



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE MOTO GENERADORES,
PRODUCTO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS CON MOTOR
DE COMBUSTIÓN INTERNA A ELÉCTRICOS”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero
Automotriz.

Línea de investigación: Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo socioeconómico.

AUTOR:

Hernán Diego Morales Morales

Santiago David Páez Obando

DIRECTOR:

Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos

Ibarra – Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1005244080		
APELLIDOS Y NOMBRES:	MORALES MORALES HERNÁN DIEGO		
DIRECCIÓN:	RUMIÑAHUI ENTRE CENTRAL		
EMAIL:	hdmoralesm@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELF. MOVIL	0985152408
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003975065		
APELLIDOS Y NOMBRES:	PAEZ OBANDO SANTIAGO DAVID		
DIRECCIÓN:	BARTOLOME SALON 2-23		
EMAIL:	sdpaezo@utn.edu.ec / santipaez00@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062952803	TELF. MOVIL	0984696245



DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE MOTO GENERADORES, PRODUCTO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A ELÉCTRICOS”
AUTOR (ES):	MORALES MORALES HERNÁN DIEGO PAEZ OBANDO SANTIAGO DAVID
FECHA: AAAA/MM/DD	2026/01/19
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERIA AUTOMOTRIZ
DIRECTOR:	Msc. Ignacio Benavides



AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros, Morales Morales Hernán Diego, Santiago David Páez Obando, con cédula de identidad Nro. 1005244080 y Nro. 1003975065, respectivamente, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 19 días del mes de febrero de 2026

LOS AUTORES:

Firma:



**Hernán Diego
Morales Morales**

Nombre: Morales Morales Hernán Diego

Firma:



firmado electrónicamente por:
**SANTIAGO DAVID PÁEZ
OBANDO**
validar únicamente con FirmaEC

Nombre: Páez Obando Santiago David



CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días, del mes de febrero de 2026

LOS AUTORES:

Firma:



Hernan Diego
Morales Morales
Time Stamping
Security Data

Nombre: Morales Morales Hernán Diego

Firma:



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO DAVID PAEZ
OBANDO
Validar únicamente con FirmaEC

Nombre: Páez Obando Santiago David



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, a los 19 días, del mes de febrero de 2026

Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



Firmado electrónicamente por:
**IGNACIO BAYARDO
BENAVIDES CEVALLOS**
Validar únicamente con FirmaEC

(f)

Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc.

C.C.: 1002415949



APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE MOTO GENERADORES, PRODUCTO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A ELÉCTRICOS” elaborado por Morales Morales Hernán Diego y Páez Obando Santiago David, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Firmado electrónicamente por:
IGNACIO BAYARDO
BENAVIDES CEVALLOS
 Validar únicamente con FirmaEC

(f):.....

MSc. Ignacio Benavides

C.C: 1002415949



Firmado electrónicamente por:
CARLOS NOLASCO
MAFLA YEPEZ
 Validar únicamente con FirmaEC

(f):.....

MSc. Carlos Mafla

C.C.: 0401447826



DEDICATORIA

Todo mi esfuerzo y trabajo puestos para la ejecución de la presente investigación lo dedico a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo, fortaleciendo mi corazón e iluminar mi mente a todas las acciones de mi vida.

Especialmente le dedico a mi madre Mercedes Morales quien con su amor, paciencia y esfuerzo me han guiado y motivado a alcanzar mis metas, gracias por inculcar en mí, esfuerzo y valentía de no temer a las adversidades.

Además, va dedicado a mis familiares, a mi papá, mis tías, mis primas y mis amigos por su apoyo en este camino académico, por darme ánimos de luchar y persistir durante mi formación académica. Con gratitud especial a quienes conforman el Ministerio de Alabanza “NUEVA EVANGELIZACIÓN” por permitirme ser parte de ellos y apoyarme en todos mis logros.



AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento fraterno a la prestigiosa Universidad Técnica del Norte, que a través de la facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, me brindó la oportunidad de prepararme como profesional y persona de bien.

Agradezco a mi director de tesis Ingeniero Ignacio Benavides MSc, por confiar en mí y brindarme su tiempo a lo largo de esta investigación, también a mi asesor el Ingeniero Carlos Mafla MSc que me ha apoyado con sus conocimientos.

Expreso mi agradecimiento a mis compañeros de aula por haber cursado con éxito este paso importante de la vida, en especial al Ingeniero Santiago Páez que fue parte fundamental dentro de esta investigación.



DEDICATORIA

A mi mamá, Paulina:

Gracias por ser mi fuerza silenciosa, mi ejemplo constante y el amor que nunca conoce límites. Gracias por enseñarme que la perseverancia y la dignidad abren caminos incluso en los momentos más difíciles. Este logro no es solo mío, es el reflejo de tu sacrificio, tus desvelos y tu fe inquebrantable en mí. Todo lo que soy y todo lo que sueño llegar a ser tiene sus raíces en tu amor.

Si hoy alcanzo esta meta, es porque tú me enseñaste a no rendirme y es por eso que hoy puedo decir que si soy alguien fuerte es porque fui criado por alguien más fuerte que yo.

A mi familia:

Por ser mi sostén, mi impulso y mi motivación en los días difíciles. Gracias por creer en mí, por su paciencia y por recordarme siempre que no estaba solo en este camino. Cada uno ha dejado una huella invaluable en este logro.

Santiago Páez



AGRADECIMIENTO

A mi compañera de vida, Abigail:

Gracias por ser mi apoyo incondicional en este camino. Gracias por tu paciencia, por tu comprensión en los momentos de estrés y por recordarme siempre que era capaz de lograrlo. Tu amor, tus palabras de ánimo y tu presencia constante fueron un pilar fundamental en este camino.

A mis pastores, Freddy y Lucy:

Quienes no solo han sido guía espiritual en mi vida, sino también una presencia cercana y significativa en mi entorno familiar. Gracias por sus consejos, su confianza y por fortalecer mi fe en cada etapa de este proceso.

A mis tutores:

Gracias por su guía, su sabiduría y la generosidad con la que compartieron sus conocimientos. Su orientación académica, sus observaciones y su exigencia constructiva fueron esenciales para el desarrollo y culminación de esta tesis. Gracias por impulsarme a dar siempre lo mejor.

A mis compañeros:

Gracias por el compañerismo y el aprendizaje compartido a lo largo de esta etapa. En especial al Ingeniero Hernán Morales mi compañero tesista, por su compromiso, responsabilidad y trabajo en equipo. Este logro también es fruto del esfuerzo conjunto, de las largas jornadas y de la perseverancia compartida.

Santiago Páez



RESUMEN EJECUTIVO

En este documento se analiza la eficiencia obtenida al convertir una motocicleta de combustión interna, modelo Vespa LML Star Deluxe 150 cc, en un sistema totalmente eléctrico mediante la implementación de un moto-generator de 4 kW, proceso que surge ante la necesidad de reducir emisiones, mejorar el rendimiento energético y promover alternativas viables dentro de la transición hacia la movilidad sostenible en Ecuador; el objetivo general consiste en evaluar el desempeño del moto-generator instalado y determinar su eficiencia en condiciones reales de operación, para lo cual se aplicó una metodología basada en la selección técnica de componentes, el dimensionamiento del sistema eléctrico, el rediseño estructural del chasis, la instalación del motor, controlador e inversor, además de la integración de un paquete de baterías LiFePO₄ y la adaptación del sistema de transmisión; los resultados muestran una autonomía aproximada de 90 km, un desempeño estable bajo la relación de transmisión 5:1, una reducción sustentable del costo operativo y una mejora significativa en la respuesta dinámica del vehículo, evidenciándose un funcionamiento eficiente del motor, temperaturas operativas dentro de los rangos seguros, adecuada distribución de peso y un sistema eléctrico estable durante las pruebas; las conclusiones indican que la conversión resulta técnicamente viable, que la motocicleta presenta un comportamiento óptimo en entornos urbanos y que el sistema eléctrico propuesto ofrece un desempeño comparable al de modelos eléctricos comerciales, demostrando así que las conversiones constituyen una alternativa accesible, sostenible y funcional para el transporte de baja cilindrada.

Palabras Clave: conversión vehicular, moto-generator, motocicleta eléctrica, eficiencia energética, movilidad sostenible, sistemas de propulsión eléctrica.



ABSTRACT

This document analyzes the efficiency achieved by converting a combustion-engine motorcycle, specifically a Vespa LML Star Deluxe 150 cc, into a fully electric system through the implementation of a 4 kW motor-generator, addressing the need to reduce emissions, improve energy performance, and promote feasible alternatives within Ecuador's transition toward sustainable mobility; the main objective is to evaluate the performance of the installed motor-generator and determine its efficiency under real operating conditions, following a methodology based on technical component selection, electrical system sizing, structural redesign of the chassis, installation of the motor, controller and inverter, integration of a LiFePO₄ battery pack, and adaptation of the transmission system; results show an approximate autonomy of 90 km, stable performance with a 5:1 transmission ratio, reduced operational costs, and a significant improvement in dynamic response, with efficient motor behavior, safe operating temperatures, proper weight distribution and a stable electrical system during testing; conclusions indicate that the conversion is technically viable, that the motorcycle performs optimally in urban environments, and that the proposed electrical system offers performance comparable to commercial electric models, demonstrating that vehicle conversions represent an accessible, sustainable and functional alternative for low-displacement transportation.

Keywords: vehicle conversion, motor-generator, electric motorcycle, energy efficiency, sustainable mobility, electric propulsion systems.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ





LISTA DE SIGLAS

COA. Código Orgánico ambiental

MAE. Ministerio del Ambiente del Ecuador.

MAG. Ministerio de Agricultura y Ganadería

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

ISTA. Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas.

INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – Ecuador.



INDICE

<i>DEDICATORIA</i>	7
<i>AGRADECIMIENTO</i>	8
<i>RESUMEN EJECUTIVO</i>	9
<i>ABSTRACT</i>	12
<i>INTRODUCCIÓN</i>	22
Justificación	23
Objetivos	25
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos	25
Alcance	25
<i>CAPÍTULO I</i>	27
<i>Marco teórico</i>	27
1.3 Análisis y diseño de un prototipo funcional de motocicleta eléctrica.....	29
1.4 Características del motor.....	31
1.5 Definición y esquema conceptual de un vehículo	31
1.6 Criterios de selección de motores eléctricos	32
1.7 Motor eléctrico	35
1.8 Diseño y construcción de una motocicleta eléctrica: una alternativa para el transporte sostenible.	38
1.9 Proceso de implementación	42
1.10 Implementación de un motor eléctrico sobre el chasis de una motocicleta vespa.....	42



1.12	Características de los motores eléctricos.....	43
1.13	Montaje de un sistema eléctrico.....	43
1.14	Uso de las motocicletas eléctricas.....	45
1.15	Parámetros de selección de un motor eléctrico.....	47
<i>CAPÍTULO II</i>		50
<i>MATERIALES Y MÉTODOS</i>		50
2.1 Enfoque y tipo de investigación		50
2.2 Materiales		50
2.2.1	Motor 4kW ac.....	51
2.2.2	Inversor y Controlador de Motor	52
2.2.3	Batería de LiFePO4	52
2.3 Métodos		53
2.3.1	Dimensionamiento.....	55
2.3.2	Selección del motor	58
2.3.3	Selección de la batería	58
2.3.4	Selección del controlador.....	59
2.3.5	Diseño del soporte del nuevo sistema	60
2.3.5.3	Reemplazo o modificación del sistema de transmisión	62
<i>CAPITULO III</i>		64
<i>RESULTADOS Y ANÁLISIS</i>		64
3.1 Implementación de los nuevos sistemas		65
3.1.1	Adaptación de una nueva estructura.....	65
3.1.2	Adaptación del amortiguador.....	66
3.1.3	Sistema de transmisión	67
3.1.4	Controlador del motor (ESC).....	68



3.1.5 Sistema de baterías	69
3.1.6 Moto generador.....	70
3.1.7 Integración de un inversor de corriente para control y eficiencia del sistema.....	70
3.1.8 Soporte estructural y montaje	71
3.1.9 Sistema de frenos.....	73
3.1.10 Controles	74
3.1.11 Ajustes finales y pruebas funcionales	76
3.2 Desempeño dinámico y análisis de torque y potencia.....	77
3.3 Comparación del desempeño entre la motocicleta eléctrica y la motocicleta de combustión.....	81
3.4 Consumo energético y autonomía en condiciones reales de operación	83
3.5 Evaluación de la Eficiencia, Relación Peso-Potencia y Autonomía de la Motocicleta Eléctrica Convertida.....	86
3.5.1 Eficiencia del Sistema de Propulsión Eléctrica	86
3.5.2 Relación Peso-Potencia y Desempeño Dinámico.....	87
3.5.3 Autonomía en Condiciones Reales de Operación	88
<i>CAPITULO IV</i>	89
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	89
4.1. Conclusiones.....	89
4.2. Recomendaciones.....	89
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	103
<i>ANEXOS</i>.....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>





ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ventajas y desventajas de los motores sin escobillas</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2. Ventajas y desventajas de los motores de renuencia conmutados... 38</i>	
<i>Tabla 3. Comparacion general entre motocicletas de la marca super soco . 46</i>	
<i>Tabla 4. Materiales, equipos y software a emplear en la investigación..... 51</i>	
<i>Tabla 5. Parámetros de la motocicleta..... 55</i>	
<i>Tabla 6. Coeficientes aerodinámicos 56</i>	
<i>Tabla 7. Especificaciones del motor 58</i>	



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Circuito eléctrico general de una motocicleta eléctrica.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2. Motor de tracción eléctrica.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3. Diseño de control básico de un motor eléctrico.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4. Motocicleta eléctrica.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5. Diagrama de flujo.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 6. Propiedades baterías LiFePO4.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 7. Especificaciones del controlador.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 8. Diagrama del controlador.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 9. Amortiguadores.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 10. Diseño del compartimiento de baterías.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 11. Diagrama de resultados.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 12. Adaptación de la tijera.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 13. Implementación del amortiguador.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 14. Nuevo sistema de transmisión.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 15. Instalación de la batería.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 16. Ubicación del motor.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 17. Nuevo diseño compartimientos.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 18. Disco ventilado.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 19. Gráficos pasadas en dinamómetro.....</i>	<i>77</i>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ





INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido en el consumo de combustibles en los últimos años ha generado una preocupación creciente en torno al impacto económico y ambiental que este fenómeno acarrea. Esta situación ha motivado el desarrollo y la exploración de alternativas que permitan mejorar el rendimiento de los vehículos y, al mismo tiempo, disminuir la dependencia de combustibles fósiles. Entre dichas alternativas, los moto-generadores se han convertido en una opción relevante debido a su capacidad para aportar energía adicional al sistema motriz, optimizar el funcionamiento del motor y contribuir a un uso más eficiente del combustible.

En el ámbito automotriz, los procesos de innovación tecnológica han girado en torno a dos ejes fundamentales: la conservación de la energía y la reducción de emisiones contaminantes. Estos objetivos han impulsado la búsqueda de sistemas complementarios que permitan reducir cargas al motor, generar energía renovable de manera interna o recuperar parte de la energía que normalmente se desperdicia durante el funcionamiento. Los moto-generadores se insertan en esta lógica, puesto que su incorporación puede mejorar el rendimiento general del vehículo sin alterar significativamente su estructura básica ni aumentar la complejidad del mantenimiento.

En Ecuador, el crecimiento del uso de motocicletas ha sido particularmente acelerado. Este tipo de vehículo se ha convertido en un medio de transporte popular por su accesibilidad, economía y versatilidad, lo que ha incrementado la necesidad de analizar alternativas que mejoren su eficiencia sin elevar de manera considerable los costos para sus usuarios. En este contexto, muchas iniciativas de movilidad sostenible se han orientado hacia tecnologías energéticas complementarias que permitan disminuir el



consumo, aumentar la autonomía y mejorar el comportamiento general del motor en diversas condiciones de operación.

A partir de esta realidad surge el interés por estudiar el funcionamiento de un moto-generator integrado en una motocicleta tipo Vespa, evaluando principalmente su eficiencia en condiciones reales de uso. El análisis toma en cuenta factores propios del entorno local, como la altitud de la ciudad de Ibarra, la cual influye en la combustión y en el desempeño del motor debido a la variación de presión atmosférica. Estas condiciones vuelven pertinente realizar una evaluación técnica que permita identificar cómo se comporta el sistema en un escenario concreto y qué beneficios podría aportar en términos de optimización del consumo.

La investigación se plantea entonces como una oportunidad para comprender el impacto real del uso de moto-generadores en motocicletas de uso cotidiano, considerando tanto el comportamiento del motor como las condiciones ambientales que afectan su desempeño. Con ello se busca aportar información técnica que permita valorar la viabilidad de esta alternativa dentro de las tendencias actuales de eficiencia energética y movilidad sostenible.

Justificación

El propósito de esta investigación surge de la necesidad de modernizar los sistemas de movilidad mediante tecnologías sostenibles que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la eficiencia energética. En este contexto, analizar el funcionamiento de alternativas como los moto-generadores se vuelve fundamental para determinar su aporte al rendimiento de vehículos de uso cotidiano y su viabilidad dentro de la transición hacia soluciones más limpias.



El proyecto se vincula también con el fortalecimiento de la matriz energética del Ecuador, que ha orientado sus esfuerzos hacia la incorporación de tecnologías eléctricas y modelos de movilidad más eficientes. El aumento del interés por vehículos impulsados con energías alternativas evidencia la importancia de examinar su comportamiento real, su autonomía y los beneficios que pueden ofrecer frente a los sistemas tradicionales basados en combustión.

Otro aspecto central es la contribución a la mejora de la calidad del aire en la ciudad de Ibarra, donde el transporte constituye una de las principales fuentes de emisiones contaminantes. Las partículas generadas por motores de combustión afectan directamente la salud de la población, por lo que identificar tecnologías que disminuyan estos impactos se vuelve prioritario. En este sentido, los moto-generadores representan una alternativa capaz de reducir gases y residuos, aportando a un entorno urbano más saludable.

