimar la capacidad de resistencia del chasis frente a un evento de impacto frontal. [17]

La fuerza equivalente de impacto frontal se calcula mediante la expresión:

$$F_{\text{impacto frontal}} = m_{\text{total}} \cdot 8g \quad (35)$$

Ecuación 35. Cálculo del impacto frontal

Donde:

m_{total} es la masa total del vehículo (kg)

g es la aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$\begin{aligned} F_{\text{impacto frontal}} &= 273 \cdot 8 \cdot 9,8 \\ F_{\text{impacto frontal}} &= 21403,2 \text{ N} \end{aligned} \quad (36)$$

Ecuación 36. Valor del Impacto Frontal

Este valor corresponde a la fuerza total equivalente generada por un impacto frontal sobre el sistema estructural del bugui triciclo. Para su aplicación en el modelo estructural,

esta carga se distribuye en 4 nodos localizados en la zona delantera del chasis, de acuerdo con el esquema de análisis adoptado. Por tanto, la fuerza equivalente por nodo se determina como:

$$F_{\text{impacto frontal por nodo}} = \frac{F_{\text{impacto frontal}}}{4} \quad (37)$$

Ecuación 37. *Cálculo de Impacto Frontal por Nodo*

$$F_{\text{impacto frontal por nodo}} = \frac{21403,2}{4}$$

$$F_{\text{impacto frontal por nodo}} = 5350,8 \text{ N} \quad (38)$$

Ecuación 38. *Valor de Impacto Frontal por Nodo*

Esto significa que, para efectos de simulación y análisis estructural, cada uno de los nodos delanteros seleccionados recibe una carga equivalente de 5350.8 N. Desde el punto de vista técnico, esta carga permite evaluar la capacidad del bastidor para absorber esfuerzos concentrados en la región frontal, donde suelen presentarse las mayores solicitaciones en eventos de desaceleración brusca o impacto. En una estructura tubular como la del presente prototipo, esta evaluación es fundamental para verificar la rigidez de los elementos delanteros, la integridad de las uniones y la adecuada distribución de esfuerzos hacia el resto del chasis. [18]

10.15.4.2. Cálculo del impacto lateral

El impacto lateral constituye una condición crítica dentro del análisis estructural del bugui eléctrico triciclo, debido a que este tipo de configuración presenta una distribución de apoyos diferente a la de un vehículo convencional de cuatro ruedas. En un vehículo de tres ruedas, la estabilidad lateral y la respuesta estructural del bastidor frente a cargas transversales adquieren una importancia especial, ya que influyen directamente en la seguridad del prototipo y en su comportamiento dinámico. [19]

Para representar esta condición de análisis, se adopta una carga equivalente de 4 veces la aceleración de la gravedad, aplicada de forma lateral sobre el modelo del chasis. La fuerza total de impacto lateral se calcula mediante:

$$F_{\text{impacto lateral}} = m_{\text{total}} \cdot 4g \quad (39)$$

Ecuación 39. Cálculo del Impacto Lateral

Sustituyendo:

$$F_{\text{impacto lateral}} = 273 \cdot 4 \cdot 9,8$$

$$F_{\text{impacto lateral}} = 10701,6 \text{ N} \quad (40)$$

Ecuación 40. Valor del Impacto Lateral

Este valor representa la fuerza lateral total equivalente que actúa sobre el chasis en una condición crítica de sollicitación transversal. Para la distribución de esta carga en el modelo estructural, se consideran 11 nodos seleccionados en función de la geometría del bastidor y de la forma en que el esfuerzo lateral se transmite a través de la estructura tubular. Por tanto, la carga lateral por nodo se calcula como:

$$F_{\text{impacto lateral por nodo}} = \frac{F_{\text{impacto lateral}}}{11} \quad (41)$$

Ecuación 41. Cálculo de Impacto Lateral por Nodo

$$F_{\text{impacto lateral por nodo}} = \frac{10701,6}{11}$$

$$F_{\text{impacto lateral por nodo}} = 972,87 \text{ N} \quad (42)$$

Ecuación 42. Valor de Impacto Lateral por Nodo

Por lo tanto, el valor correcto de la carga lateral equivalente distribuida por nodo es de 972.87 N.

Este resultado es importante porque permite establecer de manera precisa la sollicitación que debe resistir cada punto de aplicación dentro del análisis estructural. Además, refuerza la validez del estudio del chasis triciclo, ya que la respuesta lateral del bastidor constituye uno de los aspectos más sensibles en este tipo de configuración vehicular. Desde la perspectiva del diseño, la evaluación del impacto lateral permite verificar si la triangulación del chasis, la rigidez de los perfiles tubulares y la calidad de las uniones soldadas son suficientes para evitar deformaciones excesivas o concentraciones críticas

de tensión ante solicitaciones transversales. Con el propósito de evidenciar la forma en que se aplicó la solicitación transversal en el modelo computacional, en la Figura 13, se presenta la distribución de la carga lateral sobre el chasis tubular del bugui eléctrico triciclo. Esta representación permite visualizar los puntos de referencia seleccionados y la dirección de aplicación de la fuerza considerada en el análisis estructural. [20]

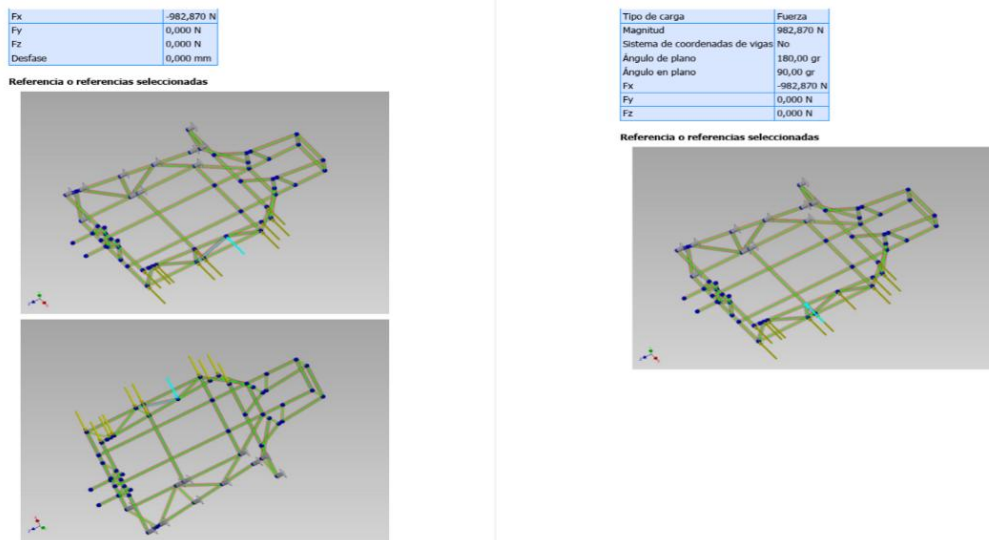


Figura 13. Aplicación de la carga lateral en el modelo estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

10.15.4.3. Interpretación técnica de las cargas aplicadas

Los valores obtenidos en el análisis de impacto frontal y lateral constituyen las condiciones de carga de referencia para evaluar el comportamiento estructural del chasis del bugui eléctrico triciclo. La carga frontal equivalente de 21403.2 N y la carga lateral equivalente de 10701.6 N representan escenarios conservadores que permiten validar la resistencia del bastidor frente a solicitaciones dinámicas de alta exigencia. La distribución nodal de estas cargas facilita su incorporación al modelo estructural empleado en simulación, permitiendo analizar la forma en que los esfuerzos se propagan a través de la geometría tubular del chasis. En este sentido, la aplicación de 5350.8 N por nodo en la zona frontal y 972.87 N por nodo en la zona lateral constituye una forma adecuada de representar el efecto mecánico de los impactos considerados. [21]

