UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN MOTOR ELÉCTRICO ADAPTADO PARA UN VEHÍCULO CONVERTIDO A ELÉCTRICO EN CIUDADES DE ALTURA"

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

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Campues Narváez Nayeli Brigithe

Reinoso Castro Anthony Andrés

DIRECTOR:

Ing. Benavides Cevallos Ignacio Bayardo, MSc

ASESOR:

Ing. Mafla Yepez Carlos Nolasco, PhD

Ibarra – Ecuador (2026)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago entrega del presente trabajo a la universidad técnica del norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Campues Narváez Brigithe Nayeli

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Reinoso Castro Anthony Andrés

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis del desempeño de un motor eléctrico adaptado para un vehículo convertido a eléctrico en ciudades de altura
AUTOR (ES):	Campues Narváez Brigithe Nayeli Reinoso Castro Anthony Andrés
FECHA: AAAAMMDD	2026/05/22
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	■ **GRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingenieria Automotriz
ASESOR / DIRECTOR:	PhD. Mafla Carlos / MSc. Benavides Ignacio

2. 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 22 días, del mes de Mayo de 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
BRIGITHE NAYELI
CAMPUES NARVAEZ

Firma: .....
Nombre: Campues Narváez Brigithe Nayeli

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ANTHONY ANDRES
REINOSO CASTRO

Firma: .....
Nombre: Reinoso Castro Anthony Andrés

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 22 de Mayo de 2026

MSc. Ignacio Benavides
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.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
IGNACIO BAYARDO
BENAVIDES CEVALLOS

(f) ……
MSc. Benavides Cevallos Ignacio Bayardo
C.C.: 1002415949

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "Análisis del desempeño de un motor eléctrico adaptado para un vehículo convertido a eléctrico en ciudades de altura" elaborado por Campues Narváez Nayeli Brigithe y Reinoso Castro Anthony Andrés, previo a la obtención del título de INGENIERO AUTOMOTRIZ, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
IGNACIO BAYARDO BENAVIDES CEVALLOS

(f) : …….
MSc. Benavides Cevallos Ignacio Bayardo
C.C.: 1002415949

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CARLOS NOLASCO MAFLA YEPEZ

(f): …….
PhD. Mafla Yepez Carlos Nolasco
C.C.: 0401447826

DEDICATORIA

A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida y mi apoyo para salir adelante. Gracias por todo el sacrificio que realizan día a día para que a ninguno de nosotros nos falte nada.

A mi madre Marcela, gracias por saber escucharme y darme consejos justo cuando más los necesito; por enseñarme que, mientras estés tú, tendré una amiga fiel en quien confiar. A mi padre Olger, quien me enseñó que ninguna carrera tiene género, sino que todo se puede cumplir a través de esfuerzo y dedicación.

A mi hermano Cristhian, que fue un ejemplo a seguir y, a pesar de la distancia, siempre estuvo para mí. A mi hermano Jean Carlos, quien me enseñó que con un abrazo se sana todo y por quien día a día lucho para ser una mejor persona y un ejemplo para él.

A mi Estelita, quien en el corto tiempo que estuvo conmigo me cuido como una más de sus hijas y siempre estuvo ahí apoyándome.

A Anthony, mi compañero de vida, quien creyó en mí incluso cuando yo no lo hacía; quien llegó en el momento menos esperado y se convirtió en la mejor persona que puedo tener, mi fuerza en mis momentos débiles y quien con su apoyo me ayudó a cumplir mis metas.

A mis compañeras de cuatro patas, Mili y Maya, cuya presencia me acompañó incluso en los días más difíciles y con su cariño me recordaron que, incluso en la soledad, nunca estuve sola.

Nayeli Campues

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi amada madre, Estela, quien ha sido mi mayor motivo e inspiración. Gracias por ser la mujer que me enseñó a nunca rendirme y por mantener siempre una fe inquebrantable en mí.

A mi padre, Luis, el hombre que me inculcó el amor por esta hermosa profesión y que, con sus sabios consejos, siempre me guía para ser un hombre de bien.

A mis hermanas, Elizabeth, Mayra y Diana, quienes han sido un pilar fundamental durante todo este trayecto universitario y en cada etapa de mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado, por no dejarme solo en los momentos más difíciles y por ser esas mujeres excepcionales que siempre creyeron en mí y anhelaron con todo el corazón verme triunfar.

A mis abuelos maternos, Carlos y Sixta, quienes siempre estuvieron para mí y tomaron el lugar de mi madre.

A Nayeli Campues, mi compañera, amiga y enamorada, quien ha sido mi apoyo y compañía.

A mis amigos, Marcela y Olger, por ser quienes me acogieron en su hogar, me apoyaron y me motivaron a seguir luchando por mis estudios.