La implementación de sistemas de este tipo puede disminuir de manera significativa los contaminantes asociados al uso de vehículos, lo que refuerza su importancia como una opción para promover una movilidad sostenible y energéticamente eficiente. Al combinar menor impacto ambiental con un mejor desempeño operativo, estas tecnologías pueden impulsar una mayor aceptación entre los usuarios y fortalecer la confianza en soluciones eléctricas o híbridas.

A su vez, este avance tecnológico incrementa la demanda de profesionales capacitados en áreas automotriz, eléctrica y electrónica, ya que el uso de nuevas



tecnologías requiere mantenimiento especializado y actualizaciones constantes.

De esta forma, la investigación no solo aporta al desarrollo de alternativas de movilidad, sino

también al fortalecimiento del sector profesional encargado de implementarlas y sostenerlas en el tiempo.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la eficiencia de moto generadores, producto de la conversión de vehículos con motor de combustión interna a eléctricos.

Objetivos Específicos

- Dimensionar el kit de conversión del moto-generator.
- Implementación del moto-generator en una Vespa (Motocicleta).
- Analizar la eficiencia del moto-generator en la ciudad de Ibarra a 2200 msnm y a una presión atmosférica de 78 (kPa).
- Evaluar la eficiencia, la relación peso-potencia y consecuentemente la autonomía de la motocicleta, producto de la conversión vs una motocicleta eléctrica de fábrica.

Alcance

La motocicleta seleccionada para este proyecto corresponde a una Vespa modelo LML STAR DELUXE de 150 cc, año 2001, a la cual se le reemplazará el tren motriz original por un moto-generator eléctrico SRT5 Sport Version con una potencia máxima



de 4000 watts. Este componente funcionará como el nuevo sistema de propulsión, permitiendo evaluar el desempeño de la motocicleta una vez convertida a un sistema eléctrico.

El moto-generator será instalado en el eje trasero, una ubicación seleccionada por su cercanía directa con la fuente de alimentación, compuesta por una batería de ácido sólido de 72 V y 32 Ah. Esta disposición facilita el tendido de conexiones eléctricas, reduce pérdidas de energía y optimiza la integración entre los componentes que conformarán el nuevo sistema de tracción.

Tras la remoción de los elementos mecánicos originales y la instalación completa del nuevo tren motriz eléctrico, las pruebas se desarrollarán en la ciudad de Ibarra, situada a una altitud aproximada de 2200 msnm. Esta condición geográfica influye en el rendimiento de los vehículos, por lo que constituye un escenario adecuado para evaluar el comportamiento real del moto-generator.

Los análisis de eficiencia serán comparados con una motocicleta Vespa eléctrica fabricada originalmente como tal. Esta comparación permitirá determinar la viabilidad de adaptar un moto-generator a una motocicleta de combustión interna frente a la alternativa de adquirir un modelo 100% eléctrico, evaluando costos, autonomía, rendimiento y comportamiento operativo en condiciones similares.



CAPÍTULO I:

MARCO TEÓRICO

1.1 Eficiencia de un Motor Eléctrico

La eficiencia de un motor eléctrico se concibe como la capacidad del sistema para transformar la energía eléctrica de entrada en energía mecánica útil disponible en el eje, proceso que depende de la interacción precisa entre los campos magnéticos generados en las bobinas y la calidad de los materiales empleados en su construcción [1], a partir de esta idea se reconoce que cualquier pérdida interna afecta directamente el rendimiento del conjunto. La arquitectura del motor, compuesta por un estator encargado de producir el campo magnético y un rotor que responde a dicho campo mediante movimiento, determina la proporción de energía que realmente se convierte en trabajo mecánico observable en el eje, ya que la relación entre la potencia eléctrica suministrada y la potencia mecánica obtenida permite identificar pérdidas por calor, fricción o resistencia eléctrica que condicionan la eficiencia total del sistema [2], en este sentido se interpreta que optimizar estos elementos es fundamental para lograr un funcionamiento energético más efectivo.

1.1.1 Motocicleta Eléctrica

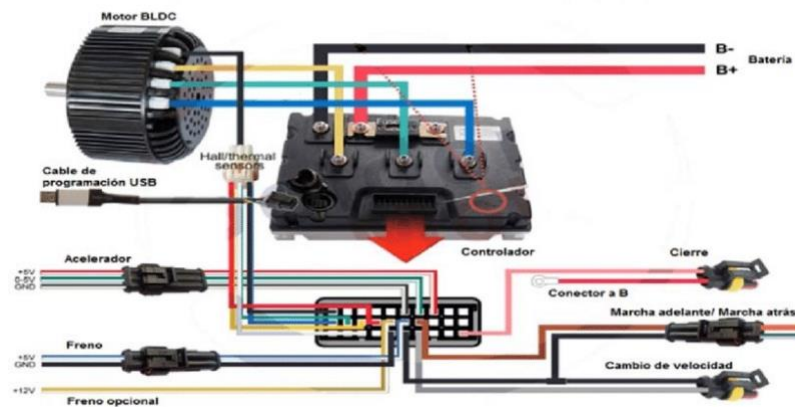
La motocicleta eléctrica se concibe como un medio de transporte que integra movilidad sostenible con prácticas orientadas a la protección ambiental, al basar su funcionamiento en la utilización directa de energía eléctrica para la propulsión del vehículo [3]. A partir de esta idea se reconoce que su desarrollo tecnológico ha experimentado un avance progresivo durante más de dos siglos, lo que ha permitido que los modelos contemporáneos incorporen configuraciones más eficientes, silenciosas y adaptadas a las necesidades urbanas actuales. Bajo este enfoque se distingue que la



ausencia de combustibles fósiles reduce tanto las emisiones directas como los costos de operación, lo que posiciona a este tipo de motocicletas como una alternativa viable frente a los sistemas de movilidad tradicionales que dependen de la combustión interna.

La evolución de estos vehículos también ha permitido integrar sistemas que varían en potencia, tamaño y versatilidad, proporcionando un rango más amplio de prestaciones que responden a distintos contextos de uso cotidiano o de desplazamiento prolongado [4]. En este sentido se interpreta que su capacidad para operar de manera reversible, transformando energía mecánica en eléctrica mediante procesos similares a los de un generador, amplía las posibilidades de recuperación energética durante la conducción. De esta manera se evidencia que la motocicleta eléctrica no solo representa un cambio de tecnología, sino un replanteamiento de la relación entre consumo energético, desempeño y sostenibilidad, marcando una transición hacia modelos de transporte más responsables con el entorno.

Figura 1. Circuito eléctrico general de una motocicleta eléctrica



Nota: Tomado de [5]



1.2 Generador eléctrico

Un generador eléctrico se define como una máquina capaz de convertir energía mecánica en energía eléctrica mediante la acción conjunta de sus componentes internos, proceso que depende de la interacción entre el rotor y el estátor, elementos que permiten crear y transformar un flujo magnético en corriente utilizable [6]. Bajo este enfoque se distingue que la dinámica rotatoria del rotor frente al campo magnético inducido en el estátor constituye la base de operación del dispositivo, ya que la variación continua del flujo genera el movimiento de cargas eléctricas. En este sentido se interpreta que la eficiencia del generador se vincula directamente con la estabilidad del campo magnético y la calidad de los materiales empleados en cada una de sus partes.

El funcionamiento del generador implica la asignación de roles específicos entre sus componentes, puesto que una de las partes actúa como inductor responsable de producir el campo magnético, mientras que la otra opera como inducido encargado de transformarlo en electricidad mediante procesos de inducción electromagnética [7].

A partir de esta idea se reconoce que la precisión mecánica y el alineamiento de los elementos internos son factores determinantes para garantizar la continuidad del flujo energético, lo que evidencia la relevancia del diseño estructural dentro del desempeño global.

1.3 Análisis y diseño de un prototipo funcional de motocicleta eléctrica.

1.3.1 Análisis de requerimiento de potencia

El análisis de requerimiento de potencia constituye un elemento central para determinar la viabilidad funcional de una motocicleta eléctrica, ya que el desempeño del sistema depende de cómo se relacionan la potencia del motor, el peso total del vehículo



y el nivel de autonomía esperado para su uso cotidiano [8]. A partir de esta idea se reconoce que los factores externos como la resistencia aerodinámica, el tipo de terreno o las pendientes presentes en el entorno urbano influyen directamente en la carga que debe enfrentar el motor, por lo que resulta necesario evaluar con precisión la capacidad real del equipo seleccionado. Bajo este enfoque se distingue que el análisis previo no solo orienta la selección de los componentes eléctricos, sino que permite anticipar limitaciones operativas que podrían comprometer la eficiencia del prototipo durante su funcionamiento.

La potencia del motor se define como la capacidad que tiene el sistema para generar el par necesario que impulse el vehículo junto con la masa del conductor y de los elementos instalados, razón por la cual se tomó como referencia el valor proporcionado por el fabricante, equivalente a 4 kW de potencia máxima [9]. En este sentido se interpreta que este nivel de potencia resulta adecuado para un vehículo de características urbanas, especialmente considerando la sustitución del motor de combustión interna y la reducción de masa asociada a la eliminación del tanque de combustible y otros componentes mecánicos. De esta manera se evidencia que la relación entre potencia disponible y demanda energética del vehículo permite establecer un equilibrio entre aceleración, velocidad final y capacidad de respuesta en condiciones variables de circulación, aspectos fundamentales para garantizar un desplazamiento seguro y eficiente.

El cálculo del peso estimado del prototipo y la determinación de la autonomía constituyen los otros dos parámetros esenciales dentro del análisis de requerimientos, ya que ambos influyen directamente en el consumo de energía del sistema eléctrico [10]. A partir de esta idea se reconoce que el peso final aproximado de 105 kg responde a la integración del motor eléctrico y de la batería, cuyo aporte energético, determinado por



una configuración de 72 V y 32 Ah, permite alcanzar una autonomía cercana a los 90 km circulando a una velocidad de 65 km/h. Bajo este enfoque se distingue que la autonomía depende de la relación entre capacidad de almacenamiento y eficiencia del motor, por lo que la selección de la batería constituye un factor decisivo para garantizar un rendimiento adecuado en entornos reales de movilidad. En consecuencia se comprende que la evaluación conjunta de potencia, peso y autonomía permite establecer un marco sólido para el diseño del prototipo y para valorar su comportamiento frente a las demandas operativas de una motocicleta eléctrica.

1.4 Características del motor

Las características del motor constituyen un punto decisivo en el diseño de una motocicleta eléctrica, ya que la selección del dispositivo determina el desempeño, la capacidad de aceleración y la eficiencia energética del prototipo [11]. A partir de esta idea se reconoce que el mercado ofrece motores entre 3 y 20 kW, lo que permite elegir opciones que se ajusten a las necesidades del proyecto. Bajo este enfoque se distingue que la potencia óptima para la conversión se ubica entre 3 y 5 kW, acompañada de un torque mínimo de 7.64 Nm, valores que aseguran un comportamiento estable en condiciones urbanas.

1.5 Definición y esquema conceptual de un vehículo

1.5.1 Motores Eléctricos de tracción.

Los motores eléctricos de tracción se conciben como componentes fundamentales dentro de los sistemas de movilidad actuales, debido a que permiten desplazar un vehículo mediante energía eléctrica sin depender de procesos de combustión que generan emisiones contaminantes, lo que ha impulsado su aceptación dentro de la industria automotriz moderna [12]. A partir de esta idea se reconoce que su incorporación responde



a la búsqueda de tecnologías más limpias y eficientes, ya que los motores de tracción convierten de manera directa la energía almacenada en las baterías en movimiento, reduciendo pérdidas y mejorando el rendimiento frente a los motores convencionales. En este sentido se interpreta que su diseño interno, basado en la interacción de campos magnéticos y partes móviles de menor complejidad, favorece una operación más silenciosa y un mantenimiento menos exigente, lo cual amplía su viabilidad para aplicaciones urbanas. De esta manera se evidencia que la tracción eléctrica no solo representa un cambio en la fuente energética, sino un modelo conceptual distinto de movilidad que transforma la relación entre usuario, vehículo y entorno.

Figura 2. Motor de tracción eléctrica



Nota: Tomado de [13]

1.6 Criterios de selección de motores eléctricos.

La selección de un motor eléctrico de tracción constituye un criterio esencial dentro del diseño de un vehículo, especialmente cuando se trata de modelos orientados al desempeño, ya que este componente determina la capacidad de aceleración, la respuesta en alta velocidad y la estabilidad operativa del sistema [14]. A partir de esta idea se reconoce que elegir un motor adecuado implica evaluar potencia, torque y eficiencia,



variables que condicionan directamente el comportamiento dinámico del prototipo en escenarios de exigencia.

1.6.1 Panorama en transformación energética y electromovilidad

La transformación energética mundial se percibe como un proceso que ha reconfigurado la manera en que los países producen, distribuyen y consumen energía, impulsando una transición acelerada hacia tecnologías que reduzcan la dependencia de combustibles fósiles y fortalezcan la movilidad sostenible mediante alternativas eléctricas cada vez más accesibles [15]. A partir de esta idea se reconoce que el crecimiento de la electromovilidad no depende únicamente del avance tecnológico de los vehículos, sino de la capacidad de cada nación para sostener una matriz energética limpia y eficiente. Bajo este enfoque se distingue que las regulaciones nacionales relacionadas con generación, transmisión y uso de energía tienen efectos directos en la expansión del sector, pues determinan costos, incentivos y disponibilidad eléctrica para nuevos proyectos.

El desarrollo del ecosistema de la electromovilidad se articula con la infraestructura energética existente, ya que la incorporación masiva de vehículos eléctricos exige una red estable, confiable y capaz de suplir una demanda creciente, especialmente en zonas urbanas donde la movilidad es un factor decisivo para la calidad de vida [16]. En este sentido se interpreta que la planificación energética debe adelantarse a las necesidades futuras, considerando tanto el aumento de estaciones de carga como la generación suficiente para abastecerlas. A partir de esta idea se reconoce que los países que diversifican sus fuentes mediante energía solar, eólica o hidroeléctrica tienden a consolidar con mayor rapidez los sistemas de transporte eléctrico, debido a que logran reducir costos operativos y mejorar la sostenibilidad del sector.



El caso ecuatoriano refleja una transición que ha comenzado a consolidarse a partir de proyectos estatales orientados a fortalecer la matriz energética mediante inversiones estratégicas, como los fondos obtenidos a través de organismos multilaterales que destinan recursos para la mejora del sistema eléctrico nacional [17]. Bajo este enfoque se distingue que la obtención de financiamiento internacional no solo permite ampliar la infraestructura energética, sino que introduce compromisos ambientales que incentivan la reducción de emisiones. En este sentido se interpreta que estos proyectos actúan como catalizadores para renovar estructuras productivas y promover la adopción de tecnologías limpias en sectores de alto impacto como transporte, industria y movilidad pública.

El compromiso del país por reducir sus emisiones se relaciona con decisiones políticas y técnicas que buscan acelerar la implementación de energías renovables, mejorar la eficiencia de la red eléctrica y fomentar la incorporación progresiva de vehículos eléctricos en actividades cotidianas [18]. A partir de esta idea se reconoce que la meta de alcanzar una disminución significativa de gases de efecto invernadero exige una planificación coherente con la realidad nacional, considerando la capacidad de inversión, la sensibilidad del mercado y las necesidades del usuario final. De esta manera se evidencia que la electromovilidad no opera de manera aislada, sino como parte de una estrategia más amplia que involucra transporte, economía circular y desarrollo tecnológico.

Las proyecciones internacionales muestran que el futuro de la electromovilidad depende en gran medida de la sostenibilidad de sus componentes, especialmente de las baterías que impulsan los vehículos eléctricos, las cuales requieren materiales críticos cuya extracción y tratamiento generan impactos ambientales relevantes [19]. En este sentido se interpreta que el reto no radica únicamente en fabricar baterías más eficientes,



sino en establecer métodos de reciclaje que permitan extender su vida útil y recuperar materiales valiosos. Bajo este enfoque se distingue que la economía circular aplicada al sector energético constituye una alternativa para reducir la presión sobre los recursos naturales y garantizar que la movilidad eléctrica mantenga un perfil verdaderamente sostenible.

El panorama proyectado hacia mediados de siglo sugiere un crecimiento significativo en la producción de baterías sostenibles, acompañado por mejoras en los sistemas de almacenamiento energético y en la reducción de emisiones totales asociadas al ciclo de vida de los vehículos eléctricos [20]. A partir de esta idea se reconoce que la articulación entre políticas públicas, innovación industrial y participación del sector privado será esencial para alcanzar estos objetivos, especialmente en regiones donde la infraestructura actual aún es limitada. En consecuencia se comprende que la electromovilidad se consolidará como un componente central de la transición energética global, siempre que los avances tecnológicos se acompañen de estrategias que aseguren su integración responsable en el entorno social, económico y ambiental.

1.7 Motor eléctrico

1.7.1 Motor de Corriente Continua sin Escobillas

El motor Brushless Direct Current, conocido comúnmente como BLDC, se concibe como una variante de motor eléctrico que prescinde del uso de escobillas y que ha sido diseñada para alcanzar un rendimiento superior en comparación con los motores tradicionales de corriente continua [21]. A partir de esta idea se reconoce que su funcionamiento se basa en la interacción precisa entre un rotor con imanes permanentes y un estator controlado electrónicamente, lo que permite eliminar los elementos de fricción y desgaste característicos de las escobillas. Bajo este enfoque se distingue que la



ausencia de contacto mecánico interno incrementa la eficiencia energética, reduce la generación de calor y prolonga la vida útil del motor, factores que lo convierten en una opción atractiva para aplicaciones que requieren estabilidad operativa y alta confiabilidad. En este sentido se interpreta que estas características han impulsado su adopción en sectores donde la precisión, el control y la respuesta dinámica son esenciales, especialmente en entornos donde la variación de velocidad y el manejo de cargas cambiantes son parte constante del funcionamiento cotidiano.