La importancia de este análisis radica en que el prototipo no corresponde a un bugui convencional de cuatro ruedas, sino a un vehículo triciclo, lo cual modifica la respuesta

estructural del sistema y hace necesario prestar especial atención a la estabilidad lateral, la absorción de cargas y la rigidez global del bastidor. En consecuencia, estas cargas no solo permiten verificar la resistencia del chasis, sino que también sirven como base para interpretar los resultados de tensión equivalente, deformación y factor de seguridad obtenidos posteriormente en la simulación estructural. [22]

10.15.5. Esfuerzo equivalente en el chasis según el criterio de Von Mises

Una vez determinadas las cargas equivalentes de impacto frontal y lateral aplicadas sobre el chasis del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo, resulta necesario evaluar la respuesta resistente del material frente al estado combinado de esfuerzos generado en la estructura. Debido a que el bastidor tubular no se encuentra sometido a una sola sollicitación simple, sino a una combinación de esfuerzos de flexión, compresión, cortante y torsión, el criterio más adecuado para analizar su comportamiento mecánico es el criterio de Von Mises. [23]

El esfuerzo equivalente de Von Mises permite transformar un estado complejo de tensiones en un valor escalar único, el cual puede compararse directamente con el límite de fluencia del material. Este criterio es ampliamente utilizado en el análisis de estructuras metálicas y resulta especialmente apropiado para chasis tubulares sometidos a cargas dinámicas distribuidas, como ocurre en el presente prototipo.

Desde el punto de vista teórico, el criterio de Von Mises establece que la falla por fluencia en materiales dúctiles ocurre cuando el esfuerzo equivalente alcanza el límite elástico del material. En consecuencia, mientras el esfuerzo equivalente de Von Mises permanezca por debajo del esfuerzo de fluencia del acero estructural empleado, se considera que la estructura trabaja dentro del rango elástico y, por tanto, conserva su integridad mecánica. En la simulación estructural realizada sobre el chasis tubular del bugui triciclo, el valor máximo de esfuerzo equivalente reportado corresponde aproximadamente a:

$$\sigma_{VM,max} = 66.081 \text{ MPa} \quad (43)$$

Ecuación 43. Valor Máximo de Esfuerzo Equivalente

Este resultado debe compararse con el límite de fluencia del material utilizado en el análisis, correspondiente a acero suave/acero estructural ASTM A36, cuyo valor adoptado es:

$$\sigma_y = 207 \text{ MPa} \quad (44)$$

Ecuación 44. Límite de Fluencia del Material Utilizado

Dado que:

$$66.081 \text{ MPa} < 207 \text{ MPa}$$

se verifica que el esfuerzo equivalente máximo desarrollado en el chasis permanece por debajo del límite de fluencia del material. Esto significa que, aun bajo las cargas equivalentes de impacto frontal y lateral consideradas en la simulación, la estructura no alcanza una condición de deformación plástica permanente. Desde una perspectiva de diseño, este resultado confirma que la geometría tubular adoptada, la disposición triangulada de los elementos estructurales y la selección del material son apropiadas para soportar las solicitaciones previstas en el funcionamiento del vehículo. En particular, el análisis de Von Mises resulta relevante en un prototipo triciclo, ya que la distribución de cargas sobre tres apoyos genera condiciones estructurales distintas a las de un vehículo convencional de cuatro ruedas, exigiendo una validación más rigurosa del bastidor. [24]

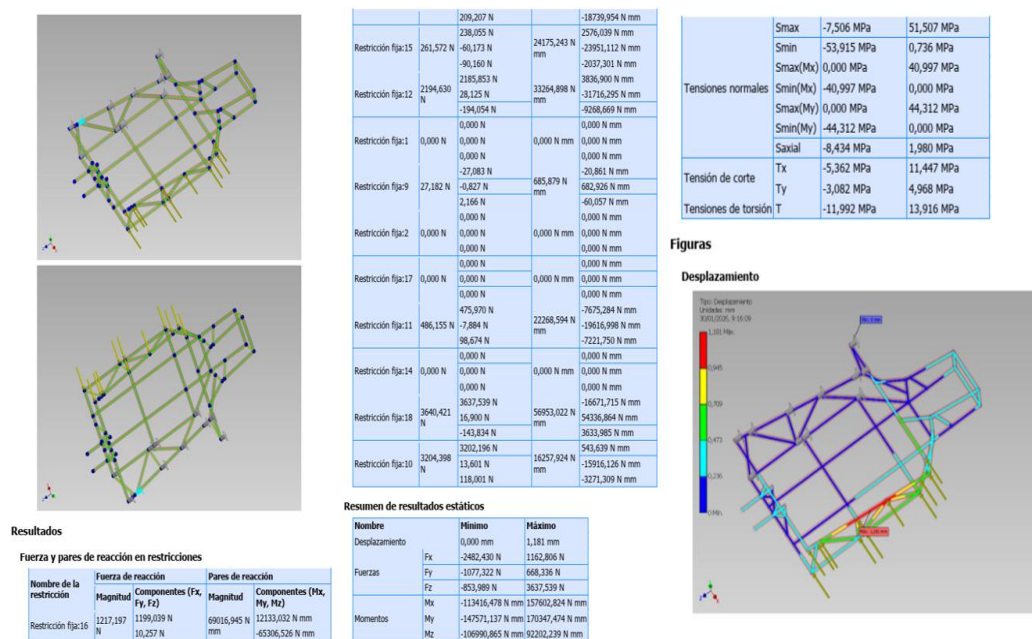


Figura 14. Resumen de resultados estáticos y mapa de desplazamiento del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

Por tanto, el esfuerzo equivalente de Von Mises constituye un indicador sólido para afirmar que el chasis del bugui eléctrico triciclo presenta un comportamiento mecánico adecuado frente a las cargas aplicadas, manteniéndose dentro de condiciones seguras de operación estructural.

Con el propósito de complementar la interpretación del comportamiento estructural del bastidor, en la Figura 14 se presenta el resumen de resultados estáticos y el mapa de desplazamiento obtenido en la simulación del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo. En este reporte se observan las reacciones en las restricciones, el resumen de fuerzas y momentos, los valores de tensión y la distribución del desplazamiento estructural bajo la condición de carga analizada. [25]

La representación gráfica del desplazamiento permite identificar las zonas del bastidor con mayor respuesta deformacional bajo carga, mientras que el resumen de resultados estáticos facilita la interpretación de las reacciones y esfuerzos desarrollados en el modelo estructural. Esta información complementa el análisis de Von Mises y fortalece la validación del comportamiento mecánico del chasis.

Con el propósito de respaldar la interpretación del comportamiento mecánico del bastidor, en la Figura 15 se presenta el resumen de resultados del análisis estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo. En este reporte se observan las fuerzas y pares de reacción en las restricciones, los valores mínimo y máximo de tensión de Von Mises, desplazamiento, coeficiente de seguridad y otros parámetros de esfuerzo y deformación obtenidos en la simulación. [26].