Anthony Reinoso

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecemos a Dios por guiarnos en cada paso que damos y por iluminarnos para seguir siendo personas de bien.

Agradecemos a nuestras familias, quienes con su apoyo incondicional hicieron posible que cumpliéramos esta meta tan anhelada. Ellos supieron orientarnos en los momentos en que dábamos todo por perdido; cuando dejamos de confiar en nosotros mismos, siempre nos brindaron palabras de aliento, demostrándonos que están presentes en las buenas y en las malas.

Agradecemos a cada uno de nuestros docentes por el conocimiento brindado en las aulas. En especial, expresamos nuestra gratitud al MSc. Ignacio Benavides y al MSc. Carlos Mafla, quienes han sabido guiarnos con paciencia y profesionalismo en todo este trabajo de grado.

Finalmente, agradecemos Al Sr. Bryan Trujillo, quien nos ha enseñado que nunca es tarde para aprender. Ha sido un maestro, un compañero y un excelente consejero en todo este transcurso de aprendizaje.

Campues Nayeli & Reinoso Anthony

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación se fundamenta en la necesidad de transitar hacia una movilidad sostenible para reducir las emisiones contaminantes generadas por los motores de combustión interna, evaluando la efectividad de la electrificación automotriz. En este contexto, el objetivo general fue analizar el desempeño de un motor eléctrico adaptado en un vehículo convertido en ciudades de altura. La metodología consistió en pruebas de caracterización mecánica utilizando un dinamómetro de chasis y una evaluación térmica mediante una prueba experimental en ruta. Los resultados más relevantes demostraron un comportamiento dinámico superior a las estimaciones teóricas, registrando un torque en las ruedas de 55 Nm y una velocidad máxima de 110 km/h en la quinta marcha, lo que evidenció un incremento del 21.95% en la fuerza respecto al modelo ideal; de igual forma, el desempeño térmico demostró que la menor densidad del aire no afectó la refrigeración, ya que el motor alcanzó una temperatura máxima de 69 °C, manteniendo un margen de seguridad del 40.3% frente al límite de activación de su válvula de alivio térmico. En conclusión, la integración del sistema de propulsión eléctrica es efectiva, logrando una eficiencia real del tren motriz del 86% en relación directa, lo cual valida que la adaptación electromecánica opera de manera óptima y segura frente a las exigencias topográficas y atmosféricas de las ciudades de altura.

Palabras clave: Conversión vehicular, eficiencia energética, enfriamiento motor eléctrico, par y potencia, tren motriz eléctrico, motor de inducción.

ABSTRACT

This research work is based on the need to move towards sustainable mobility to reduce polluting emissions generated by internal combustion engines, evaluating the effectiveness of automotive electrification. In this context, the general objective was to analyze the performance of an electric motor adapted in a converted vehicle in high-altitude cities. The methodology consisted of mechanical characterization tests using a chassis dynamometer and a thermal evaluation through an experimental road test. The most relevant results demonstrated a dynamic behavior superior to theoretical estimates, recording a wheel torque of 55 Nm and a maximum speed of 110 km/h in fifth gear, which evidenced a 21.95% increase in force compared to the ideal model ; similarly, the thermal performance showed that the lower air density did not affect cooling, as the motor reached a maximum temperature of 69 °C, maintaining a safety margin of 40.3% against the activation limit of its relief valve. In conclusion, the integration of the electric propulsion system is effective, achieving a real powertrain efficiency of 86% in direct gear, which validates that the electromechanical adaptation operates optimally and safely against the topographic and atmospheric demands of high-altitude cities.

Keywords: Vehicle conversion, energy efficiency, electric motor cooling, torque and power, electric powertrain, induction motor.