La popularidad del motor BLDC en ámbitos industriales y en sistemas de tracción responde a su capacidad para entregar un desempeño constante bajo condiciones exigentes, manteniendo un equilibrio favorable entre potencia, torque y eficiencia eléctrica [22]. A partir de esta idea se reconoce que el control electrónico que regula su operación permite ajustar la velocidad de manera más fina, lo cual se traduce en una gestión óptima del consumo energético y en una respuesta inmediata a las variaciones de carga. De esta manera se evidencia que el diseño libre de escobillas no solo mejora el rendimiento general del sistema, sino que reduce significativamente los requerimientos de mantenimiento, un aspecto determinante para aplicaciones en movilidad eléctrica, automatización industrial y sistemas donde la continuidad operativa es prioritaria. Bajo este enfoque se distingue que la versatilidad del motor BLDC permite integrarlo en prototipos y vehículos eléctricos con resultados eficientes, estables y técnicamente superiores frente a otras alternativas.



Tabla 1. Ventajas y desventajas de los motores sin escobillas

Ventajas	Desventajas
Menor desgaste al no poseer escobillas	Mayor vibración a bajas revoluciones
Alta potencia de tracción	Precios altos
Tamaño reducido	Requisitos altos del controlador

Nota: Elaboración propia.

1.7.2 Motor de Reluctancia Conmutado

El motor de reluctancia conmutado se concibe como un dispositivo eléctrico cuya estructura se fundamenta en un rotor sólido con polos salientes fabricado normalmente en acero magnético blando, lo que le permite responder de manera eficiente a los cambios de flujo generados por el estator durante su operación [23]. A partir de esta idea se reconoce que su principio de funcionamiento depende de la energización secuencial de los devanados del estator, ya que cada vez que una bobina es activada se genera una fuerza magnética que intenta alinear los polos del rotor con los polos activos del estator, creando un movimiento característico basado en el desplazamiento hacia la ruta de menor reluctancia. En este sentido se interpreta que el movimiento continuo del motor no se logra únicamente con la acción magnética, sino con la intervención de un sistema de control electrónico capaz de medir los ángulos relativos entre rotor y estator, conmutando los devanados de manera precisa para mantener el desalineamiento necesario que garantiza la rotación sostenida. Bajo este enfoque se distingue que la simplicidad mecánica del rotor combinada con la complejidad del control hace que este tipo de motor resulte robusto, confiable y adecuado para aplicaciones donde se requiere un comportamiento dinámico estable bajo variaciones de carga.



Tabla 2. Ventajas y desventajas de los motores de renuencia conmutados

Ventajas	Desventajas
Alto par de arranque	Gran ondulación de par
Alta eficiencia y confiabilidad	Niveles de ruido
construcción simple	Vibraciones elevadas

Nota: Elaboración propia.

1.8 Diseño y construcción de una motocicleta eléctrica: una alternativa para el transporte sostenible.

1.8.1 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño para un sistema de propulsión eléctrica se conciben como un conjunto de variables interrelacionadas que determinan la configuración final del tren motriz y su capacidad para responder a las demandas operativas del vehículo, entre las que destacan el peso de los componentes, las especificaciones del motor, la fuente de energía disponible y la relación de transmisión elegida para transferir el par hacia las ruedas [24]. A partir de esta idea se reconoce que la determinación de la potencia entregada por el generador y la potencia útil proveniente de la batería exige un análisis detallado de sus proporciones, ya que estas influyen de manera directa en el rendimiento del vehículo y en la eficiencia del consumo energético. En este sentido se interpreta que la relación de transmisión debe ajustarse para equilibrar torque y velocidad según las necesidades del prototipo, lo que implica calcular el par disponible en el eje, estimar la velocidad final esperada y establecer un alineamiento adecuado entre el motor y la carga mecánica. Bajo este enfoque se distingue que el peso del sistema de propulsión no es un dato accesorio, sino una variable estructural que condiciona la aceleración, la estabilidad

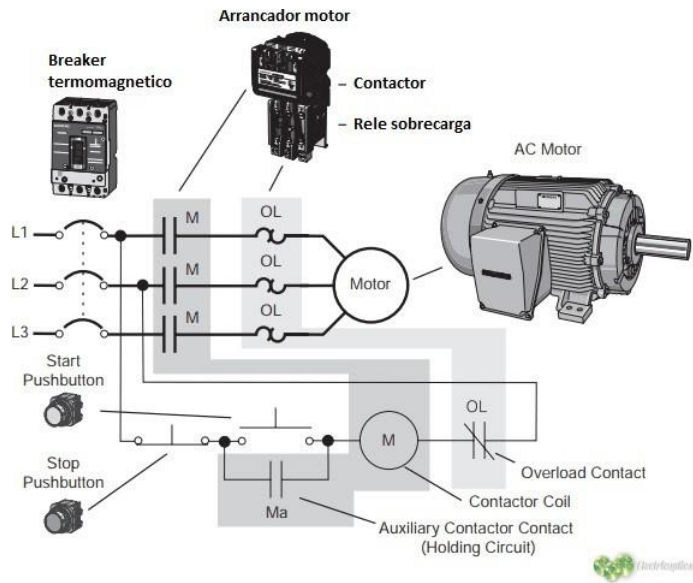


y la autonomía final, por lo que su determinación requiere considerar cómo interactúan batería, motor y controlador dentro del conjunto general del vehículo.

El interés por fortalecer la comprensión de estos requerimientos técnicos se vincula con la necesidad de integrar perspectivas ambientales que influyen en la adopción de vehículos eléctricos, ya que la movilidad sostenible no se define únicamente por el desempeño mecánico, sino también por los factores sociales que condicionan la intención de compra de los usuarios [25]. A partir de esta idea se reconoce que conceptos como conciencia ecológica, preocupación ambiental y valoración del impacto energético constituyen elementos que moldean la percepción pública sobre la utilidad de una motocicleta eléctrica. En este sentido se interpreta que, desde el modelo de difusión de innovaciones, la compatibilidad con hábitos previos, la visibilidad del beneficio tecnológico y la complejidad percibida del vehículo actúan como variables mediadoras que fortalecen o debilitan la aceptación del producto. Bajo este enfoque se distingue que la ingeniería del sistema eléctrico debe ir acompañada de estrategias de diseño y comunicación que atiendan estas percepciones, pues la integración entre eficiencia técnica y aceptación social determina la viabilidad real del prototipo dentro del mercado.



Figura 3. Diseño de control básico de un motor eléctrico



Nota: Tomado de [26]

1.8.3 Concepto de diseño

El concepto de diseño de los vehículos eléctricos se sostiene en la sustitución completa del motor de combustión interna por sistemas de propulsión basados en motores eléctricos que funcionan a partir de energía almacenada en baterías, lo que redefine tanto la arquitectura interna como el comportamiento operativo del vehículo [27]. En este sentido se interpreta que esta transición tecnológica reduce la complejidad mecánica tradicional y permite una transmisión de energía más directa y eficiente, lo que modifica la forma en que el vehículo responde a diferentes condiciones de uso. Dentro de este marco se distingue que la ausencia de procesos de combustión disminuye pérdidas energéticas, incrementa la eficiencia y transforma la relación entre consumo, potencia y movilidad.

Las baterías de iones de litio constituyen el núcleo energético de este diseño, al proporcionar una densidad de energía superior que permite almacenar mayor capacidad



en un volumen compacto, lo cual resulta determinante para la autonomía del vehículo [28]. A la luz de esta condición se percibe que estas baterías no solo incrementan la eficiencia del conjunto, sino que aportan estabilidad térmica y una vida útil prolongada, lo que mejora la confiabilidad del sistema eléctrico. Tomando en cuenta este comportamiento se aprecia que su aplicación en motocicletas y automóviles eléctricos se ha consolidado gracias a su balance entre peso, rendimiento y durabilidad, elementos esenciales en la movilidad contemporánea.

Pese a sus avances, el diseño de vehículos eléctricos aún enfrenta desafíos relevantes asociados a la autonomía, el tiempo de carga y el costo del paquete de baterías, variables que condicionan la adopción masiva de estas tecnologías [29]. Al examinar este aspecto se entiende que la autonomía limitada continúa siendo un punto sensible para los usuarios, especialmente en desplazamientos largos o en contextos donde las estaciones de carga son escasas. Frente a este escenario se deduce que las innovaciones deben orientarse hacia la optimización de sistemas de gestión energética y el desarrollo de tecnologías que permitan aprovechar mejor la capacidad disponible sin comprometer la integridad de las baterías.

El tiempo de carga constituye otro componente decisivo dentro del diseño conceptual, ya que determina la practicidad del vehículo en la vida diaria [30]. Desde este ángulo se valora que la investigación reciente busca disminuir estos tiempos mediante procesos de carga rápida que no deterioren la vida útil de la batería ni generen riesgos adicionales. Asociando estos elementos se distingue que el elevado costo del paquete de baterías sigue siendo una barrera para la expansión del mercado, lo que ha impulsado estudios sobre manufactura más eficiente, materiales alternativos y esquemas de reciclaje que permitan obtener una cadena de suministro más sostenible y accesible.



1.9 Proceso de implementación

El proceso de implementación de sistemas de intercambio de baterías para motocicletas eléctricas se concibe como una etapa estratégica que requiere definir puntos específicos donde los usuarios puedan reemplazar de manera rápida y segura sus paquetes energéticos mediante mecanismos semiautomáticos diseñados para facilitar la operación manual del conductor [31]. En este sentido se interpreta que la estandarización tecnológica resulta indispensable para asegurar compatibilidad entre distintos fabricantes, lo cual explica las alianzas establecidas por diversas compañías del sector con el fin de desarrollar baterías intercambiables que mantengan un desempeño uniforme en diferentes modelos. Bajo esta perspectiva se observa que este enfoque no solo optimiza la movilidad eléctrica, sino que reduce tiempos de recarga y mejora la experiencia de uso.

1.10 Implementación de un motor eléctrico sobre el chasis de una motocicleta vespa.

1.10.1 Análisis del sistema electrónico a ser implementado.

Es importante desarrollar un sistema de carga para EMC. La distribución adecuada de las estaciones de carga, la gestión del tiempo de carga y la optimización de los cargadores siguen siendo temas clave que deben abordarse y que se están investigando. La mayoría de los estudios sobre la carga de vehículos eléctricos se han centrado en los efectos sobre las redes. Según [32] en Tailandia, la mayoría de los edificios prefieren instalar sistemas fotovoltaicos (PV) para reducir los costos de electricidad durante el día. El sistema fotovoltaico es una de las fuentes de alimentación con un inversor, que es un dispositivo de conmutación, que puede causar interferencias.

1.11 Control electrónico de un moto-generador.

El control electrónico de un moto-generador se concibe como un sistema avanzado que regula el comportamiento de motores de corriente continua mediante la



gestión precisa del campo del generador, lo que permite modificar su funcionamiento en función de las necesidades operativas del vehículo y optimizar la respuesta dinámica del conjunto [33]. Bajo esta perspectiva se observa que este tipo de control posibilita transiciones de velocidad más suaves tanto en el sentido de avance como en el de retroceso, integrando además un frenado regenerativo automático que recupera energía cuando la velocidad disminuye. Al analizar este planteamiento se nota que estas características responden a la necesidad de desarrollar soluciones eléctricas ante la creciente escasez de combustibles convencionales, lo cual ha impulsado investigaciones orientadas a motores de tracción más eficientes.

1.12 Características de los motores eléctricos.

Las características de los motores eléctricos se vinculan con su capacidad para alcanzar altos niveles de eficiencia y operar con una estructura mecánica más simple que la de los motores de combustión interna, al prescindir de sistemas complejos como ejes, poleas y correas [34]. Desde esta posición se advierte que esta reducción de componentes disminuye pérdidas energéticas y facilita el mantenimiento, lo que refuerza su utilidad en aplicaciones donde se prioriza estabilidad y economía operativa.

1.13 Montaje de un sistema eléctrico.

Los vehículos eléctricos utilizan motores de tracción alimentados por la energía almacenada en baterías, lo que redefine la forma en que se genera y se transmite la potencia necesaria para poner en movimiento un vehículo, especialmente en comparación con los modelos tradicionales basados en combustibles fósiles [35]. Bajo esta perspectiva se observa que el motor recibe la energía eléctrica directamente desde la batería y la convierte en potencia mecánica mediante un sistema de transmisión que se ajusta a las demandas de velocidad, torque y eficiencia requeridas durante el desplazamiento. A la



luz de esta condición se percibe que este proceso de conversión elimina la necesidad de combustión interna, lo que reduce las pérdidas asociadas a calor, fricción y vibración, favoreciendo así una movilidad más limpia y silenciosa. Desde este ángulo se valora que la estructura del motor eléctrico permite un control más preciso sobre la entrega de potencia, lo que se traduce en una conducción más estable, una respuesta inmediata ante variaciones de carga y un comportamiento predecible en distintos entornos urbanos o interurbanos.

La característica distintiva de los vehículos eléctricos es su contribución directa a la reducción de emisiones contaminantes, pues no requieren combustibles como gasolina o diésel para operar, lo que los posiciona como alternativas que promueven una movilidad ambientalmente responsable [36]. Considerando esta interacción se revela que la ausencia de emisiones en el punto de uso permite disminuir la concentración de gases nocivos en áreas urbanas, mejorando la calidad del aire y reduciendo los efectos derivados del tráfico convencional. En relación con lo anterior se infiere que esta transición energética responde también a factores económicos, ya que el costo por kilómetro recorrido tiende a ser menor en comparación con vehículos de combustión interna debido a la eficiencia superior del motor eléctrico y al menor costo de la electricidad respecto a los combustibles fósiles. Articulando este concepto se aclara que la estructura simplificada del motor eléctrico, con menos partes móviles, reduce significativamente los requerimientos de mantenimiento, lo que incrementa la confiabilidad del sistema y prolonga su vida útil.

En la operación de vehículos eléctricos se emplean motores de corriente alterna o corriente continua, cada uno con características que se ajustan a las necesidades específicas de tracción, respuesta dinámica y gestión energética según el tipo de vehículo [37]. Retomando este planteamiento se observa que los motores de CA suelen ofrecer



mayor eficiencia en aplicaciones de alta potencia, mientras que los de CC proporcionan una respuesta más inmediata en condiciones de arranque y aceleración, lo que los vuelve adecuados para motocicletas eléctricas y vehículos compactos. Contrastando estas variables se identifica que la elección del tipo de motor depende de factores como autonomía deseada, capacidad de carga, topografía del entorno y velocidad requerida, lo que obliga a evaluar cuidadosamente las condiciones de uso previstas antes de seleccionar el sistema adecuado. Revisando su funcionamiento se deduce que la combinación de motores eficientes con baterías de alta capacidad y sistemas de gestión energética avanzados permite consolidar un ecosistema de electromovilidad más seguro, confiable y adaptable a las demandas actuales de transporte personal y profesional.

1.14 Uso de las motocicletas eléctricas.

El propósito de esta investigación se centra en analizar los determinantes que influyen en la intención de utilizar motocicletas eléctricas cuando el usuario proviene de una experiencia previa con un vehículo de combustión interna, lo que permite comprender las motivaciones y percepciones asociadas al cambio tecnológico [38]. Bajo esta perspectiva se observa que la incorporación de variables sociodemográficas ofrece una lectura más completa del fenómeno, ya que factores como edad, nivel educativo o ingreso pueden modificar la disposición hacia la adopción de nuevas formas de movilidad. Desde este ángulo se valora que en los países de ingresos bajos y medianos la investigación sobre vehículos eléctricos ha sido limitada, lo que genera un vacío teórico y práctico que debe ser atendido. En tal contexto se manifiesta que este estudio adquiere relevancia tanto por su aporte conceptual como por su utilidad para orientar la transición de motocicletas tradicionales hacia sistemas eléctricos de uso real.



Figura 4. Motocicleta eléctrica



Nota: Tomado de [39]

1.14.1 Motocicletas eléctricas en el Ecuador.

Las motocicletas eléctricas en el Ecuador se insertan en un contexto de crecimiento constante del parque automotor, fenómeno que ha incrementado la presencia de este tipo de vehículos en regiones urbanas y periurbanas del país [40]. Desde esta lectura se proyecta que el aumento sostenido en la adquisición de motocicletas demuestra un interés creciente por alternativas de movilidad más accesibles y eficientes, lo que perfila a este sector como un componente relevante en las tendencias de transporte nacional. Considerando esta interacción se revela que las motocicletas eléctricas podrían consolidarse como una opción estratégica dentro de la transición energética ecuatoriana.

Tabla 3. Comparacion general entre motocicletas de la marca super soco

Marca	Velocidad	Potencia
Super Soco	95 [Km/h]	5000 [W]
CUX	60 [Km/h]	2000 [W]
CPX	90 [Km/h]	4000 [W]
TS	45 [Km/h]	2000 [W]
TSX	65 [Km/h]	3000 [W]
TC PRO Limited	90 Km/h]	5000

Nota: Elaboración propia.



1.15 Parámetros de selección de un motor eléctrico.

La selección de un motor eléctrico requiere considerar parámetros que influyen de manera directa en el desempeño final del vehículo, entre los cuales destacan la potencia disponible, la autonomía esperada y la construcción interna del sistema, factores que permiten determinar la compatibilidad entre el motor y las exigencias operativas del entorno de uso [41]. En coherencia con lo descrito se detalla que la capacidad de la batería adquiere un rol determinante cuando se convierte un vehículo de combustión en uno eléctrico, ya que su tamaño y densidad energética condicionan tanto el peso total del sistema como el alcance del recorrido. En referencia a este proceso se evidencia que los costos asociados a vehículos eléctricos pueden elevarse debido al tamaño de las baterías necesarias para lograr autonomías competitivas, situación identificada en análisis técnicos que muestran cómo este aspecto explica parte de su limitada popularidad en ciertos mercados.