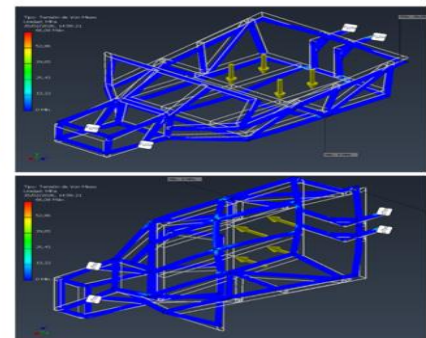
Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:2	1740 N	-12,8852 N	225,892 N m	225,628 N m
		1530,51 N		-10,8521 N m
Restricción fija:1	998,216 N	827,626 N	27,0493 N m	-1,12336 N m
		7,28936 N		0 N m
		572,454 N		26,6402 N m
		-817,728 N		-4,68638 N m

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	11379900 mm ³	
Masa	89,3325 kg	
Tensión de Von Mises	0,000325275 MPa	66,081 MPa
Primera tensión principal	-24,3064 MPa	61,508 MPa
Tercera tensión principal	-99,9006 MPa	13,1995 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,841743 mm
Coeficiente de seguridad	3,13252 su	15 su
Tensión XX	-78,3184 MPa	46,8084 MPa
Tensión XY	-21,0881 MPa	32,2463 MPa
Tensión XZ	-19,2841 MPa	16,7777 MPa
Tensión YY	-45,0131 MPa	50,0043 MPa
Tensión YZ	-17,6346 MPa	25,2179 MPa
Tensión ZZ	-68,6748 MPa	50,0693 MPa
Desplazamiento X	-0,10135 mm	0,0570295 mm
Desplazamiento Y	-0,837558 mm	0,209032 mm
Desplazamiento Z	-0,134397 mm	0,395139 mm
Deformación equivalente	0,000000018085 su	0,000314227 su
Primera deformación principal	-0,0000059426 su	0,000262257 su
Tercera deformación principal	-0,000338961 su	0,0000159852 su
Deformación XX	-0,000213883 su	0,000196997 su
Deformación XY	-0,000122215 su	0,000186882 su
Deformación XZ	-0,00011176 su	0,0000972344 su
Deformación YY	-0,00015449 su	0,000196785 su
Deformación YZ	-0,0001022 su	0,000146149 su
Deformación ZZ	-0,000236195 su	0,000202274 su
Presión de contacto	0 MPa	89,2762 MPa
Presión de contacto X	-54,8359 MPa	45,0212 MPa
Presión de contacto Y	-82,0335 MPa	83,6018 MPa
Presión de contacto Z	-44,757 MPa	43,9173 MPa



Primera tensión principal

Figura 15. Resumen de resultados del análisis estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

Los resultados mostrados permiten verificar que la tensión equivalente máxima de Von Mises se mantiene dentro de límites aceptables respecto al material analizado, mientras que el desplazamiento y el coeficiente de seguridad confirman un comportamiento estructural adecuado del bastidor bajo las condiciones de carga consideradas. Esta evidencia fortalece la validez del análisis mecánico desarrollado para el prototipo. [27]

10.15.6. Verificación del factor de seguridad

La verificación del factor de seguridad es una etapa fundamental dentro del análisis estructural del chasis, ya que permite cuantificar el margen resistente disponible entre la capacidad del material y los esfuerzos reales desarrollados en la estructura. En términos generales, el factor de seguridad expresa cuántas veces el material puede soportar el esfuerzo aplicado antes de alcanzar su condición de fluencia o falla.

Para una interpretación simplificada, el factor de seguridad puede expresarse como la relación entre el esfuerzo de fluencia del material y el esfuerzo equivalente máximo desarrollado en la estructura:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma} \quad (45)$$

Ecuación 45. Cálculo de Factor de Seguridad

Sin embargo, en el presente proyecto, el valor definitivo del factor de seguridad no debe obtenerse del cálculo manual simplificado, sino del resultado de la simulación estructural, ya que esta considera la geometría real del chasis, la distribución nodal de las cargas, las restricciones del modelo y la interacción global de los elementos estructurales.

De acuerdo con el informe de simulación del chasis tubular, el factor de seguridad mínimo reportado es:

$$FS_{min} = 3,13252 \quad (46)$$

Ecuación 46. Valor del Factor de Seguridad Mínimo

Este valor indica que la estructura posee un margen resistente superior a tres veces la condición crítica evaluada, lo cual representa un comportamiento estructural adecuado para un prototipo de uso académico y experimental. En términos prácticos, un factor de seguridad de 3.13 permite afirmar que el chasis puede soportar de manera segura las cargas consideradas en el análisis, manteniéndose dentro del rango elástico del material. [28]

La importancia de este resultado radica en que el factor de seguridad obtenido no corresponde a una estimación teórica aislada, sino a una validación integral del chasis frente a las condiciones de carga definidas en el estudio, incluyendo:

- carga vertical total del sistema;
- impacto frontal equivalente;
- impacto lateral equivalente;
- distribución estructural de esfuerzos;
- y comportamiento resistente del bastidor tubular.

Además, este valor adquiere especial significado al tratarse de un bugui de tres ruedas, ya que esta configuración modifica la forma en que las cargas se transmiten al bastidor y exige un diseño con suficiente rigidez y margen de seguridad para evitar concentraciones peligrosas de tensión.

Con el fin de respaldar técnicamente la verificación del factor de seguridad, en la Figura 15 se presenta el reporte generado en Autodesk Inventor correspondiente al análisis estructural del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo. En esta evidencia se observan las condiciones de funcionamiento, las cargas aplicadas, las propiedades físicas del modelo y la configuración general utilizada para evaluar la seguridad mecánica del bastidor. [28]

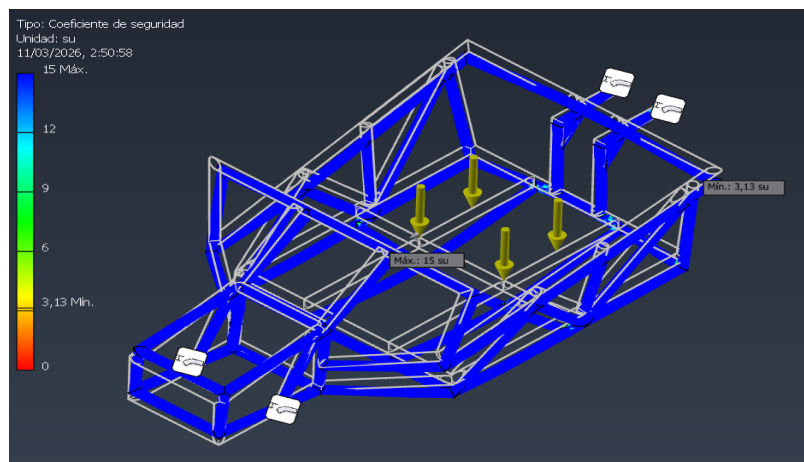


Figura 16. Configuración de cargas y reporte del análisis de factor de seguridad del chasis tubular del bugui eléctrico triciclo.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

La información presentada en el reporte permite verificar que el análisis de factor de seguridad fue desarrollado bajo una configuración estructural definida, con aplicación de cargas y parámetros consistentes con el modelo del chasis. Esta evidencia refuerza la validez del resultado obtenido y complementa la interpretación del comportamiento resistente del bastidor tubular.

Interpretación técnica del factor de seguridad

Desde la perspectiva mecánica, un factor de seguridad mínimo de 3.13252 permite concluir que el chasis:

- trabaja por debajo del límite de fluencia del acero estructural;
- presenta capacidad suficiente para soportar las solicitaciones previstas;
- posee un margen adecuado frente a cargas dinámicas adicionales;
- y resulta apto para fines académicos, experimentales y de validación estructural.

En consecuencia, el factor de seguridad obtenido confirma que el diseño estructural del bugui eléctrico triciclo no solo es funcional desde el punto de vista geométrico y constructivo, sino también confiable desde el punto de vista mecánico. [29]

10.15.7. Consideraciones dinámicas y operativas

Aunque el análisis estructural desarrollado se basa en condiciones estáticas equivalentes, el comportamiento real del vehículo durante su operación involucra solicitaciones dinámicas adicionales que deben ser consideradas desde una perspectiva técnica. Entre ellas se encuentran las vibraciones inducidas por el desplazamiento, los esfuerzos de aceleración y frenado, las irregularidades del terreno y las cargas transversales generadas durante maniobras de giro. En un vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo, estas consideraciones dinámicas adquieren una relevancia particular, ya que la estructura se apoya sobre tres ruedas y no sobre cuatro. Esto implica que el bastidor puede experimentar redistribuciones de carga más sensibles frente a variaciones del terreno o cambios bruscos de dirección, especialmente en condiciones de impacto lateral o desplazamiento sobre superficies irregulares. [30]