LISTA DE SIGLAS

MCI. Motor de combustión interna

CO_2. Dióxido de carbono

CO. Monóxido de carbono

NO_x. Óxido de nitrógeno

PM. Material particulado

EV. Vehículo eléctrico

CC. Corriente continua

CA. Corriente alterna

MI. Motor de inducción

DTC. Control directo de torque

FOC. Control orientado al campo

SRM. Motores de reluctancia conmutada

SiC. Carburo de silicio

PWM. Modulación por ancho de pulso

MLI. Inversores multinivel

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I 17
1 INTRODUCCIÓN 17
1.1 Problema de investigación 17
1.2 Justificación 17
1.3 Objetivos 18
1.3.1 Objetivo general 18
1.3.2 Objetivos específicos 18
1.4 Alcance 19
CAPÍTULO II 20
2 MARCO TEÓRICO 20
2.1 Historia de los vehículos eléctricos 20
2.1.1 Historia de los vehículos convertidos de MCI a EV 21
2.2 Motores eléctricos 23
2.2.1 Tipos de motores eléctricos 23
2.2.2 Tipos de motores eléctricos utilizados para la conversión de MCI a EV 26
2.2.3 Tipos de motores eléctricos utilizados en EV 28
2.3 Efecto de la altitud en el rendimiento de motores eléctricos 30
2.4 Refrigeración en vehículos eléctricos 31
2.4.1 Enfriamiento por aire 32
2.4.2 Refrigeración por inyección de aceite 32
2.4.3 Refrigeración en inversores de tracción 33
2.4.4 Gestión térmica en baterías 33
2.4.5 Refrigeración en electrónica de potencia 34
2.5 Tren motriz de un vehículo eléctrico convertido 34
2.5.1 Motor eléctrico 34
2.5.2 Batería 35
2.5.3 Convertidor reductor CC/CC 35
2.5.4 Inversor de tracción 35
CAPÍTULO III 37
3 MATERIALES Y MÉTODOS 37
3.1 Materiales 37
3.1.1 Especificaciones técnicas de los componentes del kit de conversión 37
3.1.2 Parámetros técnicos iniciales del motor eléctrico y del tren motriz del vehículo 38
3.1.3 Controlador MC3336 96-108V 38
3.1.4 Motor eléctrico 39
3.1.5 Convertidor reductor CC/CC 40
3.1.6 Baterías 41
3.1.7 Caracterización mecánica de la caja de cambios 42
3.2 Método 43
3.2.1 Análisis del torque ideal en las ruedas y multiplicación de par 43
3.2.2 Cálculos de las velocidades máximas ideales en cada marcha 44
3.2.3 Eficiencia máxima teórica del tren motriz ($\boldsymbol{PR}\eta$) 45

3.2.4 Rendimiento y refrigeración del motor eléctrico en ciudades de altura....46
3.2.5 Estudio del comportamiento del motor eléctrico junto con otros componentes 47
3.2.6 Determinar la eficiencia energética del motor eléctrico en ciudades de altura....48
CAPÍTULO IV....50
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES....50
4.1 Comparación de los datos ideales vs reales del par en las ruedas....50
4.2 Contraste de resultados de velocidad máxima....51
4.3 Contraste de la eficiencia real vs ideal....52
4.4 Refrigeración del motor mediante válvula de alivio térmico....52
4.5 Comportamiento del motor con otros elementos de la conversión....53
4.5.1. Prueba en segunda marcha y a 30km/h....53
4.5.2. Prueba en tercera marcha y a 40km/h....55
4.5.3. Prueba en cuarta marcha y a 50km/h....56
4.5.4. Prueba en quinta marcha y a 60km/h....57
4.5.5. Prueba dinámica en ruta simulada en Dinamómetro....59
4.6 Eficiencia energética en condiciones de altitud....60
4.7 Discusión de resultados....61
CAPÍTULO V....64
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....64
5.1. Conclusiones....64
5.2. Recomendaciones....65
BIBLIOGRAFÍA....66
ANEXOS....72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes seleccionados para la electrificación del vehículo 22
Tabla 2: Elementos del kit de conversión 38
Tabla 3: Datos técnicos del controlador MC3336 39
Tabla 4: Datos técnicos del motor eléctrico 40
Tabla 5: Datos técnicos del convertidor reductor CC-CC 41
Tabla 6: Datos técnicos de las baterías 42
Tabla 7: Relación de la caja de cambios del Corsa Wind 42
Tabla 8: Cálculo del par ideal en las ruedas 44
Tabla 9: Velocidad máxima en cada marcha (ideal) 45
Tabla 10: Comparación de resultados de par en las ruedas 50
Tabla 11: Comparación de resultados de velocidad máxima 51
Tabla 12: Eficiencia del vehículo 52
Tabla 14: Resultados de la prueba en segunda marcha 54
Tabla 15: Resultados de la prueba en tercera marcha 55
Tabla 16: Resultados de la prueba en cuarta 57
Tabla 17: Resultado de prueba en quinta 58
Tabla 18: Potencia de entrada a diferentes marchas 60
Tabla 19: Potencia de salida a diferentes marchas 61
Tabla 20: Eficiencia a diferentes marchas 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vehículo eléctrico de General Motor EV 1 21
Figura 2: Vehículo eléctrico "e-BUG" 22
Figura 3: Clasificación de motores eléctricos 25
Figura 4: Motor de corriente continua con escobillas 27
Figura 5: Motor de corriente continua sin escobillas 28
Figura 6: Motor de inducción 29
Figura 7: Método de enfriamiento por aire 32
Figura 8: Sistema motriz de vehículos eléctricos convertidos 36
Figura 9: Controlador del vehículo convertido 38
Figura 10: Motor eléctrico del vehículo convertido 39
Figura 11: Convertidor del vehículo convertido 40
Figura 12: Baterías LiFePO4 41
Figura 13: Vehículo convertido a eléctrico 42
Figura 14: Método a utilizar 43
Figura 15: Comparación entre la potencia de entrada vs potencia de salida 51
Figura 16: Evolución de la temperatura del motor vs límite de seguridad 53
Figura 17: Rendimiento del motor en segunda marcha 54
Figura 18: Rendimiento del motor en tercera marcha 56
Figura 19: Rendimiento del motor en cuarta marcha 57
Figura 20: Rendimiento del motor en quinta marcha 58
Figura 21: Resultados prueba dinámica 60