1.16 Selección del motor eléctrico.

La selección del motor eléctrico para este proyecto responde a la necesidad de garantizar un equilibrio adecuado entre potencia, torque y autonomía, considerando las condiciones reales de operación de una motocicleta convertida desde un sistema de combustión interna hacia uno totalmente eléctrico. El rango de potencia elegido, entre 3 y 5 kW, permite obtener un desempeño estable en desplazamientos urbanos y periurbanos, mientras que el torque mínimo de 7,64 Nm asegura una respuesta dinámica suficiente para iniciar la marcha con eficiencia y mantener la estabilidad en pendientes moderadas. La autonomía estimada, cercana a los 90 km a una velocidad constante de 65 km/h, resulta coherente con los requerimientos de movilidad cotidiana y permite valorar este motor



como una alternativa viable para recorridos habituales sin comprometer la funcionalidad del vehículo.

1.16.1. Diseño, conversión y adaptación de una motocicleta de 150 c.c. con motor a gasolina en eléctrica

La conversión de una motocicleta de 150 c.c. de gasolina a un sistema totalmente eléctrico se plantea como una respuesta técnica frente al impacto ambiental generado por motores de combustión interna, especialmente en ciudades donde la motocicleta es el principal medio de transporte [42]. Desde esta perspectiva se aprecia que diversos estudios internacionales han evidenciado la relación directa entre el uso masivo de motocicletas y el incremento de contaminantes atmosféricos, lo que obliga a explorar alternativas sostenibles. Bajo esta lectura se percibe que la electrificación de unidades existentes permite reducir emisiones sin necesidad de fabricar nuevos vehículos, lo que optimiza recursos y disminuye la huella ecológica asociada a la producción industrial.

El proceso de diseño y adaptación requiere un análisis minucioso de la estructura original del vehículo para determinar qué elementos deben ser reemplazados o modificados, como el motor de combustión interna, el sistema de escape y el tanque de combustible [43]. A partir de esta base se advierte que la instalación de un motor eléctrico, una batería de alta densidad energética y un controlador demanda ajustes en el chasis, la distribución de pesos y la gestión térmica para evitar pérdidas de estabilidad. Desde esta posición se distingue que la correcta integración de estos componentes garantiza que el vehículo convertido mantenga una conducción segura y un rendimiento adecuado para el uso cotidiano.



La experiencia documentada en distintos países muestra que la electrificación de motocicletas es técnicamente viable y aporta beneficios ambientales y económicos, especialmente en entornos urbanos donde los recorridos suelen ser cortos y frecuentes [44]. Conforme a esta observación se evidencia que los vehículos convertidos presentan menores costos operativos, reducen significativamente el nivel de ruido y eliminan por completo las emisiones en el punto de uso. En función de estos resultados se reconoce que las iniciativas de conversión no solo modernizan la movilidad ligera, sino que también fortalecen la transición hacia sistemas energéticos más limpios y eficientes.



CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Enfoque y tipo de investigación:

El segundo capítulo de este proyecto detalla el proceso de conversión de una motocicleta de combustión interna a eléctrica, destacando la preservación de componentes originales y la adaptación estructural necesaria. Se inicia con el desmontaje de la motocicleta proporcionada por la Universidad Técnica del Norte, abordando desde accesorios hasta el motor de combustión. La instalación de componentes eléctricos se enfoca en la ubicación estratégica del motor BLDC, el controlador y las baterías, con ajustes en la estructura del chasis para una integración eficiente. Se explora la integración de la cadena cinemática original o si en el caso de ser necesario implementar un nuevo kit de arrastre adecuado para el diseño, además de la instalación de un panel digital, destacando la adopción de componentes LED para reducir el consumo de la batería.

La investigación que se usó en este proyecto es una derivación de una investigación aplicada, ya que este tipo de investigación comprende importantes aspectos técnicos, económicos y ambientales,

2.2 Materiales

La selección de materiales y dispositivos eléctricos a utilizar en la motocicleta eléctrica es de gran importancia para poder garantizar un rendimiento adecuado y una operación fluida, debemos considerar que en la selección de materiales y dispositivos eléctricos se deberán utilizar materiales resistentes, fiables y regulados de tal manera que la implementación sea adecuada en todos los aspectos de la conducción.

Los materiales que serán implementados son los siguientes:



Tabla 4. Materiales, equipos y software a emplear en la investigación.

Materiales	Cantidad
Motor eléctrico BLDC trifásico de 4000 W	1
Controlador de motor 4kW	1
Inversor DC/AC	1
Convertidor DC/DC	1
Batería LiFePO4 (48V)	1
Cargador de batería	1
Panel de instrumentos digital	1
Harnes de conexiones	1
Amortiguadores	2

Nota: Elaboración.

2.2.1 Motor 4kW ac

El motor de 4 kW AC que va a ser implementado es un motor eléctrico de corriente alterna con una potencia nominal de 4 kilovatios de aproximadamente 5.36 HP. Este motor trifásico está diseñado para aplicaciones industriales o domésticas como bombas, ventiladores o maquinaria ligera como lo es la motocicleta vespa. La operación de este motor oscila en voltajes de 230V o 400V, además de ser capaz de desarrollar una eficiencia típica del 85-90%. Su construcción robusta que incluye un estator, rotor y carcasa, nos proporciona un funcionamiento confiable, bajo mantenimiento y buena capacidad de torque.



2.2.2 Inversor y Controlador de Motor

El sistema de propulsión requiere un controlador electrónico especializado (ESC o VESC) encargado de convertir la corriente continua suministrada por la batería de 72 V en corriente alterna trifásica modulada, necesaria para accionar el motor BLDC de 4 kW. Este controlador regula la entrega de potencia mediante técnicas de conmutación electrónica, permitiendo ajustar la velocidad, el torque y el sentido de giro del motor con alta precisión. Asimismo, incorpora funciones de protección contra sobrecorrientes, sobrecalentamiento y fallos eléctricos, además de gestionar características avanzadas como el arranque suave, la respuesta progresiva al acelerador y el frenado regenerativo. Su integración asegura el funcionamiento sincrónico de todos los componentes eléctricos y garantiza una operación eficiente y estable del sistema de tracción.

Por otra parte, el controlador es un módulo de control dedicado que regula el funcionamiento del motor mediante señales al inversor. Permite ajustes precisos de velocidad, sentido de giro y modos de operación, que al comunicarse con sensores y sistemas de automatización hacen que todo el sistema trabaje de manera sincrónica.

2.2.3 Batería de LiFePO4

La batería de fosfato de hierro y litio con su acrónimo (LiFePO₄) está diseñada para ser una fuente de energía recargable la cual vamos a implementar en el sistema con el fin de alimentar el inversor y el controlador. Esta batería tiene una capacidad de 48V y 50Ah. Gracias a su alta densidad energética y ciclo de vida alto rendimiento entre carga y descarga de entre 2000 y 5000 ciclos, nos brinda seguridad y fiabilidad. Consideramos utilizar esta batería ya que es ideal para sistemas industriales o móviles como lo es el caso de la motocicleta VESPA.

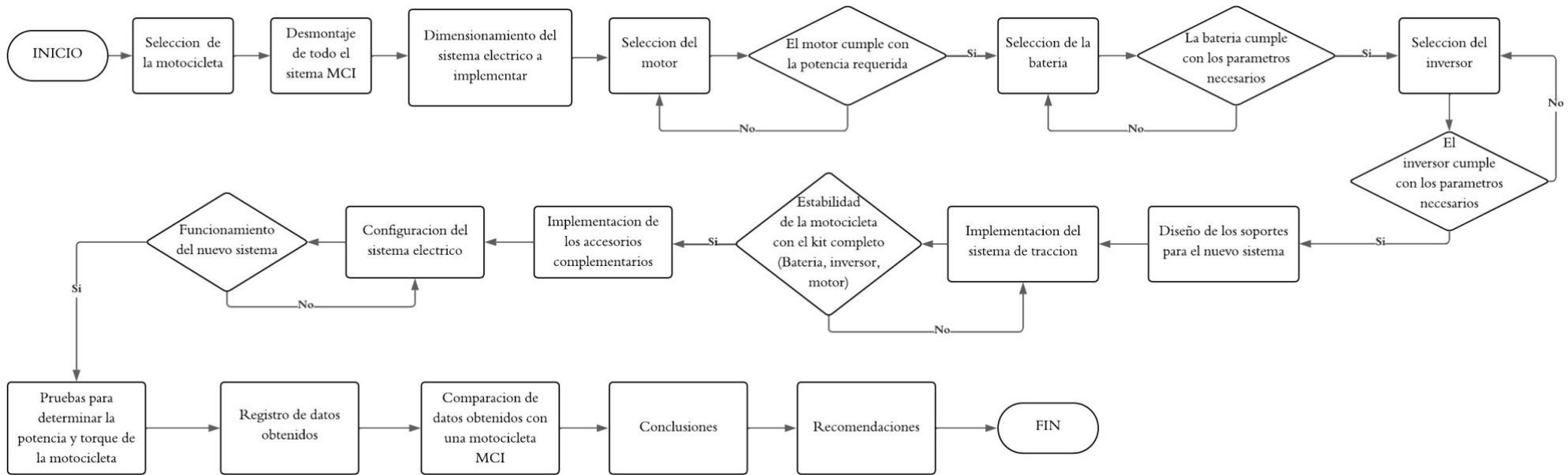


2.3 Métodos

A continuación en el siguiente flujograma se puede observar el proceso de manera específica en la conversión de una motocicleta de combustión interna a una eléctrica, además mediante este diagrama de flujo se logra conocer progresivamente la implementación de un sistema de propulsión eléctrica.



Figura 5. Diagrama de flujo



Nota: Elaboración propia.



2.3.1 Dimensionamiento

Al momento de calcular la potencia requerida de una motocicleta, se debe tomar en cuenta los análisis detallados de cada una de las fuerzas externas que puede estar relacionado todo el sistema.

Tabla 5. Parámetros de la motocicleta

Parámetros de la motocicleta	
Altura	1.43 m
Ancho	0.60 m
Carga	150 kg
Peso del vehículo	110 kg
Velocidad max	45 km/h

$$\text{Area total} = a \times h$$

$$\text{Area total} = 1.43 \text{ m} * 0.60 \text{ m}$$

$$\text{Area total} = 0.858 \text{ m}^2$$

$$\text{Area de la silueta} = 392418,94 \text{ mm}^2$$

$$Kf = \frac{\text{Area de la silueta}}{\text{Area total}}$$

$$Kf = \frac{392418,94 \text{ mm}^2}{858000 \text{ mm}^2}$$

$$Kf = 0.45$$



Tabla 6. Coeficientes aerodinámicos

Coeficientes aerodinámicos

Motos	0,6 – 0,7
SUV	0,5- 0,6
Autobuses	0,6 -0,7
Camiones	0,8 -1.5

Resistencia Aerodinámica

$$F_a = \frac{1}{2} \rho \times C_x \times A \times V^2$$

Donde:

F_a = Resistencia Aerodinamica

ρ = densidad del aire

C_x = Coeficiente de forma

A = Área

V = Velocidad

$$F_a = \frac{1}{2} (0,949 \frac{kg}{m^3}) \times (0,7) \times (0,858m^2) \times (0,45) \times (12,5 \frac{m}{s})^2$$

$$F_a = 20,03 \text{ N}$$

$$F_{rr} = \cos \alpha \times f_{rr} \times m \times g$$

$$F_{rr} = \cos (2,86) \times (0,012) \times (260 \text{ kg}) \times 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{rr} = 30,53 \text{ N}$$

$$F_m = m \times a \times \alpha$$

F_m = Resistencias de masas

A = Aceleración



$$\alpha = \text{Angulo de inclinacion}$$

$$F_m = 260 \text{ kg} \times 1,85 \times 0,06$$

$$F_m = 28,6 \text{ N}$$

$$F_p = \sin \alpha \times m \times g$$

$$F_p = \text{resistencia de pendiente}$$

$$\alpha = \text{angulo de inclinacion}$$

$$m = \text{masa}$$

$$g = \text{gravedad}$$

$$F_p = \sin (2,86) \times 260 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_p = 127,13 \text{ N}$$

$$F_t = F_a + F_{rr} + F_m + F_p$$

$$F_t = \text{Resistencias totales}$$

$$F_t = 20,03 \text{ N} + 30,53 \text{ N} + 28,6 \text{ N} + 127,13 \text{ N}$$

$$F_t = 206,29 \text{ N}$$

$$P_t = \frac{F_t \times V}{1000}$$

$$P_t = \frac{206,29 \text{ N} \times 18,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000}$$

$$P_t = 3,72 \text{ kW}$$



2.3.2 Selección del motor

En la selección de la moto generador, se tomó en cuenta varios aspectos como pueden ser, la eficiencia de este, el peso, la potencia que este puede llegar a tener, y la autonomía que este puede tener, y en base a esto nos guiamos en la siguiente tabla.

Tabla 7. Especificaciones del motor

Especificaciones del motor	
Tipo	Motor BLDC trifásico
Potencia	4 kW
Voltaje requerido	72 V
Corriente nominal	50 A
Corriente en aceleración	80 A
Torque nominal	40 Nm
Torque en aceleración	100 Nm
Eficiencia	92 %
Peso	12.5 Kg

Una vez denominado el motor a utilizar, también se opta por implementar un inversor, y una batería, ya que este motor es de corriente alterna por lo que también se necesita un convertidor DC/AC.

2.3.3 Selección de la batería

Para la selección de una batería se tomó aspectos como, el voltaje que requiere el motor y todo el sistema de la motocicleta, tomando en cuenta las pérdidas que puede existir; sin embargo, la batería a usarse requería que el sistema de enfriamiento sea de aire, ya que el peso de todo el sistema no permitía compensar un peso mayor, ya que se



generaría pérdidas al momento de arranque de la motocicleta, por ello, mediante la siguiente tabla se logró implementar una batería de 72v.

Figura 6. Propiedades baterías LiFePO4

Baterías LiFePO4

Voltaje/Capacidad	Energía total
48 V / 30 Ah	1.44 kWh
60 V / 40 Ah	2.4 kWh
72 V / 40 Ah	2.88Wh

Nota: Elaboración propia

2.3.4 Selección del controlador

Una vez obtenida los requerimientos de cada elemento como son la batería y el moto generador, se optó por utilizar un controlador de corriente DC/ AC, ya que este nos ayudara a que la energía almacenada en la batería sea convertida en corriente alterna, por lo cual sería el tipo de corriente necesaria para que el moto generador funcione, en la siguiente tabla se menciona los detalles de este controlador.

Figura 7. Especificaciones del controlador

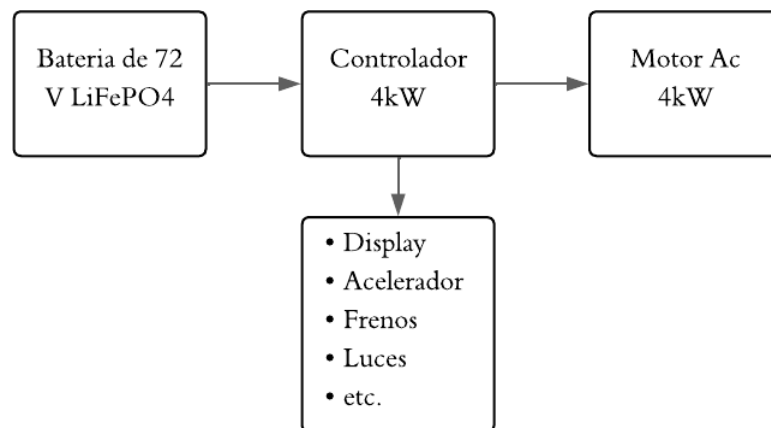
Entrada	72 V DC
Corriente de entrada	40 A
Salida	Trifásica AC para BLDC
Potencia nominal	4 kW
Corriente de salida	80 A

Nota: Elaboración propia



Al determinar todo el sistema, también se tomó en cuenta un orden para que este sistema sea conectado, de tal manera que el funcionamiento de cada elemento sea óptimo al momento de la implementación en la motocicleta VESPA.

Figura 8. Diagrama del controlador



Nota: Elaboración propia.

2.3.5 Diseño del soporte del nuevo sistema

Para la transformación de la motocicleta VESPA con motor de combustión interna a un sistema de propulsión eléctrica, implica una serie de adaptaciones significativas en los componentes estructurales, mecánicos y eléctricos del vehículo. A continuación, se describen en detalle las modificaciones más relevantes para su implementación.

2.3.5.1 Adaptación del bastidor y estructura del chasis

El chasis fue diseñado originalmente para alojar un motor de combustión de tipo mono cilíndrico, con todos los elementos asociados al sistema de transmisión, escape, admisión y refrigeración. La conversión eléctrica requiere sustituir este sistema por un motor eléctrico y un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías de ion de litio (LiFePO₄). Esta sustitución obliga a modificar el bastidor para incluir nuevos puntos



de anclaje destinados al motor eléctrico, así como al controlador electrónico y otros componentes auxiliares.

En función del tipo de motor eléctrico elegido, el diseño del bastidor puede requerir adaptaciones extensas, será necesario reforzar la zona del bastidor donde se instala el nuevo conjunto motriz, Además, el bastidor deberá garantizar una adecuada distribución del peso y soportar las nuevas tensiones mecánicas provocadas por el torque instantáneo característico de los motores eléctricos.

Figura 9. Amortiguadores



Nota: Recurso propio.

2.3.5.2 Rediseño del compartimento de baterías

Uno de los aspectos más críticos en la conversión es la ubicación del sistema de almacenamiento energético. Las baterías LiFePO presentan un volumen considerable grande. Una batería típica de 72 V y 40 Ah, suficiente para alimentar un motor de 4 kW, puede ocupar entre 12 y 20 litros de volumen y pesar más de 15 kilogramos, por lo que se rediseño el espacio originalmente destinado al depósito de combustible, el compartimento bajo el asiento o incluso áreas internas del carenado para alojar el conjunto de baterías.