Desde esta perspectiva, el análisis de impacto frontal y lateral desarrollado previamente constituye una aproximación conservadora de las principales solicitaciones dinámicas que pueden afectar al chasis. La carga frontal equivalente de 21403.2 N y la carga lateral equivalente de 10701.6 N, junto con su distribución nodal correspondiente, permiten representar de manera razonable escenarios de exigencia estructural superiores a los de una condición meramente

estática de reposo. La respuesta favorable del bastidor bajo estas condiciones, expresada a través del esfuerzo equivalente de Von Mises y del factor de seguridad mínimo obtenido, demuestra que la estructura tubular posee una rigidez adecuada para absorber y redistribuir cargas sin comprometer la integridad del prototipo. [31]

Adicionalmente, la configuración tubular triangulada del chasis favorece la transmisión eficiente de esfuerzos a través de los miembros estructurales, disminuyendo concentraciones localizadas de tensión y mejorando el comportamiento del conjunto frente a cargas variables. Este aspecto resulta fundamental en un prototipo experimental, donde la seguridad estructural debe mantenerse incluso bajo condiciones de operación no perfectamente uniformes. Desde el punto de vista operativo, estas consideraciones permiten afirmar que el bugui eléctrico triciclo puede desempeñarse de manera segura dentro del entorno académico previsto, siempre que su uso se mantenga dentro de los límites de carga y velocidad adoptados en el diseño. Por tanto, el análisis dinámico y operativo complementa la validación estructural del bastidor y refuerza la viabilidad del proyecto como plataforma didáctica y experimental. [30]

10.15.8. Conclusión del análisis estructural

El análisis estructural del chasis del vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo permite concluir que la estructura tubular diseñada presenta condiciones adecuadas de resistencia, rigidez y seguridad para soportar las solicitaciones mecánicas previstas dentro del proyecto. La evaluación realizada integró el peso total del prototipo, la distribución de cargas estáticas y dinámicas, así como escenarios equivalentes de impacto frontal y lateral, lo que permitió obtener una visión más completa del comportamiento resistente del bastidor. [21]

A partir del cálculo de capacidad de carga, se determinó que la masa total del vehículo asciende a 273 kg, valor que incluye el peso del chasis, el sistema de propulsión, el banco de baterías y dos ocupantes. Con base en esta masa total, se definieron las cargas equivalentes más representativas para el análisis estructural, entre ellas el impacto frontal, calculado como:

$$F_{\text{impacto frontal}} = 21403,2 \text{ N}$$

y el impacto lateral, calculado como:

$$F_{\text{impacto lateral}} = 10701,6 \text{ N}$$

Estas solicitaciones fueron distribuidas en nodos específicos del modelo estructural, permitiendo simular de manera razonable el comportamiento del chasis frente a condiciones críticas de carga.

El estudio del esfuerzo equivalente mediante el criterio de Von Mises permitió verificar que la tensión máxima desarrollada en la estructura se mantiene por debajo del límite de fluencia del material empleado. En la simulación se obtuvo un valor máximo aproximado de:

$$\sigma_{VM,max} = 66.081 \text{ MPa}$$

mientras que el acero estructural considerado presenta un esfuerzo de fluencia de:

$$\sigma_y = 207 \text{ MPa}$$

Por tanto, la estructura trabaja dentro del rango elástico del material, sin alcanzar condiciones de deformación plástica permanente. Este resultado confirma que el chasis posee una capacidad resistente adecuada frente a los esfuerzos combinados de flexión, compresión, cortante y torsión que se generan durante la operación del vehículo. [22]

De manera complementaria, la verificación del factor de seguridad permitió establecer que el bastidor presenta un margen mecánico suficiente para su uso académico y experimental. El valor mínimo obtenido en la simulación estructural fue de:

$$FS_{min} = 3,13252$$

lo cual indica que la estructura puede soportar más de tres veces la condición crítica analizada antes de aproximarse al límite de falla por fluencia. Este valor resulta apropiado para un prototipo de estas características, especialmente considerando que se trata de un vehículo de tres ruedas, cuya configuración requiere una evaluación más cuidadosa de la estabilidad y de la distribución de esfuerzos en el bastidor.

Asimismo, la geometría tubular triangulada del chasis favorece una adecuada redistribución de cargas, mejora la rigidez global del sistema y reduce concentraciones excesivas de tensión en puntos críticos. Esta disposición estructural, junto con la selección del acero ASTM A36 y la validación mediante simulación, permite afirmar que el diseño del bastidor es coherente con los requerimientos funcionales y de seguridad del proyecto. [23]

En conclusión, el análisis estructural demuestra que el chasis del bugui eléctrico triciclo es mecánicamente viable, presenta un comportamiento seguro ante las cargas evaluadas y constituye una base estructural adecuada para la integración del sistema eléctrico, la carga útil prevista y las pruebas de funcionamiento del prototipo dentro del Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. [24]

10.16. Análisis del sistema de frenado y seguridad del vehículo

El sistema de frenado constituye uno de los subsistemas más importantes dentro del diseño del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo, ya que su función principal es garantizar la desaceleración y detención segura del prototipo bajo diferentes condiciones de operación. En un vehículo de

configuración de tres ruedas, este sistema adquiere especial relevancia debido a que la estabilidad durante el frenado depende no solo de la capacidad de detener el vehículo, sino también de la adecuada distribución de cargas y del control direccional del conjunto. [25]

Para el bugui eléctrico triciclo implementado en el Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, el sistema de frenado fue concebido como un mecanismo funcional, sencillo y compatible con el carácter experimental del prototipo. Su diseño responde a la necesidad de contar con un sistema confiable, de fácil mantenimiento y suficiente capacidad de respuesta para maniobras de baja velocidad, pruebas académicas y desplazamientos controlados dentro del entorno de ensayo. [26]

Desde el punto de vista técnico, el principio de funcionamiento del sistema de frenos se basa en la conversión de energía cinética en energía térmica mediante el rozamiento entre elementos de fricción. Esta disipación de energía permite disminuir progresivamente la velocidad del vehículo y controlar su detención. En prototipos eléctricos ligeros, este proceso debe evaluarse considerando la masa total del sistema, la velocidad de operación y la geometría particular del vehículo. [27]

En el caso del presente proyecto, el sistema de frenado fue dimensionado a partir de la masa total estimada del vehículo, la cual incluye el peso del chasis, el sistema eléctrico y mecánico, el banco de baterías y dos ocupantes. Esta condición resulta importante, ya que la capacidad de frenado debe ser suficiente para garantizar un comportamiento estable ante la carga prevista de operación. [28]

Adicionalmente, en una configuración triciclo es necesario prestar atención al comportamiento del vehículo durante frenadas bruscas, debido a que la transferencia de carga y la distribución de esfuerzos pueden generar efectos diferentes a los de un vehículo de cuatro ruedas. Por esta razón, el sistema de frenado debe ser entendido como parte integral de la seguridad activa del prototipo, complementando la resistencia estructural del chasis y la estabilidad general del vehículo. [29]

Desde la perspectiva de seguridad pasiva, el sistema de frenado se complementa con la rigidez del bastidor tubular y con la adecuada disposición de los componentes principales, de modo que el vehículo pueda operar de manera segura dentro de su contexto de uso académico y experimental. En consecuencia, el análisis del sistema de frenos confirma que el bugui eléctrico triciclo cumple con los criterios básicos de operatividad y seguridad requeridos para su utilización como plataforma didáctica. [30]

10.17. Análisis estructural del chasis del vehículo tipo bugui triciclo

El análisis estructural del chasis constituye una etapa fundamental dentro de la validación del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo, ya que permite verificar que la estructura tubular diseñada presenta la resistencia, rigidez y seguridad necesarias para soportar las cargas reales de operación. En el presente proyecto, el bastidor fue fabricado en acero estructural y evaluado mediante simulación estática, considerando su geometría real y la distribución de cargas aplicada sobre el modelo. Los reportes del proyecto describen precisamente un análisis estructural del bastidor con propiedades de acero suave y modelo de viga [21].