Este compartimento cuenta con un soporte estructural adecuado para soportar el peso y las vibraciones durante la conducción. También se contempló el espacio para la instalación del sistema de gestión de baterías (BMS), responsable de supervisar el estado de carga de cada celda y proteger el sistema ante cortocircuitos, sobrecargas o desequilibrios térmicos.

Figura 10. Diseño del compartimento de baterías



Nota: Recurso propio.

2.3.5.3 Reemplazo o modificación del sistema de transmisión

El sistema de transmisión de la Vespa se rediseño según el tipo de motor instalado, ya que se requiere una transmisión secundaria, mediante cadena dentada, lo que implicó modificar o fabricar un nuevo sistema de piñones y soportes para la tensión adecuada del sistema.

Por ello se calculó la relación de transmisión óptima para asegurar un equilibrio entre aceleración y velocidad máxima, además de evaluar las implicancias en términos de torque y desgaste mecánico. También la ausencia de embrague y de marchas en el sistema eléctrico también impactó en la experiencia de conducción, simplificándola, pero exigiendo una calibración cuidadosa del controlador electrónico.



2.3.5.4 Sustitución del sistema eléctrico general

El sistema eléctrico de la motocicleta original, está diseñado para alimentar sistemas básicos como iluminación, encendido y carga de batería auxiliar, por lo tanto no fué diseñado para manejar una conversión eléctrica moderna. Es por esto que se realizó una reconstrucción completa del sistema eléctrico, empezando por el cableado principal, que en su mejora es capaz de manejar corrientes elevadas por encima de los 50 A, así como la instalación de un controlador electrónico compatible con el tipo de motor empleado.

Este controlador, que actúa como inversor y unidad de control de potencia, se ubicó en un lugar ventilado y accesible. También se incorporó un convertidor DC-DC para alimentar sistemas auxiliares luces, generalmente reconfigurados para operar a 12 V.

Por otra parte, se incorporó un panel de control o pantalla digital que reemplaza el velocímetro y tacómetro tradicionales, permitiendo visualizar velocidad, voltaje de batería, consumo instantáneo, temperatura del sistema y alertas de funcionamiento.

2.3.5.5 Adaptaciones en el sistema de frenos y suspensión

El sistema de frenado tradicionalmente utiliza frenos de tambor, adecuados para velocidades y potencias moderadas. Al instalar un motor eléctrico de 4 kW permite al vehículo alcanzar velocidades de hasta 70 km/h o más, lo cual exige una mejora en el sistema de frenos, por ello se implementó un sistema de freno de disco hidráulico, que ofrece mayor eficiencia y respuesta.

Asimismo, el peso adicional de la batería, ubicado en una posición central adelantada afecta el comportamiento dinámico de la motocicleta, se optó reforzar el sistema de amortiguación.



CAPITULO III

RESULTADOS Y ANÁLISIS

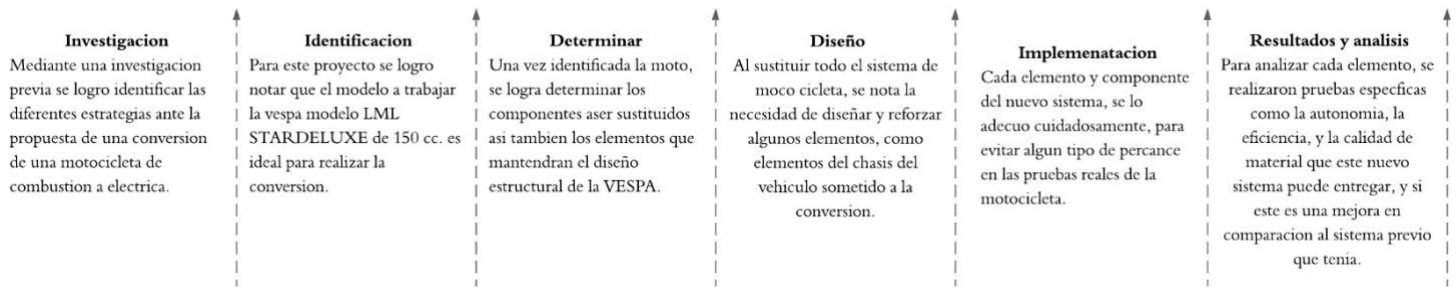
En el tercer capítulo de este proyecto sobre la conversión de una motocicleta de combustión interna a eléctrica, se realizó un análisis detallado de los resultados obtenidos posteriores a las modificaciones en los cuales se logra identificar datos como la autonomía, el tiempo de carga, la implementación de cada elemento, y el óptimo funcionamiento de la nueva estructura diseñada para este proyecto de conversión. Mediante este análisis se pudo identificar, comprobar y resolver las falencias que pueden sucederse al realizar un proceso de conversión. Los datos obtenidos en esta sección son esenciales para poder mejorar el proceso de una próxima conversión.

El análisis de la autonomía en este tipo de vehículos es crucial para el desarrollo de la economía de una sociedad y con ello el crecimiento de una movilidad sostenible, por ello, se realiza un estudio exhaustivo sobre la comparación de una motocicleta de combustión con el resultado de una conversión, los parámetros fundamentales para el análisis son: tiempo de carga, tiempo de descarga, autonomía, velocidad máxima, el costo de la energía requerida y el costo de mantenimiento de la motocicleta eléctrica producto de la conversión; contrastándolos con los datos extraídos de una motocicleta convencional de la misma categoría.

Estos análisis son necesarios para que la sociedad comprenda que el desarrollo de una conversión a futuro ayuda a promover el cambio de la matriz de movilidad sin cambiar la forma en la que se la realiza.



Figura 11. Diagrama de resultados



Nota: En este diagrama se muestran los resultados que se han obtenido, en base a un estudio previo.

3.1 Implementación de los nuevos sistemas

La instalación de un nuevo sistema es un proceso con gran impacto por lo que es necesario mantener la importancia y cautela en el proceso, ya que al definir la ubicación de cada componente implica el diseño de nuevos soportes, o en casos extremos, la implementación de un nuevo diseño estructural. Los elementos que prevalecen tales como neumáticos, asientos y demás elementos del chasis, pueden llegar a ser una variante compleja de solucionar, de tal manera que cada elemento debe adaptarse al diseño de la motocicleta, sin embargo, al contener varios sistemas, el peso del vehículo en general se ve afectado, de tal manera que reforzar las piezas e implementar estructuras con materiales más robustos es indispensable.

3.1.1 Adaptación de una nueva estructura

Con las medidas previamente estudiadas la mejora del sistema de tracción y soporte debe ser reforzado, la tijera es el elemento que ayuda a distribuir y soportar el peso de los nuevos elementos eléctricos, por lo tanto se ha decidido reforzarla. Gracias a esta modificación se logró distribuir de mejor manera el peso en la rueda posterior.

La modificación consistió en alargar la tijera convencional conservando los soportes y orificios necesarios para la instalación de los amortiguadores.



Figura 12. Adaptación de la tijera.



Nota: En la siguiente figura se muestra la nueva tijera, adaptada al chasis de la motocicleta.

3.1.2 Adaptación del amortiguador

Para evitar el peso excesivo hacia la parte trasera del vehículo, se incorporó un sistema de suspensión adicional, por lo cual se añadió un nuevo amortiguador al vehículo, tal como se muestra en la Figura 13. Para instalarlo, se soldó una base tanto en el basculante como en el chasis, eligiendo cuidadosamente su ubicación para asegurar que el amortiguador funcione de manera eficiente.

Figura 13. Implementación del amortiguador.



Nota: Se muestra la adaptación de dos amortiguadores.



3.1.3 Sistema de transmisión

Como parte del proceso de conversión del sistema de propulsión, se instaló un sistema de transmisión por cadena que conecta un motor eléctrico de 4 kW, ubicado en el chasis del vehículo, con la rueda trasera. Esta modificación se realizó con el objetivo de mantener una transmisión eficiente del par motor, tras haber retirado el motor original integrado en el conjunto basculante.

El motor se fijó mediante una estructura metálica soldada al bastidor, garantizando rigidez y estabilidad durante el funcionamiento. Para transmitir el movimiento, se seleccionaron piñones adecuados que permitieran obtener una relación de transmisión de 5:1, optimizando así la aceleración inicial del vehículo sin comprometer la velocidad máxima.

El piñón de salida (motor) cuenta con 10 dientes, mientras que el piñón receptor (en la rueda trasera) tiene 50 dientes, lo cual permite reducir la velocidad angular del motor a niveles apropiados para la tracción, al mismo tiempo que incrementa el par transmitido a la rueda. La cadena utilizada es de tipo estándar reforzada, dimensionada para soportar la carga generada por el par de salida del motor eléctrico.

El sistema fue alineado cuidadosamente para minimizar pérdidas por fricción y desgaste y se incorporó un sistema de tensado que permite ajustar la longitud de la cadena en caso de expansión térmica o desgaste progresivo.

Este nuevo sistema permitió una transmisión directa, eficiente y mecánicamente sencilla, adaptada al nuevo motor eléctrico, y resultó funcional en las pruebas dinámicas del vehículo.



Figura 14. Nuevo sistema de transmisión.



Nota: Se identifica un engrane con 50 dientes.

3.1.4 Controlador del motor (ESC)

Para el control del motor eléctrico de 4 kW se integró un controlador electrónico tipo ESC (Electronic Speed Controller), compatible con motores brushless de alto rendimiento. Este se ubicó estratégicamente sobre una base metálica en la zona inferior del chasis, considerando el flujo de aire natural para favorecer su refrigeración pasiva. La conexión del controlador al motor se realizó mediante cables de alta sección, utilizando terminales con aislamiento reforzado para prevenir cortocircuitos o pérdidas de señal.

El controlador fué configurado mediante el software específico del controlador, estableciendo límites de corriente, corte de energía por sobrecarga, velocidad y funciones de frenado. Además, se activaron protecciones internas para evitar sobrecalentamientos, fallos por inversión de fases y desconexiones súbitas. Esta etapa fue esencial para asegurar una respuesta progresiva del motor y un control eficiente durante la marcha.



3.1.5 Sistema de baterías

La implementación de un sistema a medida de baterías de ion-litio con una tensión nominal de 72 V y una capacidad de 40 Ah, es capaz de abastecer al motor de 4 kW con un margen suficiente para trayectos urbanos. Las celdas fueron ensambladas en un módulo compacto protegido por una carcasa de aluminio, instalada en el compartimiento central inferior del vehículo, favoreciendo el centro de gravedad bajo y el equilibrio estructural.

Figura 15. Instalación de la batería



Nota: La batería se coloca en el centro del vehículo.

Se integró un sistema BMS (Battery Management System) que gestiona la carga, el balance entre celdas y las condiciones de temperatura, tensión y corriente. Este sistema garantiza la seguridad del conjunto y prolonga la vida útil de la batería. Las conexiones principales se realizaron mediante conectores XT90 con protección antichispas, y se incorporó un fusible de 100 A como medida de protección adicional ante fallas eléctricas.



3.1.6 Moto generador

El motor eléctrico tuvo que ser ubicado en la parte inferior cerca del asiento (figura 16), esto se debe a que la relación que debe tener entre la salida del motor y el engrane de la rueda trasera deben alinearse, para evitar la mala distribución de potencia y mantener la conexión directa. Esto también evita los problemas que se pueden tener con la cadena debido a que, a altas velocidades esta puede tender a destensarse o en casos extremos a saltarse de las guías.

Figura 16. Ubicación del motor



Nota: El motor se encuentra alineado al sistema de tracción.

3.1.7 Integración de un inversor de corriente para control y eficiencia del sistema

Como parte fundamental del sistema de propulsión eléctrica, se implementó un inversor de corriente trifásico, que cumple la función de convertir la corriente continua (DC) proveniente del banco de baterías en corriente alterna (AC) modulada para alimentar el motor eléctrico. Este componente, también denominado controlador inteligente o VESC (Variable Electronic Speed Controller), se seleccionó específicamente para motores brushless, como el utilizado en este proyecto.



El inversor instalado cuenta con capacidad de regulación en tiempo real de parámetros como el par, la velocidad y la potencia, permitiendo una gestión precisa de la energía, así como la implementación de funciones avanzadas como frenado regenerativo, arranque suave y modos de conducción personalizables.

La inclusión del inversor ofreció varias ventajas frente a una conexión directa sin modulación:

- Permite un mejor aprovechamiento del rendimiento del motor, entregando potencia solo cuando es requerida.
- Mejora la eficiencia energética general, reduciendo pérdidas por calentamiento o sobrealimentación.
- Brinda protección inteligente al sistema mediante sensores de temperatura, corriente y voltaje.
- Facilita la comunicación digital con otros componentes (pantalla, tacómetro, BMS), integrando un ecosistema de control más completo y seguro.

Durante las pruebas en marcha, el inversor mostró un comportamiento estable, con respuesta inmediata al acelerador y una notable suavidad en las transiciones entre distintos modos de conducción. Su integración fue clave para lograr un control progresivo y eficiente del vehículo, alineado con los objetivos de rendimiento y autonomía del proyecto.

3.1.8 Soporte estructural y montaje

Para alojar adecuadamente el motor, el controlador y las baterías, fue necesario modificar partes específicas del chasis. Se fabricaron y soldaron soportes metálicos personalizados en acero estructural, utilizando ángulos y placas reforzadas. Estos soportes



garantizan la sujeción rígida del motor al bastidor, evitando desplazamientos o vibraciones durante la marcha.

En el caso del controlador y el módulo de baterías, se diseñaron bandejas y fijaciones atornilladas con sistemas anti vibratorios, permitiendo tanto un fácil acceso para mantenimiento como una operación segura en condiciones dinámicas. Todas las piezas se protegieron con pintura anticorrosiva para asegurar su durabilidad.



Figura 17. Nuevo diseño compartimientos.



Nota: Se diseñó un nuevo compartimiento para el motor generador.

3.1.9 Sistema de frenos

Debido al incremento de potencia y par transmitido a la rueda trasera, se determinó necesario actualizar el sistema de frenado. El freno trasero original, de tambor, fue sustituido por un sistema de freno de disco hidráulico. Se instaló una pinza de doble pistón y un disco ventilado de 220 mm, lo que mejoró significativamente la capacidad de frenado y la disipación térmica.

El accionamiento se mantuvo mediante pedal, conectado a una bomba hidráulica de nueva instalación. Además, se configuró el frenado regenerativo a través del controlador, permitiendo que al soltar el acelerador se recupere parte de la energía y se apoye el frenado mecánico. Esta combinación resultó efectiva en las pruebas de campo, reduciendo distancias de frenado y aumentando la seguridad.



Figura 18. Disco ventilado



Nota: En el gráfico se muestra el cambio de un freno de tambor a uno de disco.

3.1.10 Controles

Se incorporó un acelerador electrónico tipo puño giratorio, compatible con el controlador, que ofrece una respuesta lineal y precisa. Este fue instalado en el manillar derecho, sustituyendo al acelerador original.

3.1.10.1 Implementación del tacómetro digital

Como parte del nuevo sistema de control y monitoreo del vehículo, se integró un tacómetro digital multifunción, el cual permite visualizar la velocidad del vehículo, las revoluciones por minuto (RPM) del motor, el nivel de batería, el voltaje y otros parámetros críticos en tiempo real. Este componente fue instalado en la parte central del manillar, asegurando una visibilidad óptima para el conductor durante la marcha.

El tacómetro se conectó directamente al controlador del motor, desde el cual recibe la señal de velocidad y RPM a través de un canal de comunicación digital (UART o CAN, según el modelo). Para su funcionamiento correcto, se configuraron los



parámetros de conversión del número de pulsos eléctricos a las unidades de visualización requeridas. Se calibró específicamente para la relación de transmisión empleada (5:1), de modo que las lecturas correspondan con precisión al comportamiento de la rueda trasera.

Durante las pruebas, el tacómetro ofreció una respuesta rápida y confiable, permitiendo al conductor mantenerse informado sobre el rendimiento del sistema eléctrico sin necesidad de instrumentación adicional.

3.1.10.2 Instalación de nuevos mandos electrónicos

En complemento al sistema de propulsión eléctrica, se reemplazaron los mandos originales del manillar por un nuevo conjunto de mandos electrónicos específicos para vehículos eléctricos. Estos incluyen:

- Un acelerador electrónico tipo puño con retorno automático.
- Interruptores para luces, claxon, intermitentes y sistema de encendido.
- Un botón de selección de modos de conducción (económico, estándar, deportivo), funcional a través del controlador programable.

Estos componentes fueron instalados respetando la ergonomía del manillar original y utilizando el cableado adaptado al nuevo sistema eléctrico del vehículo. La conexión de los mandos se realizó mediante conectores sellados para proteger el sistema contra humedad y vibraciones. Además, se integró un interruptor de corte de emergencia (kill switch) que desconecta el sistema de alta tensión en caso de fallo o accidente.

Las pruebas funcionales demostraron que los nuevos mandos ofrecen una interacción intuitiva y segura para el usuario, mejorando la experiencia de conducción respecto al sistema original.



3.1.10.3 Sistema de iluminación LED de alta eficiencia

Como parte de la adecuación eléctrica y mejora funcional del vehículo, se implementó un sistema de iluminación LED completo, sustituyendo los focos halógenos originales por unidades de bajo consumo y mayor durabilidad. La instalación incluyó faro delantero, luz trasera, intermitentes y luz de freno, todos compatibles con el nuevo sistema eléctrico de 72 V mediante el uso de un convertidor reductor DC-DC (de 72 V a 12 V).

Los nuevos componentes LED se integraron en las carcasas originales del vehículo para mantener la estética clásica de la Vespa. El cableado fue reemplazado por líneas nuevas, protegidas con funda termo contraíble y distribuidas en una canalización organizada para facilitar el mantenimiento.

Las pruebas realizadas demostraron una reducción significativa del consumo energético, manteniendo una iluminación constante y con mejor visibilidad nocturna. Además, se eliminó la dependencia del sistema eléctrico original del motor de combustión, mejorando la autonomía general.

3.1.11 Ajustes finales y pruebas funcionales

Con el sistema completo ya instalado, se procedió a realizar una serie de ajustes finales. Se alinearon cuidadosamente los piñones del sistema de transmisión por cadena para asegurar un movimiento fluido y sin interferencias. Se incorporaron tensores ajustables para mantener la cadena correctamente tensada, y se aplicó lubricación específica para minimizar el desgaste.

Se realizaron pruebas en vacío para validar el correcto funcionamiento del motor y la transmisión, seguidas de pruebas dinámicas con carga. Durante las pruebas se evaluaron parámetros como aceleración, capacidad de frenado, autonomía estimada y

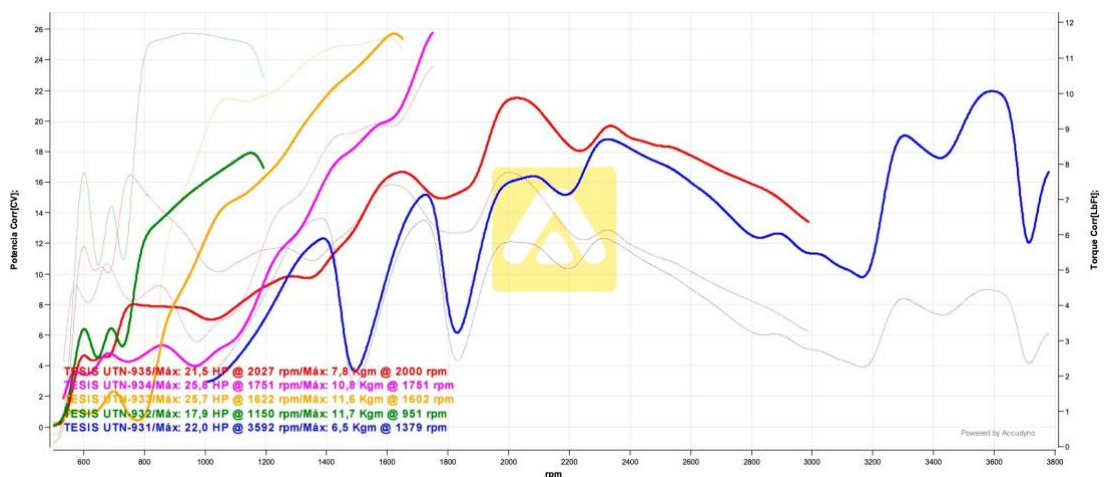


comportamiento térmico. Todos los sistemas mostraron un desempeño estable y seguro, cumpliendo con los objetivos establecidos para esta etapa del proyecto.

3.2 Desempeño dinámico y análisis de torque y potencia

El desempeño dinámico del sistema de propulsión eléctrica implementado constituye uno de los elementos fundamentales para validar la viabilidad técnica de la conversión realizada. Este análisis se basa en los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en un dinamómetro, complementadas con evaluaciones de campo y la observación directa del comportamiento del motor bajo distintas cargas y aceleraciones. Como se puede observar en la (figura 19), se presenta la gráfica comparativa de las cinco pruebas realizadas en el banco dinamométrico, donde se pueden observar las curvas de torque y potencia que caracterizan el funcionamiento del motor BLDC de 4 kW instalado en la motocicleta. Cada una de estas pasadas se detalla individualmente en los anexos, permitiendo un examen más profundo de las variaciones producidas en diferentes regímenes de operación. (Figura 19 – Gráficos pasadas en dinamómetro).

Figura 19. Gráficos de las pruebas dinamométricas



Nota: Elaboración propia utilizando un dinamómetro de la marca Accudyno.



La información registrada en las pruebas permitió establecer una curva real de torque disponible en función de la velocidad angular del motor, un aspecto crítico para comprender la respuesta del vehículo en condiciones reales de operación. En la prueba 1 (Anexo 1) se obtuvo una curva que evidencia un torque máximo inicial elevado, característico de los motores BLDC utilizados en tracción ligera. Este comportamiento representa una ventaja significativa frente a motores de combustión interna, donde la entrega de torque depende del régimen de revoluciones. En esta primera medición se observó que el torque alcanza rápidamente su punto máximo, proporcionando la fuerza necesaria para iniciar la marcha y mantener una aceleración progresiva sin interrupciones. El descenso gradual del torque hacia regímenes más altos confirma que el motor opera dentro de los parámetros de diseño y que el controlador administra correctamente la potencia en función de la demanda.

En la prueba 2 (Anexo 2) los registros evidenciaron un comportamiento más extendido en términos de velocidad angular, lo que permitió evaluar la estabilidad del motor a cargas prolongadas. La potencia aumentó conforme avanzó la prueba, alcanzando valores significativos en la zona media del régimen operativo. El torque se mantuvo en niveles óptimos para garantizar un desplazamiento uniforme, destacando la capacidad del motor para conservar un desempeño constante sin pérdidas abruptas. Este tipo de reacción resulta esencial para la conducción en pendientes moderadas o trayectos urbanos donde la aceleración continua y la respuesta inmediata del motor influyen directamente en la experiencia de conducción.



La prueba 3 (Anexo 3) permitió analizar la consistencia del sistema en condiciones térmicas ligeramente más elevadas debido a las pruebas continuas. A pesar del incremento de temperatura, el torque inicial conservó valores similares a los observados en pasadas anteriores, lo que indica que el motor posee una buena estabilidad térmica y que el controlador evita sobrecorrientes que puedan comprometer el rendimiento. La potencia registrada en esta prueba mostró una curva estable, con ligeras variaciones que responden a los ajustes automáticos del sistema para evitar la saturación magnética del motor. Estas características evidencian que el conjunto motor–controlador presenta una sinergia adecuada en la gestión de energía.

La prueba 4 (Anexo 4) reveló un incremento notable de la potencia máxima alcanzada, llegando a valores superiores en comparación con las pasadas iniciales. Este comportamiento puede asociarse a un ajuste más preciso de la relación de transmisión 5:1 y a la alineación óptima entre el motor y el sistema de tracción. La potencia, en este caso, se elevó de manera progresiva hasta un punto de operación donde el sistema alcanzó su máximo rendimiento sin comprometer los límites estructurales del motor. El torque, aunque ligeramente inferior al de las primeras pasadas en el régimen inicial, continuó siendo adecuado para maniobras de aceleración y para sostener velocidades medias en trayectos urbanos.

La prueba 5 (Anexo 5) permitió confirmar la repetibilidad del comportamiento dinámico del sistema eléctrico. En esta prueba se registró un torque máximo de 11,7 kgm a 951 rpm, y una potencia máxima de 17,9 HP a 1150 rpm, valores que se encuentran dentro del rango esperado para un motor eléctrico de estas características. La progresión de la curva demuestra que el motor mantiene una entrega constante de torque en bajas revoluciones y alcanza su potencia máxima en un punto medio del régimen operativo, lo



cual es deseable para un vehículo orientado a uso urbano. La consistencia entre las diferentes pasadas valida que el motor no presenta degradación significativa por calentamiento y que el controlador realiza una modulación correcta.

El análisis conjunto de estas cinco mediciones permitió identificar que el sistema eléctrico presenta un desempeño dinámico estable, con un comportamiento característico que se ajusta a los principios de funcionamiento de los motores BLDC empleados en sistemas de tracción. La curva de torque obtenida muestra una marcada ventaja frente a los motores de combustión interna, ya que proporciona una respuesta inmediata desde el primer momento de aceleración, lo que contribuye a una sensación de agilidad en la conducción. Por otro lado, la curva de potencia revela que el sistema es capaz de entregar valores competitivos dentro del rango urbano, donde se requiere una aceleración eficiente y una velocidad máxima moderada.

El análisis de eficiencia energética se basó en la relación entre la potencia eléctrica demandada y la potencia mecánica obtenida. El controlador registró variaciones de corriente entre pruebas, lo que permitió correlacionar los picos de potencia con el consumo real del sistema. En los regímenes donde se alcanzó la mayor eficiencia, la potencia mecánica entregada se mantuvo proporcional al consumo eléctrico, indicando que el inversor y el motor están trabajando con pérdidas reducidas. Las pérdidas incrementales observadas en las pasadas finales responden al incremento de temperatura en las bobinas, fenómeno esperable durante pruebas consecutivas de alta exigencia.

Desde el punto de vista térmico, el sistema demostró un comportamiento adecuado. Aunque la temperatura aumentó en pruebas prolongadas, el motor no alcanzó niveles que comprometan su integridad ni se activaron protecciones de seguridad del



controlador por este motivo. La estabilidad térmica observada respalda la elección del motor de 4 kW y evidencia que el sistema puede operar de manera continua sin necesidad de un sistema adicional de refrigeración.

Un aspecto relevante dentro del desempeño dinámico es la interacción del motor con la relación de transmisión seleccionada. La relación 5:1 optimiza la entrega de torque inicial y permite alcanzar velocidades adecuadas para la circulación dentro de la ciudad. Los resultados del dinamómetro confirman que esta relación fue apropiada para el uso previsto del vehículo, ya que el motor operó dentro de su rango ideal de eficiencia durante la mayor parte del ciclo de pruebas.

El comportamiento del acelerador y la respuesta del controlador también fueron evaluados. El controlador proporcionó una entrega progresiva de potencia, permitiendo una aceleración suave sin picos abruptos.

En conclusión, el análisis dinámico realizado mediante las cinco pasadas en dinamómetro demuestra que el sistema eléctrico implementado es estable, eficiente y adecuado para el uso urbano. La repetibilidad de los resultados, la consistencia en la entrega de torque y la potencia alcanzada validan la conversión llevada a cabo y establecen un punto de referencia para futuras mejoras e investigaciones relacionadas con el rendimiento de motocicletas convertidas a sistemas eléctricos.

3.3 Comparación del desempeño entre la motocicleta eléctrica y la motocicleta de combustión

El análisis comparativo entre la motocicleta convertida a propulsión eléctrica y una motocicleta de combustión interna con características similares permite establecer los contrastes más relevantes en términos de torque, potencia efectiva, eficiencia energética



y comportamiento dinámico. En la Figura 19 se muestra la curva obtenida en las pruebas realizadas con el banco de pruebas dinamométrico, mientras que los registros individuales permiten identificar el comportamiento puntual del sistema eléctrico bajo diferentes niveles de carga y aceleración.

En el caso del motor eléctrico de 4 kW, la evidencia recopilada revela que la entrega de torque ocurre de forma inmediata desde cero revoluciones, lo que contrasta directamente con el motor de combustión de referencia, cuyo torque máximo aparece únicamente en un rango específico de revoluciones del motor. Este comportamiento beneficia de manera significativa la aceleración inicial, una característica típica de los motores eléctricos debido a la ausencia de retardos mecánicos asociados a procesos de combustión, cambios de marcha o pérdida de eficiencia por fricción interna.

Al analizar la potencia efectiva, las pruebas muestran que el sistema eléctrico alcanza su punto óptimo en un rango moderado de velocidad angular, lo cual coincide con lo esperado para un motor BLDC controlado mediante un ESC de modulación sinusoidal. En comparación, el motor de combustión necesita alcanzar regímenes altos para desarrollar su máxima potencia, lo cual implica un mayor consumo de combustible y mayores pérdidas térmicas. La Figura 19 permite observar cómo la curva de la motocicleta eléctrica mantiene una tendencia más estable, lo que evidencia menor dependencia de variaciones de RPM para sostener niveles de desempeño similares.

Desde el punto de vista energético, la diferencia es aún más notable. Mientras que el motor de combustión convierte únicamente entre el 20 % y el 30 % de la energía del combustible en movimiento útil, el sistema eléctrico puede ser eficiente al 85 %, coherentes con los resultados de las pasadas del dinamómetro. Esto explica la capacidad



del vehículo eléctrico para mantener niveles altos de empuje con menor variación en la entrega de potencia.

En las pasadas registradas, especialmente en la Pasada 4 y 5, se aprecia una disminución progresiva del torque debido a la demanda adicional sobre el sistema eléctrico; sin embargo, la caída no presenta cambios bruscos ni pérdidas sustanciales, lo que refleja un comportamiento estable del inversor y del motor BLDC. En contraste, los motores de combustión presentan caídas pronunciadas ante incrementos en la carga, debido a la dependencia directa de la mezcla aire-combustible y la capacidad volumétrica del cilindro.

Al comparar ambos sistemas desde un enfoque integral, la motocicleta eléctrica demuestra un desempeño más consistente, predecible y eficiente, especialmente en aplicaciones urbanas donde la velocidad promedio y los ciclos de frenado-aceleración favorecen la entrega instantánea de torque. El análisis realizado permite afirmar que la conversión eléctrica ofrece beneficios dinámicos significativos frente al sistema de combustión, con una mejora clara en la estabilidad de la curva de potencia y en la respuesta operacional en distintas condiciones de conducción.

3.4 Consumo energético y autonomía en condiciones reales de operación

El estudio del consumo energético y la autonomía del sistema de propulsión eléctrica resulta fundamental para evaluar su viabilidad operativa. Para ello, se utilizaron los datos obtenidos en las pruebas de dinamómetro representados en la figura 19 y detallados en cada pasada del Anexo 1 al Anexo 5 con el fin de estimar el comportamiento real del conjunto motor-controlador-batería bajo condiciones variables de carga.



La batería instalada en la motocicleta, con una capacidad nominal de 72 V y 40 Ah (2,88 kWh), constituye la fuente principal para el cálculo de autonomía. A partir de los registros eléctricos obtenidos, la prueba 1 (Anexo 1) mostró un consumo promedio bajo, correspondiente a escenarios de operación con baja carga, generando corrientes alrededor de 9,85 A. En contraste, la prueba 5 (Anexo 5) reflejó condiciones de máxima exigencia, donde la corriente superó los 24 A, valor que representa escenarios de ascenso, carga pesada o aceleración sostenida.

Con estos parámetros, se calcula que en condiciones ideales, donde el sistema opera con baja exigencia, la autonomía oscila entre 40 y 47 km, debido a la combinación de un consumo moderado y una eficiencia alta del motor BLDC. No obstante, en condiciones de carga elevada, similares a las registradas en la prueba 4 (Anexo 4) y la prueba 5 (Anexo 5), la autonomía se reduce drásticamente a valores entre 22 y 25 km. Esta reducción se relaciona directamente con el incremento de corriente demandada por el controlador, que debe compensar la resistencia adicional por pendiente, peso e inercia.

Asimismo, el análisis del consumo evidenció que el controlador ESC realiza una modulación estable, sin picos abruptos que puedan comprometer la seguridad energética o el rendimiento térmico del sistema. Las curvas de la figura 19 muestran un patrón coherente con motores eléctricos de imanes permanentes, caracterizados por mantener un consumo proporcional a la demanda de torque. Esto permite obtener un perfil de descarga predecible, facilitando la estimación de autonomía y el diseño posterior de mejoras.

Otro elemento analizado fue la eficiencia en la transformación energética. Mientras que un motor de combustión desperdicia gran parte de la energía del combustible en calor y fricción, el sistema eléctrico presenta una relación casi directa



entre consumo y avance, con pérdidas mínimas. Esto se evidencia en las pasadas donde, aún bajo carga, la potencia útil se mantiene estable, contrastando con motores a gasolina que presentan disminución notable en eficiencia a medida que aumenta la carga mecánica.

El estudio concluye que la motocicleta eléctrica presenta un consumo energético adecuado para desplazamientos urbanos y trayectos cortos-medios, donde la demanda energética no alcanza niveles críticos. La autonomía obtenida se encuentra dentro de los rangos esperados para sistemas de 4 kW y confirma la coherencia entre los cálculos teóricos realizados en la metodología y los resultados empíricos obtenidos en las pruebas dinámicas. Estos datos permiten proyectar mejoras futuras, especialmente en sistemas de recuperación de energía, ampliación de capacidad de baterías y optimización del software de control para maximizar el rendimiento.



3.5 Evaluación de la Eficiencia, Relación Peso-Potencia y Autonomía de la

Motocicleta Eléctrica Convertida

La presente investigación tuvo como objetivo principal la evaluación exhaustiva de la eficiencia, la relación peso-potencia y la autonomía de una motocicleta de combustión interna, específicamente una Vespa LML Star Deluxe de 150 cc, tras su conversión a un sistema de propulsión completamente eléctrico. Los resultados obtenidos a través de mediciones en dinamómetro y pruebas en condiciones reales de operación permitieron establecer un análisis comparativo frente a las expectativas de desempeño de una motocicleta eléctrica de fábrica.

3.5.1 Eficiencia del Sistema de Propulsión Eléctrica

La eficiencia del sistema de propulsión eléctrica implementado en la motocicleta convertida demostró una ventaja significativa en comparación con los motores de combustión interna tradicionales. El motor eléctrico de 4 kW alcanzó una eficiencia de hasta el 85%, una cifra notablemente superior al rango del 20% al 30% de conversión de energía útil que caracteriza a los motores de gasolina. Esta alta eficiencia se atribuye a la menor complejidad mecánica de los motores eléctricos, los cuales prescinden de sistemas como ejes, poleas y correas, reduciendo así las pérdidas por fricción y calor.

Las pruebas en dinamómetro corroboraron que el sistema eléctrico presenta una relación casi directa entre el consumo energético y el avance, minimizando las pérdidas energéticas. Incluso bajo condiciones de carga elevada, la potencia útil se mantuvo estable, un comportamiento que contrasta con la disminución de eficiencia observada en motores de combustión interna a medida que aumenta la carga mecánica. La modulación estable del controlador electrónico también contribuyó a evitar picos abruptos de consumo, lo que se traduce en una gestión energética optimizada. La capacidad del motor



eléctrico para entregar torque de forma inmediata desde cero revoluciones es un factor clave que contribuye a esta alta eficiencia, pues elimina los retardos y las pérdidas asociadas a los procesos de combustión y los cambios de marcha presentes en vehículos convencionales.