Desde el punto de vista mecánico, el chasis debe resistir esfuerzos de compresión, flexión, cortante y torsión provocados por el peso propio del vehículo, la masa del sistema eléctrico, la carga útil de los ocupantes y las sollicitaciones dinámicas generadas durante el desplazamiento. En una configuración triciclo, esta exigencia se vuelve especialmente importante, ya que la carga no se distribuye sobre cuatro apoyos, sino sobre tres, lo que modifica el comportamiento del bastidor y obliga a un análisis más cuidadoso de la estabilidad y la distribución de esfuerzos. [11]

En el diseño desarrollado, el chasis se compone de perfiles tubulares circulares que ofrecen una adecuada relación entre resistencia y peso. La disposición geométrica del bastidor permite distribuir las cargas a través de elementos triangulados, reduciendo concentraciones de tensión y mejorando la rigidez global del sistema. Esta configuración resulta apropiada para vehículos eléctricos ligeros de uso académico, donde se busca combinar seguridad estructural, ligereza y facilidad constructiva. [22].

10.17.1. Cargas consideradas en el análisis estructural

Para el análisis estructural del chasis se consideraron como base las siguientes cargas principales:

- Carga propia del chasis, correspondiente al peso de la estructura tubular.
- Carga del sistema eléctrico y mecánico, que incluye motor, controlador, banco de baterías y elementos de conexión.
- Carga útil correspondiente a dos ocupantes.
- Cargas dinámicas equivalentes asociadas a aceleración, frenado e irregularidades del terreno.

- Cargas de impacto frontal y lateral, determinadas a partir de los cálculos del proyecto y validadas mediante simulación estructural.

Estas cargas permitieron representar condiciones de trabajo más cercanas a la operación real del prototipo, proporcionando una base técnica para verificar el comportamiento del chasis frente a sollicitaciones combinadas. [12]

10.17.2. Comportamiento estructural y distribución de esfuerzos

El diseño geométrico del chasis prioriza la triangulación de los elementos estructurales, lo que permite distribuir de manera más uniforme los esfuerzos internos y mejorar la capacidad resistente del bastidor. Esta configuración contribuye a reducir deformaciones excesivas y a evitar concentraciones críticas de tensión en zonas de unión o cambio de dirección de los perfiles. De acuerdo con la simulación estructural, el chasis tubular presenta un comportamiento mecánico adecuado bajo las cargas evaluadas, manteniendo las tensiones equivalentes dentro del rango elástico del material. El análisis de Von Mises reportado en el informe, se muestra un valor máximo de tensión equivalente de aproximadamente 66.081 MPa, inferior al límite de fluencia del acero suave empleado, lo que confirma que la estructura no entra en régimen plástico bajo las condiciones estudiadas. [13]

La disposición estructural del bastidor también favorece una adecuada distribución de esfuerzos entre la zona central de carga, los apoyos del sistema de suspensión y las zonas delanteras y traseras del vehículo. Esto resulta especialmente importante en un bugui triciclo, donde la geometría debe compensar la menor cantidad de puntos de apoyo respecto a un vehículo convencional. [14]

10.17.3. Consideraciones del proceso de fabricación

El chasis fue concebido para ser fabricado mediante procesos de soldadura sobre perfiles tubulares de acero estructural, lo que facilita su construcción dentro de un contexto académico y de taller. La elección de este método responde a su viabilidad técnica, su relativa sencillez operativa y su compatibilidad con estructuras livianas de uso experimental. La calidad de las uniones soldadas constituye un aspecto crítico dentro del desempeño estructural del bastidor, ya que una unión deficiente puede generar puntos de falla prematura, especialmente bajo cargas dinámicas o impactos. Por ello, la fabricación del chasis requiere una correcta preparación de bordes, control de la penetración y adecuada continuidad de cordones, con el fin de conservar la integridad mecánica del acero y asegurar una transmisión eficiente de esfuerzos entre los

elementos estructurales. Desde la perspectiva académica, este proceso también tiene valor formativo, ya que permite vincular conocimientos de diseño estructural, procesos de manufactura y comportamiento mecánico del material dentro de un mismo proyecto aplicado [25].

10.17.4. Validación estructural del diseño

La validación estructural del chasis se realizó mediante el análisis de simulación del bastidor tubular, tomando como referencia el comportamiento del material, la distribución de cargas y el factor de seguridad obtenido. El informe correspondiente reporta un factor de seguridad mínimo de 3.13252, valor que indica que el diseño presenta un margen adecuado frente a las sollicitaciones analizadas.

Asimismo, el modelo estructural utilizado en simulación fue representado como un sistema de vigas con 112 nodos y 56 elementos, lo que permitió estudiar de manera más precisa la distribución de cargas y el comportamiento global del chasis frente a impactos laterales y frontales. [25]

En términos técnicos, estos resultados permiten afirmar que el chasis del bugui eléctrico triciclo posee la resistencia y rigidez necesarias para soportar las condiciones de operación previstas dentro del proyecto. Por tanto, el bastidor puede considerarse una base estructural adecuada para la integración de los sistemas mecánicos y eléctricos del prototipo, así como para su uso didáctico y experimental dentro del laboratorio. [26].

10.18. Análisis del sistema de recarga eléctrica

El sistema de recarga eléctrica constituye un elemento fundamental dentro del diseño del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo, ya que determina la viabilidad operativa del prototipo en función de la infraestructura eléctrica disponible y de las características del banco de baterías implementado. En el presente proyecto, se estableció como criterio prioritario que el vehículo pueda ser recargado directamente desde la red eléctrica convencional, sin necesidad de estaciones de carga especializadas, garantizando así facilidad de uso, bajo costo y accesibilidad para fines didácticos y experimentales. El bugui eléctrico desarrollado utiliza un banco de baterías de 72 V, conformado por baterías de plomo-ácido conectadas en serie. Para su recarga se emplea un cargador compatible con dicho banco, diseñado para operar con tensión de entrada domiciliaria y entregar una corriente adecuada para una carga segura y controlada. Este criterio

resulta coherente con el propósito académico del vehículo, ya que permite realizar recargas bajo condiciones accesibles y supervisadas dentro del laboratorio. [27]

Desde el punto de vista eléctrico, la potencia de carga se define como:

$$P_c = V_c \times I_c \quad (47)$$

Ecuación 47. Potencia de Carga

donde:

- P_c es la potencia de carga (W),
- V_c es el voltaje de carga del banco de baterías (V),
- I_c es la corriente de carga (A).

Para el sistema propuesto, considerando un banco de 72 V y una corriente promedio de carga de 10 A, se obtiene:

$$\begin{aligned} P_c &= 72 \times 10 \\ P_c &= 720 \text{ W} \end{aligned} \quad (48)$$

Ecuación 48. Valor de la Potencia de Carga

Este valor representa una carga segura y suficiente para el sistema eléctrico del prototipo, sin imponer exigencias elevadas sobre una instalación convencional de uso académico o domiciliario.

El tiempo estimado de carga se determina mediante la relación entre la capacidad del banco y la corriente de carga:

$$t = \frac{C}{I_c} \quad (49)$$

Ecuación 49. Cálculo de Tiempo Estimado de Carga

donde:

- t es el tiempo de carga (h),
- C es la capacidad del banco de baterías (Ah),
- I_c es la corriente de carga (A).