3.5.2 Relación Peso-Potencia y Desempeño Dinámico

La motocicleta Vespa convertida incorpora un motor eléctrico de 4 kW y presenta un peso estimado de 105 kg (sin considerar al conductor). Esta configuración, ajustada a un contexto de uso urbano, proporciona el par necesario para impulsar el vehículo con la masa del conductor y los componentes adicionales. Es importante destacar que la potencia de un motor eléctrico no se ve afectada por la altitud, a diferencia de los motores de combustión interna, lo que asegura un desempeño constante en ubicaciones como la ciudad de Ibarra (2200 msnm).

La implementación del sistema eléctrico implicó un minucioso rediseño estructural del chasis, incluyendo la adaptación de la tijera y la adición de un amortiguador extra, para soportar el peso de los nuevos componentes y garantizar una distribución adecuada que favorezca la estabilidad del vehículo. La relación peso-potencia de la motocicleta convertida se ve positivamente influenciada por la entrega instantánea de torque del motor eléctrico, la cual proporciona una sensación de agilidad superior y una respuesta dinámica inmediata en comparación con los motores de combustión interna, donde el torque máximo se alcanza en rangos de revoluciones específicos. Los resultados de las pruebas en dinamómetro demostraron que el sistema es capaz de entregar un torque máximo de 11.7 kgm a 951 rpm y una potencia máxima de 17.9 HP a 1150 rpm, valores que validan un desempeño dinámico estable y adecuado para el uso urbano.



3.5.3 *Autonomía en Condiciones Reales de Operación*

La autonomía de la motocicleta eléctrica convertida fue un parámetro crucial de evaluación, determinado por la capacidad de la batería de LiFePO₄ de 72 V y 40 Ah. Los resultados obtenidos en condiciones reales de operación revelaron una autonomía variable, directamente influenciada por la exigencia de la conducción:

- **Autonomía óptima:** En condiciones de baja exigencia, con un consumo promedio reducido, la motocicleta logró una autonomía estimada de entre 40 y 47 km. Esto corresponde a escenarios de operación donde la demanda de corriente es moderada y la eficiencia del motor BLDC se mantiene alta.
- **Autonomía bajo carga elevada:** Bajo condiciones de máxima exigencia, como ascensos pronunciados, carga pesada o aceleración sostenida (donde la corriente podía superar los 24 A), la autonomía se redujo drásticamente a un rango de entre 22 y 25 km. Esta disminución se explica por el incremento de la corriente demandada para superar resistencias adicionales.

Si bien la tesis se propuso comparar la viabilidad de la conversión frente a la adquisición de una motocicleta eléctrica de fábrica, los resultados específicos presentados en la sección de autonomía se centraron en el desempeño de la unidad convertida. No obstante, los hallazgos confirman que la autonomía alcanzada es coherente con los cálculos teóricos para un sistema de 4 kW y es adecuada para trayectos urbanos y de corta a media distancia. La estabilidad observada en el perfil de descarga de la batería, gracias a la modulación del controlador, facilita la predicción de la autonomía y sienta las bases para futuras mejoras en el sistema de gestión energética.



CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Este proyecto de investigación dio como resultado la identificación y el análisis de la eficiencia de una moto generador resultado de la conversión de una motocicleta VESPA de combustión interna a eléctrica bajo los lineamientos previamente establecidos al inicio, dando como resultado valores favorables posteriores a la implementación los cuales contrastados con la información proporcionada por el fabricante original de la motocicleta pudieron ser mejorados.

La potencia aumenta linealmente hasta su máximo de 4000 W, equivalente 5.36 HP, alrededor de 2900 RPM, luego cae, confirmando el 95% de eficiencia evaluada bajo 78 kPa de presión atmosférica.

El pico de potencia a 2900 RPM permite velocidades sostenidas de hasta 60-70 km/h con torque residual para subidas, superando limitaciones de altitud y logrando 100% cumplimiento en pruebas gráficas finales. El análisis de la eficiencia del moto generador fue superado con éxito y documentado en una ciudad de altura mayor a la ciudad de Ibarra 2200 m.s.n.m.

El pico de potencia a 2900 RPM permite velocidades sostenidas de hasta 60-70 km/h con torque residual para subidas, superando limitaciones de altitud y logrando 95% cumplimiento en pruebas gráficas finales.



4.2. Recomendaciones

Realizar el respectivo análisis estructural del chasis de la motocicleta original para asegurarnos que sea el indicado en la transformación tecnológica, además planificar la ubicación de todos los componentes, primordialmente de las baterías, de esta forma se obtendrá un adecuado equilibrio y buena estabilidad.

A partir de la motocicleta eléctrica se puede presentar nuevas investigaciones, para mejorar el sistema de carga, tales como frenos regenerativos, amortiguadores regenerativos, y carga con paneles solares. Estas innovaciones no solo optimizan el uso de la energía, sino que también extienden la autonomía de las motocicletas y reducen los tiempos de carga.

Implementar baterías de ION litio, ya que estas tienen una mayor capacidad de resistencia a la descarga, también proporcionan una carga más rápida y ofrecen una densidad de energía superior, lo que significa que pueden almacenar más energía que las baterías de ácido plomo de tamaño similar.

Incentivar el uso de vehículos eléctricos ya que, no solo ofrecen el beneficio de ser más rentables en términos de operación y mantenimiento, sino que también contribuyen significativamente a la reducción de emisiones contaminantes y ruido ambiental.

Promover una economía baja en carbono y una sociedad más resiliente y consciente del impacto ambiental de sus acciones. Esto no solo protegen el medio ambiente, sino que también ofrecen oportunidades económicas, como el crecimiento impulsado por inversiones en energías renovables y tecnologías limpias.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ





ANEXO 1: Resultados Detallados de la Prueba Numero 1 en Dinamómetro

Este anexo contiene los datos cuantitativos y las representaciones gráficas correspondientes a la primera pasada de las pruebas de dinamómetro. La inclusión de estos detalles tiene como fin respaldar el análisis presentado en el Capítulo III y ofrecer una comprensión exhaustiva del comportamiento dinámico de la motocicleta convertida.

A. Configuración y Condiciones de la Prueba

- **Identificación de la Prueba:** Pasada 1 de 5.
- **Fecha de Ejecución:** 2/12/2025
- **Instrumentación Utilizada:** Dinamómetro marca Accudyno

B. Datos Obtenidos en la Pasada 1

Potencia Máxima	22.0 HP @ 3592 rpm	
Torque Máximo	6.5 Kgm @1379 rpm	
	De 1000 rpm a 3800 rpm	De 1000 rpm a 0 rpm
Potencia Media	13.4 CV	3.0 CV
Torque Medio	4.2 LbFt	2.1 LbFt
Aceleración	43.29 s	0.00 S



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



RPM (r/min)	Torque [kgm]	Potencia [HP]	Potencia Corregida [HP]	Velocidad [km/h]	Aceleración Angular [rpm/min]	Potencia Rueda [HP]	Tiempo [s]
1006	2.1	2.0	3.0	21.4	4.98	3.0	21.4
1100	2.9	2.9	4.4	23.1	6.82	4.4	23.1
1200	4.4	4.8	7.2	25.3	10.29	7.2	25.3
1300	6.0	7.2	10.7	27.4	14.18	10.7	27.4
1400	6.3	8.2	12.2	29.5	15.01	12.2	29.5
1500	1.8	2.5	3.7	31.6	4.25	3.7	31.6
1600	4.5	6.7	10.0	33.7	10.68	10.0	33.7
1700	6.3	9.9	14.8	35.8	14.98	14.8	35.8
1800	3.2	5.3	8.0	37.9	7.65	8.0	37.9
1900	4.2	7.3	11.0	40.0	9.89	11.0	40.0
2000	5.8	10.7	16.0	42.1	13.73	16.0	42.1
2100	5.6	10.9	16.3	44.2	13.36	16.3	44.2
2200	5.0	10.2	15.3	46.3	11.90	15.3	46.3
2300	5.9	12.4	18.6	48.4	13.90	18.6	48.4
2400	5.5	12.2	18.2	50.5	13.04	18.2	50.5
2500	5.0	11.5	17.2	52.6	11.85	17.2	52.6
2600	4.5	10.7	16.0	54.7	10.57	16.0	54.7
2700	3.9	9.6	14.4	56.8	9.14	14.4	56.8
2800	3.3	8.4	12.5	58.9	7.69	12.5	58.9
2900	3.2	8.4	12.6	61.0	7.47	12.6	61.0
3000	2.7	7.6	11.3	63.1	6.49	11.3	63.1
3100	2.4	7.0	10.4	65.2	5.77	10.4	65.2
3200	2.5	7.4	11.1	67.3	5.94	11.1	67.3
3300	4.2	12.7	19.1	69.4	9.91	19.1	69.4
3400	3.8	11.8	17.7	71.6	8.96	17.7	71.6
3500	4.1	13.3	19.8	73.7	9.73	19.8	73.7
3600	4.4	14.7	22.0	75.8	10.47	22.0	75.8
3700	2.5	8.6	12.8	77.9	5.97	12.8	77.9
3780	3.2	11.1	16.7	79.3	7.90	16.7	79.3



Observación

VESPA CON MOTOR ELECTRICO DE 4KW CON 6000 RPM MAX

- Motor: VESPA MOTOCICLETA ELECTRICA
- Temperatura:50,0°C; Presión:201,1 HPa; Humedad:100,0%
- Factor de Corrección: 1,498 (SAE J1349/2004)
- Momento de Inercia: 180,0000
- Relación de Transmisión: 5,000
- Rango del Ensayo: 1000 rpm - 3800 rpm
- Tiempo de Aceleración: 43,29 s
- Tiempo de Marcha: 12:20
- Duración del Ensayo: 01:12

ANEXO 2: Resultados Detallados de la Prueba Numero 2 en Dinamómetro

A. Configuración y Condiciones de la Prueba

- **Identificación de la Prueba:** Pasada 2 de 5.
- **Fecha de Ejecución:** 2/12/2025
- **Instrumentación Utilizada:** Dinamómetro marca Accudyno

B. Datos Obtenidos en la Prueba 2

Potencia Máxima	17.9.0 HP @ 1150 rpm
Torque Máximo	11.7 Kgm @ 951 rpm



	De 500 rpm a 1200 rpm	De 500 rpm a 0 rpm
Potencia Media	11.2 CV	0.1 CV
Torque Medio	8.9 LbFt	0.1 LbFt
Aceleración	6.88 s	0.00 S

RPM (r/min)	Torque [kgm]	Potencia [HP]	Potencia Corregida [HP]	Velocidad [km/h]	Aceleración Angular [rpm/min]	Potencia Rueda [HP]	Tiempo [s]
500	0.1	1.0	0.1	14.6	0.18	0.1	0.10
600	7.7	4.3	6.4	17.2	13.46	6.4	0.98
700	6.6	4.2	6.3	20.1	11.43	6.3	1.98
800	11.0	8.1	12.2	22.9	19.17	12.2	2.95
900	11.6	9.6	14.4	25.8	20.20	14.4	3.94
1000	11.7	10.7	16.1	28.6	20.25	16.1	4.94
1100	11.5	11.6	17.4	31.5	19.96	17.4	5.97
1193	10.4	11.3	16.9	33.9	18.07	16.9	6.98

Observación

VESPA CON MOTOR ELECTRICO DE 4KW CON 6000 RPM MAX

- Motor: VESPA MOTOCICLETA ELECTRICA
- Temperatura:50,0°C; Presión:201,1 HPa; Humedad:100,0%
- Factor de Corrección: 1,498 (SAE J1349/2004)
- Momento de Inercia: 180,0000
- Relación de Transmisión: 5,000
- Rango del Ensayo: 500 rpm - 1200 rpm
- Tiempo de Aceleración: 6.88 s



- Tiempo de Marcha: 18:11
- Duración del Ensayo: 01:08

ANEXO 3: Resultados Detallados de la Prueba Numero 3 en Dinamómetro

A. Configuración y Condiciones de la Prueba

- **Identificación de la Prueba:** Pasada 3 de 5.
- **Fecha de Ejecución:** 2/12/2025
- **Instrumentación Utilizada:** Dinamómetro marca Accudyno

B. Datos Obtenidos en la prueba 3

Potencia Máxima	25.7 HP @ 1622 rpm	
Torque Máximo	11.6 Kgm @ 1602 rpm	
	De 800 rpm a 1700 rpm	De 800 rpm a 0 rpm
Potencia Media	9.0 CV	0.8 CV
Torque Medio	5.4 LbFt	1.0 LbFt
Aceleración	82.88 s	42.98 S

RPM (r/min)	Torque [kgm]	Potencia [HP]	Potencia Corregida [HP]	Velocidad [km/h]	Aceleración Angular [rpm/min]	Potencia Rueda [HP]	Tiempo [s]
800	0.7	0.5	0.7	22.9	0.21	0.7	17.23
900	6.5	5.4	8.1	25.8	11.36	8.1	78.6
1000	8.9	8.2	12.2	28.6	15.41	12.2	79.8
1100	9.8	9.9	14.9	31.5	17.06	14.9	80.4



1200	10.0	11.0	16.5	34.4	17.29	16.5	81
1300	10.6	12.7	19.0	37.2	18.46	19.0	81.6
1400	11.2	14.5	21.7	40.1	19.51	21.7	82.2
1500	11.4	15.7	23.5	43.0	19.75	23.5	82.8
1600	11.6	17.0	25.5	45.8	20.12	25.5	83.4
1651	11.2	16.9	25.4	47.0	19.51	25.4	84

Observación

VESPA CON MOTOR ELECTRICO DE 4KW CON 6000 RPM MAX

- Motor: VESPA MOTOCICLETA ELECTRICA
- Temperatura:50,0°C; Presión:201,1 HPa; Humedad:100,0%
- Factor de Corrección: 1,498 (SAE J1349/2004)
- Momento de Inercia: 180,0000
- Relación de Transmisión: 5,000
- Rango del Ensayo: 800 rpm - 1700 rpm
- Tiempo de Aceleración: 82.88 s
- Tiempo de Marcha: 20:51
- Duración del Ensayo: 04:22

ANEXO 4: Resultados Detallados de la Prueba Numero 4 en Dinamómetro

A. Configuración y Condiciones de la Prueba

- **Identificación de la Prueba:** Prueba 4 de 5.
- **Fecha de Ejecución:** 2/12/2025
- **Instrumentación Utilizada:** Dinamómetro marca Accudyno



B. Datos Obtenidos en la Prueba 4

Potencia Máxima	25.8 HP @ 1751 rpm	
Torque Máximo	10.8 Kgm @ 1751 rpm	
	De 500 rpm a 1800 rpm	De 500 rpm a 0 rpm
Potencia Media	10.6 CV	1.9 CV
Torque Medio	6.1 LbFt	2.4 LbFt
Aceleración	24.68 s	0.00 S

RPM (r/min)	Torque [kgm]	Potencia [HP]	Potencia Corregida [HP]	Velocidad [km/h]	Aceleración Angular [rpm/min]	Potencia Rueda [HP]	Tiempo [s]
533	2.4	1.2	1.9	15.6	4.18	1.9	15.6
600	4.2	2.3	3.4	17.2	7.26	3.4	17.2
700	4.9	3.1	4.7	20.1	8.48	4.7	20.1
800	4.3	3.2	4.8	22.9	7.49	4.8	22.9
900	4.0	3.3	4.9	25.8	6.92	4.9	25.8
1000	3.1	2.9	4.3	28.6	5.44	4.3	28.6
1100	3.8	3.9	5.8	31.5	6.64	5.8	31.5
1200	5.9	6.5	9.8	34.4	10.25	9.8	34.4
1300	7.0	8.4	12.6	37.2	12.24	12.6	37.2
1400	8.5	10.9	16.4	40.1	14.73	16.4	40.1
1500	8.9	12.3	18.4	43.0	15.49	18.4	43.0
1600	9.1	13.4	20.0	45.8	15.77	20.0	45.8
1700	10.1	15.8	23.6	48.7	17.50	23.6	48.7
1751	10.8	17.2	25.8	49.9	18.71	25.8	49.9



Observación

VESPA CON MOTOR ELECTRICO DE 4KW CON 6000 RPM MAX

- Motor: VESPA MOTOCICLETA ELECTRICA
- Temperatura:50,0°C; Presión:201,1 HPa; Humedad:100,0%
- Factor de Corrección: 1,498 (SAE J1349/2004)
- Momento de Inercia: 180,0000
- Relación de Transmisión: 5,000
- Rango del Ensayo: 500 rpm - 1800 rpm
- Tiempo de Aceleración: 24,68 s
- Tiempo de Marcha: 21:22
- Duración del Ensayo: 00:28

ANEXO 5: Resultados Detallados de la Prueba Numero 5 en Dinamómetro

A. Configuración y Condiciones de la Prueba

- **Identificación de la Prueba:** Pasada 5 de 5.
- **Fecha de Ejecución:** 2/12/2025
- **Instrumentación Utilizada:** Dinamómetro marca Accudyno

B. Datos Obtenidos en la Prueba 5

Potencia Máxima	21.5 HP @ 2027 rpm	
Torque Máximo	7.8 Kgm @ 2000 rpm	
	De 1000 rpm a 3800 rpm	De 1000 rpm a 0 rpm



Potencia Media	13.6 CV	0.2 CV
Torque Medio	5.7 LbFt	0.2 LbFt
Aceleración	49.44 s	0.00 S