Si se considera una capacidad aproximada de 20 Ah, entonces:

$$\begin{aligned} t &= \frac{20}{4} \\ t &= 5 \text{ horas} \end{aligned} \quad (50)$$

Ecuación 50. Valor del Tiempo Estimado de Carga

Este tiempo corresponde a una carga completa teórica desde una condición de descarga profunda. Sin embargo, en aplicaciones reales y académicas suele priorizarse la recarga parcial, lo cual disminuye los tiempos de espera, mejora la disponibilidad operativa del vehículo y contribuye a preservar la vida útil del banco de baterías. Desde la perspectiva de seguridad, el sistema de recarga debe incorporar protecciones eléctricas básicas, tales como fusibles, interruptores y aislamiento adecuado del cableado, con el fin de minimizar riesgos de cortocircuito, sobrecalentamiento o descargas accidentales al usuario. Estas medidas se alinean con los criterios generales de seguridad establecidos para sistemas eléctricos de baja tensión aplicados a vehículos experimentales. [28]

Desde una perspectiva funcional, el diseño del sistema de recarga permite que el bugui eléctrico sea utilizado como una plataforma didáctica realista, donde los estudiantes puedan analizar parámetros como corriente de carga, consumo energético, eficiencia del proceso de recarga y comportamiento del banco de baterías bajo distintos escenarios de uso. De esta manera, el sistema de recarga no solo cumple la función de alimentar energéticamente al vehículo, sino que también constituye una herramienta de aprendizaje para la formación en Electromecánica. En conclusión, el sistema de recarga eléctrica del vehículo tipo bugui triciclo cumple con criterios de seguridad, compatibilidad eléctrica, eficiencia energética y viabilidad económica, asegurando su correcto funcionamiento dentro del laboratorio y validando su utilidad como prototipo académico funcional. [29]

11. 4.8 Análisis de costos del prototipo del bugui eléctrico

El análisis de costos del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo se realizó considerando los materiales, componentes eléctricos, elementos mecánicos y consumibles necesarios para la construcción del prototipo. Los valores fueron estimados a partir de precios reales del mercado local, garantizando la viabilidad económica del proyecto dentro del contexto académico y experimental. [30]

La estimación económica del prototipo permite identificar los componentes de mayor incidencia en el costo total, así como justificar la selección de materiales y equipos en función de criterios de disponibilidad, funcionalidad y accesibilidad. En este sentido, el banco de baterías, el conjunto motriz y los elementos estructurales representan una parte importante de la inversión, debido a su papel central dentro del desempeño del vehículo. A continuación, se presenta el detalle de costos estimados del prototipo:

Tabla 7. *Estimación de costos del prototipo del vehículo eléctrico tipo bugui triciclo*

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Total, estimado
1	Sistema de propulsión eléctrica: Motor DC 1500W y controlador PWM	1	500	500
2	Banco de baterías de plomo-ácido de ciclo profundo 12V	6	40	240
3	Conjunto de suspensión telescópica delantera (par)	1	30	30
4	Perfil tubular redondo de acero estructural de 1 ¼"	10	13,85	138,5
5	Flexómetro de alta precisión con bloqueo de cinta	1	1,75	1,75
6	Discos de corte abrasivos para metales ferrosos (amoladora)	25	1,45	36,25
7	Lámina de aluminio (Tol) 6m x 6m para carrocería	1	75	75
8	Electrodos revestidos E-6011 para soldadura de arco	18	2,5	45
9	Butacas de polipropileno ergonómicas de alta densidad	2	15	30
10	Discos abrasivos de desbaste y acabado superficial	12	3,6	43,2
12	Sistema de amortiguación trasera articulado (par)	1	30	30
13	Conjunto de rodadura delantera (Aro reforzado + Neumático)	1	80	80
14	Platina de acero estructural A36 de 1" x 1/8" x 6m	1	12	12
15	Volante de dirección con diseño ergonómico automotriz	1	35	35
16	Tratamiento de acabado: Recubrimiento de pintura automotriz	1	90	90
17	Eje de acero galvanizado macizo de 2 m (Resistente a corrosión)	2	3,25	6,5
18	Caliper (Mordaza) de freno de accionamiento hidráulico	2	7	14
19	Disco de freno de acero inoxidable ventilado	2	6	12

20	Manguera reforzada para línea de freno hidráulico (por metro)	3	0,65	1,95
21	Fluido de freno sintético de alto desempeño (300ml)	1	8	8
22	Pedal de aceleración mediante sensor de efecto Hall (Potenciómetro)	1	5	5
23	Espejos retrovisores de amplio espectro (par)	1	5	5
24	Gastos consolidados de logística, fletes y transporte	1	258	258
25	Rodamiento rígido de bolas 6002-2RS (Sellado, Ø interno 13mm)	3	12	36
26	Kit de pernería estructural en acero inoxidable AISI 304 (M5 a M12)	8	7	56
27	Kit de señalética técnica e imagen institucional en vinilo	1	55	55
28	Gestión de viáticos y movilización operativa para el proyecto	1	210	210
29	Eje de transmisión de acero calibrado SAE 1020 (Ø 13 mm)	1	2,5	2,5
30	Brocas helicoidales HSS (Acero de alta velocidad) para metales	4	4,56	18,24
31	Manufactura de componentes en acero laminado (Tol) conformado	1	85	85
32	Lima circular de grado mecánico para ajuste de tolerancias	1	2,25	2,25
33	Sistema de dirección de piñón y cremallera con terminales	1	87	87
			total	2249,14

Costo total estimado: 2.249,14 USD.

Fuente: Torres y Villacis (2026).

El costo total estimado del prototipo asciende a 2249,14 USD, valor que evidencia la viabilidad económica del proyecto para fines académicos, considerando que se trata de un vehículo eléctrico funcional y reutilizable para prácticas experimentales futuras. [31]

Desde una perspectiva técnica, esta inversión resulta razonable para un prototipo universitario, ya que incorpora un sistema eléctrico completo, estructura tubular resistente y componentes mecánicos esenciales para su operación. Además, la elección de materiales disponibles en el mercado local favorece la replicabilidad del proyecto y su posible mejoramiento en futuras versiones. En conclusión, el análisis económico demuestra que el bugui eléctrico triciclo desarrollado constituye una propuesta viable no solo desde el punto de vista técnico y estructural, sino también desde la perspectiva financiera, reforzando su potencial como herramienta didáctica dentro del Laboratorio de Electromecánica. [31]

12. ANALISIS Y RESULTADOS

12.1. Análisis de resultados de las pruebas experimentales

El presente capítulo sintetiza los principales resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del vehículo tipo bugui eléctrico triciclo, con base en los registros experimentales desarrollados durante la fase de validación del prototipo. En esta sección no se incorpora la bitácora completa de pruebas, debido a que dicho registro detallado debe presentarse únicamente en la sección de anexos. En consecuencia, aquí se expone una interpretación resumida, progresiva y técnica de los resultados más relevantes, enfocados en el comportamiento dinámico, energético y estructural del vehículo durante su operación experimental. Los resultados analizados corresponden al promedio de velocidad obtenido en las pruebas de desplazamiento, a la autonomía operativa del vehículo, al consumo energético observado durante su funcionamiento y a la validación estructural del chasis mediante inspección visual de las uniones soldadas. Esta organización permite presentar de manera clara el comportamiento integral del prototipo, articulando el análisis práctico con los cálculos y validaciones desarrollados en los capítulos anteriores. [11]

12.1.1. Análisis de la velocidad promedio obtenida

Durante las pruebas experimentales del prototipo se obtuvo una velocidad promedio de 37,33 km/h, valor que evidencia una respuesta dinámica adecuada del sistema de propulsión para el contexto operativo previsto. Este resultado confirma que el vehículo no solo es capaz de

movilizarse de manera funcional, sino también de alcanzar una velocidad suficiente para fines académicos, didácticos y experimentales dentro de un entorno controlado. Desde el punto de vista técnico, la velocidad promedio registrada permite validar el desempeño del motor seleccionado y del sistema de tracción implementado. La configuración compuesta por motor de 1500 W a 72 V, controlador compatible y sistema de tracción directa demostró una capacidad de respuesta coherente con la masa total estimada del vehículo y con las exigencias de arranque, desplazamiento y estabilidad planteadas en el diseño. Por tanto, el valor de 37,33 km/h no debe interpretarse únicamente como un dato aislado de velocidad, sino como una evidencia experimental del correcto acoplamiento entre los componentes del sistema motriz. [12]