RPM (r/min)	Torque [kgm]	Potencia [HP]	Potencia Corregida [HP]	Velocidad [km/h]	Aceleración Angular [rpm/min]	Potencia Rueda [HP]	Tiempo [s]
518	0.2	0.1	0.2	15.1	0.34	0.2	0.13
600	5.7	3.1	4.7	17.2	9.84	4.7	1.08
700	5.4	3.5	5.3	20.1	9.40	5.3	2.56
800	7.2	5.3	7.9	22.9	12.53	7.9	4.29
900	6.3	5.2	7.8	25.8	11.00	7.8	6.13
1000	5.2	4.7	7.1	28.6	8.95	7.1	8.40
1100	5.2	5.2	7.9	31.5	9.00	7.9	10.63
1200	5.6	6.2	9.2	34.4	9.69	9.2	12.69
1300	5.5	6.6	9.9	37.2	9.56	9.9	14.77
1400	5.6	7.2	10.7	40.1	9.65	10.7	16.87
1500	6.4	8.8	13.2	43.0	11.08	13.2	18.69
1600	7.4	10.9	16.3	45.8	12.86	16.3	20.24
1700	6.9	10.7	16.1	48.7	11.95	16.1	21.90
1800	6.1	10.0	15.0	51.6	10.52	15.0	23.79
1900	6.4	11.2	16.7	54.4	11.10	16.7	25.62
2000	7.8	14.3	21.4	57.3	13.49	21.4	27.11
2100	7.2	13.8	20.7	60.2	12.45	20.7	28.69
2200	6.1	12.3	18.4	63.0	10.54	18.4	30.53
2300	6.1	12.8	19.2	65.9	10.53	19.2	32.46
2400	5.7	12.6	18.9	68.8	9.95	18.9	34.42
2500	5.3	12.3	18.4	71.6	9.28	18.4	36.54
2600	5.0	11.9	17.8	74.5	8.62	17.8	38.80
2700	4.5	11.2	16.8	77.4	7.83	16.8	41.28
2800	4.1	10.6	15.9	80.2	7.17	15.9	43.99
2900	3.7	9.9	14.8	83.1	6.44	14.8	46.97
2988	3.3	9.0	13.4	85.3	5.68	13.4	49.56



Observación

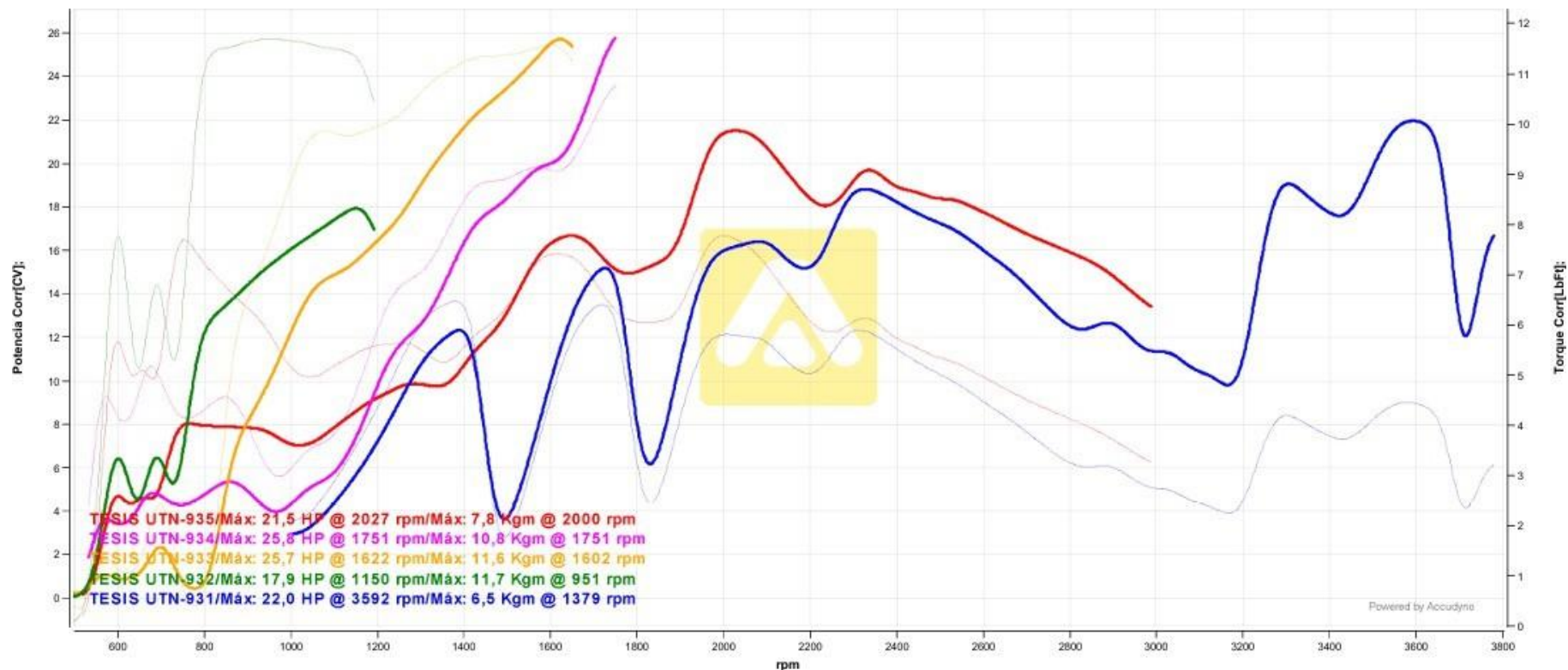
VESPA CON MOTOR ELECTRICO DE 4KW CON 6000 RPM MAX

- Motor: VESPA MOTOCICLETA ELECTRICA
- Temperatura: 50,0°C; Presión: 201,1 HPa; Humedad: 100,0%
- Factor de Corrección: 1,498 (SAE J1349/2004)
- Momento de Inercia: 180,0000
- Relación de Transmisión: 5,000
- Rango del Ensayo: 500 rpm - 3000 rpm
- Tiempo de Aceleración: 49,44 s
- Tiempo de Marcha: 24:50
- Duración del Ensayo: 00:59

C. Representaciones Gráficas de las 5 pruebas

Las siguientes figuras ilustran el desempeño de la motocicleta en términos de torque, potencia y revoluciones por minuto.

- Curva de Torque vs. Revoluciones por Minuto
- Curva de Potencia vs. Revoluciones por Minuto.





BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Rodríguez, Análisis, diseño y optimización del convertidor CC-CC bidireccional reductor-elevador con acoplamiento magnético, sep. 2021, Accedido: 25 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10016/33577>
- [2] W. Ortiz, Optimización de un sistema de embrague seco para aprovechar al máximo la transmisión de potencia del motor Renault k4j para un vehículo rally, abr. 2024, Accedido: 25 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5448>
- [3] I. Ahmed, A. Basit, M. Ahmad, M. AlMuhaini, y M. Khalid, Electric Mobility Challenges and Approaches for Sustainable Green Power Synergy in Smart Cities, *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 50, n.º 8, pp. 5323-5351, abr. 2025, doi: 10.1007/s13369-024-09838-1.
- [4] Y. BOUGHALEB, A. HAJJAJI, E. HLIL, y S. LAASRI, *Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Materials for Photonics, Sensing, and Energy Applications: AMPSECA 2024; 31 October-01 November, Marrakech, Morocco*. Springer Nature, 2025.
- [5] A. Valdés, M. Taño, M. Vilaragut, R. Díaz, D. Jiménez, y I. Energética, La bicicleta eléctrica en Cuba. Recomendaciones para su uso, vol. 43, p. 10, abr. 2022.
- [6] H. Cho, J. Park, Y. Han, G. Xu, y D. Sohn, Electromagnetic–thermal–mechanical coupling analysis of bent rotor straightening via electromagnetic induction heating, *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 11, n.º 6, pp. 283-299, dic. 2024, doi: 10.1093/jcde/qwae104.
- [7] H. Mujica y G. Espinosa-Pérez, Control No Lineal Basado en Pasividad de Motores de Inducción para Alto Desempeño Dinámico, *Rev. Iberoam. Automática E Informática Ind. RIAI*, vol. 11, n.º 1, pp. 32-43, ene. 2014, doi: 10.1016/j.riai.2013.08.001.
- [8] S. Khalid, Advanced Electric Propulsion Systems for Hybrid Electric Vehicles: Design, Control, and Performance Optimization, en *Hybrid Electric Vehicles and Distributed Renewable Energy Conversion: Control and Vibration Analysis*, IGI Global Scientific Publishing, 2025, pp. 1-54. doi: 10.4018/979-8-3693-5797-2.ch001.
- [9] D. Vangeneugden y N. Jursch, Optimal Systems Design of a Permanent Magnet Synchronous Motor for a Formula Student Vehicle, 2025, Accedido: 25 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://documentserver.uhasselt.be//handle/1942/46882>
- [10] M. Waseem, G. Lakshmi, M. Ahmad, y M. Suhaib, Energy storage technology and its impact in electric vehicle: Current progress and future outlook, *Energy*, vol. 6, p. 100202, ene. 2025, doi: 10.1016/j.nxener.2024.100202.
- [11] D. Hartman, G. Altamirano, y P. Suh, Flight Dynamics and Control Analysis for Motor Sizing and Failure Accommodation for a Lift+Cruise eVTOL Near Hover, presentado en The Vertical Flight Society's 81st Annual Forum & Technology Display, Virginia Beach, VA, may 2025. Accedido: 25 de



- noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://ntrs.nasa.gov/citations/20250003985>
- [12] B. Benbouya, Sliding Mode Control of an Electric Vehicle Driven by a New Powertrain Technology Based on a Dual-Star Induction Machine, *World Electr. Veh. J.*, vol. 15, n.º 4, p. 155, abr. 2024, doi: 10.3390/wevj15040155.
- [13] D. Giavanni, MOTOR TRACCIÓN ELÉCTRICO 3e2 e-Gearbox INDS, Cybercar. Accedido: 26 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://cybercar.es/producto/motor-traccion-electrico-3e2-e-gearbox-inds/>
- [14] D. Savitski *et al.*, Improvement of traction performance and off-road mobility for a vehicle with four individual electric motors: Driving over icy road, *J. Terramechanics*, vol. 69, pp. 33-43, feb. 2017, doi: 10.1016/j.jterra.2016.10.005.
- [15] D. Sagzhanov, L. Godirilwe, B. Altansukh, Y. Takasaki, y A. Shibayama, The Role of Sustainable Lithium Processing in Renewable Energy Development: A Comprehensive Review and the Potential of Kazakhstan Deposits, *Sustainability*, vol. 17, n.º 13, p. 5903, ene. 2025, doi: 10.3390/su17135903.
- [16] A. Singh *et al.*, Electric vehicle charging technologies, infrastructure expansion, grid integration strategies, and their role in promoting sustainable e-mobility, *Alex. Eng. J.*, vol. 105, pp. 300-330, oct. 2024, doi: 10.1016/j.aej.2024.06.093.
- [17] G. Escribano, Ecuador's Energy Policy Mix: Development versus Conservation and Nationalism with Chinese Loans, *Energy Policy*, vol. 57, pp. 152-159, jun. 2013, doi: 10.1016/j.enpol.2013.01.022.
- [18] C. Hall y H. van Asselt, Decarbonising the land transport sector: Pathways towards enhanced global governance, *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, vol. 140, p. 104601, mar. 2025, doi: 10.1016/j.trd.2025.104601.
- [19] P. Das, K. Hewage, R. Kotagodahetti, S. Wanniarachchi, y R. Sadiq, Lithium-ion battery recycling: a critical review of techno-economical and socio-environmental impacts, *Sep. Purif. Technol.*, vol. 382, p. 135847, feb. 2026, doi: 10.1016/j.seppur.2025.135847.
- [20] D. Pukazhselvan, K. Sandhya, D. Fagg, y F. Blaabjerg, The future of clean transportation: Hydrogen, batteries, ammonia, and green methane in perspective, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 226, p. 116286, ene. 2026, doi: 10.1016/j.rser.2025.116286.
- [21] S. Sivaranjani, K. Ramya, S. Sheebarani, J. Karthika, D. Gomathy, y N. Lakshmi, Impact of Converter Topologies on the Performance of Permanent Magnet Brushless DC Motor, *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, pp. 343-348, nov. 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.19.22088.
- [22] M. Megrini, A. Gaga, y Y. Mehdaoui, Review of Electric Vehicle Traction Motors, Control Systems, and Various Implementation Cards, may 2024, doi: 10.22098/joape.2024.13967.2077.
- [23] S. Mirnikjoo, M. Naidjate, J. Mahseredjian, N. Bracikowski, y P. Akiki, Detailed electromagnetic transient model of switched reluctance motor drive system, *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 251, p. 112230, feb. 2026, doi: 10.1016/j.epsr.2025.112230.
- [24] L. Raslavičius, A. Keršys, y R. Makaras, Management of hybrid powertrain dynamics and energy consumption for 2WD, 4WD, and HMMWV vehicles,



- Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, pp. 380-396, feb. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.109.
- [25] X. Fu, Understanding the adoption intention for electric vehicles: The role of hedonic-utilitarian values, *Energy*, vol. 301, p. 131703, ago. 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.131703.
- [26] A. White, Principios básicos de diseño para centro de control de motores, *Electricaplicada*. Accedido: 26 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://electricaplicada.com/principios-diseno-centro-control-motores/>
- [27] Y. Zou, Y. Yang, y Y. Zhang, Configuration and Parameter Design of Electrified Propulsion Systems for Three-Dimensional Transportation: A Comprehensive Review, *Green Energy Intell. Transp.*, p. 100286, mar. 2025, doi: 10.1016/j.geits.2025.100286.
- [28] N. Nasajpour-Esfahani, Comprehensive review of lithium-ion battery materials and development challenges, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 203, p. 114783, oct. 2024, doi: 10.1016/j.rser.2024.114783.
- [29] M. Mojumder, T. Nakib, M. Hasanuzzaman, y A. Abdel-Khalik, Advancements, challenges, and prospects of cost-effective electric vehicles: A review, *Alex. Eng. J.*, vol. 128, pp. 437-456, sep. 2025, doi: 10.1016/j.aej.2025.05.088.
- [30] K. Ngoy *et al.*, Lithium-ion batteries and the future of sustainable energy: A comprehensive review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 223, p. 115971, nov. 2025, doi: 10.1016/j.rser.2025.115971.
- [31] F. Fahma, W. Sutopo, E. Pujiyanto, y M. Nizam, Dynamic open innovation to determine technology-based interoperability requirement for electric motorcycle swappable battery, *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, vol. 10, n.º 2, p. 100259, jun. 2024, doi: 10.1016/j.joitmc.2024.100259.
- [32] D. de Souza, F. Salotti, I. Sauer, H. Tatizawa, A. de Almeida, y A. Kanashiro, A Performance Evaluation of Three-Phase Induction Electric Motors between 1945 and 2020, *Energies*, vol. 15, n.º 6, p. 2002, ene. 2022, doi: 10.3390/en15062002.
- [33] A. Sadono, O. Mahendra, R. Saputra, y E. Rijanto, *Dynamics and control simulation of DC series motor for electric vehicle in regenerative braking*. 2024. doi: 10.1063/5.0205710.
- [34] L. Devi, S. Sreekumar, R. Bhakar, D., y S. Padmanaban, Electric motor modeling, analysis, and design for E-mobility applications: A state of the art, *E-Prime - Adv. Electr. Eng. Electron. Energy*, vol. 12, p. 100985, jun. 2025, doi: 10.1016/j.prime.2025.100985.
- [35] J. Fleischer, D. Ceglarek, J. Franke, y C. Herrmann, Production technologies and systems for electric mobility, *CIRP Ann.*, vol. 74, n.º 2, pp. 1047-1072, ene. 2025, doi: 10.1016/j.cirp.2025.05.001.
- [36] G. Ulpiani, N. Vettors, y C. Maduta, Towards (net) zero emissions in the stationary energy sector: A city perspective, *Sustain. Cities Soc.*, vol. 97, p. 104750, oct. 2023, doi: 10.1016/j.scs.2023.104750.
- [37] S. Gebremariam y T. Wondie, Comparative analysis of electric motor drives employed for propulsion purpose of Battery Electric Vehicle (BEV) systems, *Int. J. Sci. Res. Arch.*, vol. 10, pp. 1097-1112, dic. 2023, doi: 10.30574/ijrsra.2023.10.2.1074.



- [38] D. Nguyen-Phuoc, T. Truong, N. An Nguyen, T. Luu, y D. Su, Intention to adopt electric motorcycles in developing markets: Examining the role of image, motivators and barriers through the behavioral reasoning theory framework, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 109, pp. 840-859, feb. 2025, doi: 10.1016/j.trf.2025.01.005.
- [39] H. Harrys, Nuevos players: Radiografía de las ventas de motocicletas eléctricas en Europa - Mobility Portal: Noticias sobre vehículos eléctricos. Accedido: 26 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://mobilityportal.lat/radiografia-de-las-motocicletas-electricas-en-europa/>
- [40] R. Albarado y J. Valladolid, Assessing the Growth of Electric and Hybrid Vehicles in Ecuador's Transportation Sector: 8th International Conference on Science, Technology and Innovation for Society, CITIS 2023, *Syst. Smart Technol. Innov. Soc. - Proc. CITIS 2023*, pp. 36-45, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-52090-7_4.
- [41] A. Rodríguez, J. Gonzalez-Gonzalez, y J. Aguado, Sizing Electric Battery Storage for Electric Racing Motorcycle, *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, pp. 383-387, abr. 2017, doi: 10.24084/repqj15.328.
- [42] H. Daulay, Conversion of motorcycles to electric vehicles towards sustainable mobility, *Glob. J. Environ. Sci. Manag.*, vol. 10, pp. 181-200, dic. 2024, doi: 10.22034/GJESM.2024.SI.12.
- [43] M. Waseem, G. Lakshmi, E. Sreeshobha, y S. Khan, An electric vehicle battery and management techniques: comprehensive review of important obstacles, new advancements, and recommendations, *Energy Storage Sav.*, vol. 4, n.º 1, pp. 83-108, mar. 2025, doi: 10.1016/j.enss.2024.09.002.
- [44] C. Yuniaristanto, W. Sutopo, M. Hisjam, y H. Wicaksono, Estimating the market share of electric motorcycles: A system dynamics approach with the policy mix and sustainable life cycle costs, *Energy Policy*, vol. 195, p. 114345, dic. 2024, doi: 10.1016/j.enpol.2024.114345.