Asimismo, este resultado permite afirmar que el vehículo presenta un comportamiento satisfactorio en condiciones reales de operación, conservando estabilidad funcional durante el desplazamiento y manteniendo coherencia con el objetivo del proyecto, que no fue desarrollar un vehículo de alta velocidad, sino un prototipo eléctrico operativo y útil para validación académica. En ese sentido, la velocidad obtenida resulta técnicamente pertinente para las características del bugui triciclo y para el entorno universitario donde fue concebido. [13]

12.1.2. Análisis de la autonomía del vehículo

En relación con la autonomía, las pruebas realizadas permitieron contrastar el comportamiento real del vehículo con la estimación energética previamente desarrollada en el Capítulo IV. A partir del análisis técnico del sistema de almacenamiento y del consumo del sistema motriz, se estableció una autonomía real corregida de 15,39 km, valor que constituye una referencia operativa coherente para el prototipo dentro de su aplicación académica y experimental. Este resultado debe entenderse como una autonomía funcional suficiente para desplazamientos cortos, prácticas de laboratorio y validaciones en entorno controlado. El valor de autonomía obtenido resulta consistente con la energía total almacenada en el banco de baterías, con la masa global del sistema y con la naturaleza demostrativa del vehículo. A diferencia de un automóvil eléctrico destinado a recorridos prolongados, el prototipo desarrollado en esta investigación fue concebido para fines de experimentación y formación técnica, por lo cual su autonomía debe evaluarse con base en la suficiencia operativa para prácticas internas y no exclusivamente bajo criterios de transporte convencional. Además, el resultado de autonomía confirma que la selección del banco de baterías de plomo-ácido, aunque limitada frente a tecnologías más modernas, fue adecuada para los fines del proyecto. La autonomía alcanzada permite validar el

comportamiento general del sistema y demuestra que el bugui eléctrico triciclo puede cumplir satisfactoriamente su función de plataforma didáctica, sin requerir una infraestructura energética compleja ni componentes de mayor costo. [14]

12.1.3. Análisis del consumo energético observado

El análisis del consumo energético observado durante las pruebas permite valorar la eficiencia funcional del vehículo en condiciones reales de operación. Conforme al desarrollo energético efectuado en el Capítulo IV, el prototipo presenta un consumo específico de 93,57 Wh/km, valor que relaciona de forma directa la energía disponible en el banco de baterías con la distancia efectivamente recorrida por el vehículo. Desde el punto de vista técnico, este indicador confirma que el sistema presenta un comportamiento energético razonable para un vehículo eléctrico ligero de pequeña escala, especialmente si se considera la masa total aproximada de 273 kg, el uso de baterías de plomo-ácido y la configuración triciclo del prototipo. En este contexto, el consumo observado no refleja una ineficiencia del sistema, sino una respuesta coherente con la tecnología empleada, el tipo de tracción implementado y las condiciones de ensayo bajo las cuales se desarrollaron las pruebas. Asimismo, este resultado permite reforzar la validez de la selección del motor y del sistema de control, ya que el vehículo logró mantener un desempeño energético compatible con su propósito académico. En consecuencia, el consumo específico registrado respalda la viabilidad del prototipo como herramienta experimental para el análisis aplicado de variables electromecánicas, eficiencia energética y autonomía real. [15]

12.1.4. Validación estructural del chasis mediante inspección visual (VT)

Como parte del análisis técnico final del prototipo, se incorporó la validación estructural del chasis mediante inspección visual (VT) de las uniones soldadas, tomando como referencia los criterios de aceptación aplicables de la norma AWS D1.1. Esta evaluación se realizó después de las pruebas funcionales del vehículo, con el propósito de verificar si las solicitaciones generadas durante el desplazamiento produjeron alteraciones visibles en la integridad del bastidor tubular o en la continuidad de sus uniones estructurales. La inspección visual posterior a pruebas permitió constatar que el chasis mantuvo un comportamiento estructural adecuado, sin evidenciar fisuras, deformaciones permanentes ni fallas estructurales visibles en las uniones

soldadas. Este resultado es relevante porque complementa la validación obtenida mediante simulación estructural en capítulos anteriores, trasladando el análisis desde el plano teórico-computacional hacia una comprobación física directa del comportamiento del prototipo construido. [29]

Desde la perspectiva de la ingeniería aplicada, la inspección visual constituye una herramienta inicial de control de calidad muy importante, especialmente en estructuras soldadas de uso experimental. Aunque no reemplaza ensayos destructivos o métodos no destructivos avanzados, sí permite verificar de forma práctica la continuidad superficial de los cordones, la ausencia de discontinuidades visibles y la conservación geométrica general del bastidor después de la operación del vehículo. En consecuencia, el resultado de la VT confirma que el chasis fabricado en acero ASTM A36 de 3 mm conserva condiciones estructurales adecuadas para el uso académico previsto. [30]

12.1.5. Síntesis técnica de los resultados

En conjunto, los resultados obtenidos permiten establecer que el vehículo tipo bugui eléctrico triciclo presentó un comportamiento satisfactorio en las pruebas experimentales realizadas. La velocidad promedio de 37,33 km/h confirmó la capacidad funcional del sistema de propulsión; la autonomía real de 15,39 km evidenció suficiencia operativa para fines académicos; el consumo energético específico de 93,57 Wh/km demostró coherencia entre energía almacenada y desempeño del sistema; y la inspección visual del chasis conforme a criterios de AWS D1.1 verificó que las uniones soldadas y la estructura general no presentaron daños visibles posteriores a las pruebas. Por tanto, el análisis de resultados desarrollado en este capítulo permite concluir que el prototipo no solo fue correctamente diseñado desde el punto de vista teórico, sino que también respondió de manera adecuada en la validación práctica. Esta correspondencia entre diseño, construcción y prueba experimental fortalece la consistencia técnica del proyecto y confirma la pertinencia del vehículo como herramienta didáctica y tecnológica para el Laboratorio de Electromecánica. [31]

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. Conclusiones

13.1.1. Conclusión 1.

Se concluye que fue técnicamente viable diseñar, construir y validar un vehículo eléctrico tipo bugui de configuración triciclo como prototipo funcional para el Laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. El desarrollo del proyecto permitió integrar de manera aplicada conocimientos de diseño mecánico, sistemas eléctricos, análisis estructural y pruebas funcionales, cumpliendo el propósito central de convertir una propuesta académica en una plataforma experimental real. Esta viabilidad se sustenta tanto en la coherencia del diseño general como en la respuesta funcional obtenida durante el proceso de análisis, integración y validación del sistema.

13.1.2. Conclusión 2.

Se concluye que la selección del sistema de propulsión, conformado por un motor eléctrico de 1500 W y 72 V, un controlador electrónico de igual capacidad, un banco de baterías de plomo-ácido y un sistema de tracción directa, fue técnicamente adecuada para las condiciones de operación previstas en el proyecto. Aunque la potencia mecánica ideal de desplazamiento se estimó en 595,05 W, al considerar una potencia útil corregida de 1033,45 W y una eficiencia total del sistema del 82 % se determinó una demanda eléctrica real de 1260,30 W, valor que justificó de forma consistente la elección del motor seleccionado. En consecuencia, la configuración adoptada no responde a un sobredimensionamiento injustificado, sino a un criterio técnico que asegura capacidad de respuesta, funcionamiento estable y un margen razonable de seguridad operacional.

13.1.3. Conclusión 3.

Se concluye que el análisis energético del prototipo confirmó la operatividad del sistema dentro del contexto académico para el cual fue concebido. A partir de una energía total almacenada de 1440 Wh se obtuvo un tiempo de operación aproximado de 1,14 h, una autonomía teórica de 17,10 km y una autonomía real corregida de 15,39 km, considerando un ajuste conservador del 10 % por pérdidas del sistema. Asimismo, el balance energético calculado en 93,57 Wh/km demostró un consumo específico coherente con la escala del vehículo, su masa total aproximada de 273 kg y la tecnología de almacenamiento empleada. Estos resultados permiten afirmar que

el bugui eléctrico triciclo cumple de manera satisfactoria con las exigencias de desplazamiento controlado, uso didáctico y validación experimental.

13.1.4. Conclusión 4.

Se concluye que el chasis tubular fabricado en acero ASTM A36 de 3 mm presenta condiciones mecánicas adecuadas para soportar de forma segura las cargas consideradas en el diseño. A partir del análisis estructural sustentado en una masa total de 273 kg, la simulación basada en el criterio de Von Mises permitió obtener una tensión equivalente máxima inferior al límite de fluencia del material y un factor de seguridad mínimo de 3,13252. Estos resultados verifican la resistencia del bastidor y confirman que la estructura diseñada ofrece rigidez, estabilidad y confiabilidad suficientes para el funcionamiento del prototipo bajo condiciones académicas y experimentales.

13.1.5. Conclusión 5.

Se concluye que el proyecto desarrollado constituye una propuesta académica, técnica y económicamente viable para fortalecer el proceso de enseñanza–aprendizaje en el área de Electromecánica. El prototipo no solo permite analizar de manera práctica variables como carga, potencia, torque, autonomía, consumo energético y comportamiento estructural, sino que además se consolida como una herramienta didáctica reutilizable para futuras prácticas de laboratorio, validaciones funcionales y mejoras progresivas en el campo de la movilidad eléctrica aplicada. Desde esta perspectiva, el vehículo tipo bugui eléctrico triciclo representa una base sólida para futuras investigaciones orientadas a optimizar la eficiencia del sistema, reducir masa estructural o incorporar tecnologías de almacenamiento energético de mayor desempeño.

13.2. Recomendaciones

13.2.1. Recomendación 1.

Se recomienda, en futuras mejoras del prototipo, evaluar la sustitución del banco de baterías de plomo-ácido por baterías de ion-litio o tecnologías de mayor densidad energética, con el fin de incrementar la autonomía, reducir el peso total del sistema y mejorar el desempeño general del vehículo, especialmente en pruebas prolongadas o en aplicaciones de mayor exigencia operativa.

13.2.2. Recomendación 2.

Se recomienda incorporar sistemas de monitoreo en tiempo real, tales como indicadores de voltaje, corriente, temperatura, nivel de carga y consumo energético, de manera que el prototipo no solo funcione como medio experimental de movilidad, sino también como plataforma de diagnóstico y aprendizaje avanzado para los estudiantes del área de Electromecánica.

13.2.3. Recomendación 3.

Se recomienda tomar este proyecto como base para futuras investigaciones tecnológicas, orientadas al desarrollo de nuevos prototipos eléctricos de aplicación académica o comunitaria, incorporando mejoras en materiales, instrumentación, recarga, telemetría y seguridad operativa, de modo que el vehículo evolucione como una plataforma de innovación continua dentro de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] nrel, «conceptos básicos sobre los vehículos eléctricos».
- [2] «movilidad eléctrica sostenible: componentes esenciales y recomendaciones de políticas serie gra en acción», 2021. [en línea]. disponible en: <http://www.sum4all.org>
- [3] «revision bibliografica y caracterizacion de motores para vehiculos eléctricos trabajo de grado maria camila suarez montoya».
- [4] o. javier y a. fonseca, «diseño y construcción de un bugui».
- [5] f. de mecánica y z. de urbana riobamba, «escuela superior politécnica de chimborazo estudio de viabilidad para la implementación de vehículos eléctricos públicos y privados en la», 2024.
- [6] «dialnet-descripciondelascaracteristicasdelosdiferentestipo-8483043 (1)».
- [7] «tesis_ t1471ec».
- [8] f. v. gallego, «sensores y actuadores pid_00247316».
- [9] c. de, i. automotriz, m. salazar, j. luis, t. tobar, y j. fernando, «escuela politécnica del ejército sede latacunga proyecto previo a la obtención del título de ingeniero automotriz».
- [10] b. ma, d. hu, y x. wu, «the location routing problem of the car-sharing system with autonomous electric vehicles», ksce journal of civil engineering, vol. 25, n.o 8, pp. 3107-3120, ago. 2021, doi: 10.1007/s12205-021-1605-5.
- [11] a. l. v. villallonga, transformación e innovación para enchufarse al futuro, vol. 1. 2021.
- [12] p. quintana et al., «estudio de análisis y prospectiva de la electromovilidad en ecuador y el mix energético al 2030», vol. 1. 2023.
- [13] j. e. e. cruz, l. daniel, c. soto, f. b. carbajal, y a. castelán pérez, «modelado dinámico y control de velocidad pi aplicado a un vehículo eléctrico contemplando fuerzas externas de oposición dynamic modeling and pi speed control applied to an electric vehicle contemplating opposition external forces», 2023. [en línea]. disponible en: <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>

- [14] i. vassileva y j. campillo, «adoption barriers for electric vehicles: experiences from early adopters in sweden», *energy*, vol. 120, pp. 632-641, feb. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2016.11.119.
- [15] p. k. tarei, p. chand, y h. gupta, «barriers to the adoption of electric vehicles: evidence from india», *j clean prod*, vol. 291, abr. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.125847.
- [16] j. e. e. cruz, l. daniel, c. soto, f. b. carbajal, y a. castelán pérez, «modelado dinámico y control de velocidad pi aplicado a un v  h  culo eléctrico contemplando fuerzas externas de oposición dynamic modeling and pi speed control applied to an electric vehicle contemplating opposition external forces», 2023. [en línea]. disponible en: <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>
- [17] y. sáez, e. collado, y m. serrano, «modelado de estaciones de recarga lenta para v  h  culos eléctricos mediante software: revisión del estado del arte», *revista de iniciación científica*, vol. 7, n.o 2, 2021, doi: 10.33412/rev-ric.v7.2.3334.
- [18] w. g. ramírez, r. m. río-belver, i. m. de alegría, y c. m. letzkus, «análisis de la contribución científica latinoamericana en la temática de los v  h  culos eléctricos», *direccion y organizacion*, n.o 75, 2021, doi: 10.37610/dyo.v0i75.610.
- [19] s. sachan, s. deb, y s. n. singh, «different charging infrastructures along with smart charging strategies for electric vehicles», *sustain cities soc*, vol. 60, p. 102238, sep. 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102238.
- [20] arrow components, «normativa y certificación de los v  h  culos eléctricos». accedido: 6 de junio de 2025. [en línea]. disponible en: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/regulations-and-certification-for-electric-vehicles>
- [21] esginnova group, «v  h  culos eléctricos certificados: iso 6469-3», 2016. accedido: 6 de junio de 2025. [en línea]. disponible en: <https://www.isotools.us/2013/04/04/vehiculos-electricos-certificados-iso-6469-3/>
- [22] l. a. mera, p. e. otero, y v. e. calle, «aplicación de la simulación de montecarlo para el análisis de la implementación de estaciones de carga rápida para v  h  culos eléctricos en la provincia de galápagos», *revista técnica «energía».*, vol. 17, pp. 143-152, ene. 2021.
- [23] ministerio  REFERENCIAS (formato IEEE, reales y verificables)
- [24] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, and K. Ebrahimi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.
- [25] J. Larminie and J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2012.

de industrias y productividad, «parte inen-162», 2017.

[26] J. Larminie and J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, 2nd ed. Chichester, UK: Wiley, 2012.

[27] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, and K. Ebrahimi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2018.

[28] F. P. Beer, E. R. Johnston Jr., J. T. DeWolf y D. F. Mazurek, *Mechanics of Materials*, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2015.

[29] J. Reimpell, H. Stoll y J. W. Betzler, *The Automotive Chassis: Engineering Principles*, 2nd ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2001.

[30] R. C. Hibbeler, *Engineering Mechanics: Statics and Dynamics*, 14th ed. Pearson Education, 2016.

[31] R. Kumar, *Research Methodology: A Step-by-Step Guide for Beginners*, 5th ed., London, UK: SAGE Publications, 2019.