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Par en las ruedas 44
Ecuación 2: Velocidad máxima 45
Ecuación 3: Eficiencia del tren motriz 46
Ecuación 4: Potencia de entrada 48
Ecuación 5: Potencia de salida 48
Ecuación 6: Eficiencia 49

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

La contaminación es un problema de carácter mundial además de que cada día se agrava en proporciones incontrolables, una parte de la contaminación es provocada por las emisiones de Motores de Combustión Interna (MCI), siendo así el monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre los contaminantes que más afectan a la calidad del aire [1].

El parque automotor del Ecuador cuenta con más de la tercera parte de vehículos antiguos matriculados, en el 2023 los vehículos antiguos matriculados que van desde el año 2009 y años anteriores son aproximadamente 33% [2]. Lo que incrementa la cantidad de emisiones contaminantes al medio ambiente, los mismo que al utilizar combustible fósil y realizar el proceso de combustión interna, expulsan a la atmosfera Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Material Particulado (PM) con sus siglas en ingles [3].

Ecuador es uno de los países que se encuentra en la posición 125 en el ranking de países que más contaminan, el transporte es uno de los sectores más contaminantes para el país, emitiendo aproximadamente 2.8 millones de toneladas de CO_2. El combustible está regulado por la norma EURO 3 teniendo un retraso de 24 años, este retraso hace que 56 partes por millón de azufre por kilómetro recorrido sean permitidos dentro del mismo [4].

Factores como emisiones de vehículos de combustión interna, calidad del combustible y los años de antigüedad del parque automotor del Ecuador son determinantes para saber cuál es el sector que más aporta en cuanto se trata a contaminación, por lo tanto, este problema debe ser abordado

1.2 Justificación

El cambio hacia una movilidad sostenible se ha convertido en una necesidad global para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y controlar el impacto ambiental de los vehículos de combustión interna, vehículos que emanan componentes tales como el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas además de dióxido de carbono.

Este proyecto de investigación está centrado en la conversión del motor de un vehículo de combustión interna a un motor eléctrico en el mismo vehículo, dando uso a componentes ya existentes dentro del mismo, enfocándose netamente en la eficiencia del motor eléctrico en

ciudades de altura las mismas que se ven afectadas por la presión atmosférica y la temperatura ambiente.

Existen varios beneficios en cuanto a la conversión de motores de combustión interna con motores eléctricos, ya que no existirían emisiones de gases contaminantes para la atmosfera, reducirán la contaminación auditiva, evitaran el uso de refrigerantes que son dañinos para el ambiente y representan más costos, además de obtener mayor eficiencia energética [1].

Un motor de combustión interna es menos eficiente que un motor eléctrico debido a que un motor eléctrico puede entregar hasta un 90% de eficiencia mientras que un motor de combustión interna entrega máximo un 25%, de esta manera comprobando que el torque, potencia, transmisión y otras características son más eficientes en el motor eléctrico que en el motor de combustión interna [2].

Por otro lado, esto permitirá analizar las emisiones y eficiencia de la conversión de motores, insertando nuevas tecnologías, promoviendo la economía del país y fomentar la movilidad sostenible dentro del país. Cumpliendo con el objetivo 8 del Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025, Impulsar la conectividad como fuente de desarrollo y crecimiento económico y sostenible [3]. Además, la presente investigación se relacionará con los ODs 7, 9 y 13 los cuales hacen énfasis en promover el uso de energía eléctrica como una alternativa de energía asequible y no contaminante (ODs 7), fomentar una adaptación tecnología innovadora mediante la transformación de un vehículo de combustión interna a eléctrico (ODs 9) y con esto estaríamos cumpliendo con el (ODs 13) ya que, estaríamos promoviendo el uso de motores eléctricos los cuales ayudarían a reducir las emisiones contaminantes para el medio ambiente [4].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar el desempeño de un motor eléctrico adaptado en un vehículo convertido en ciudades de altura.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar los parámetros técnicos iniciales del motor eléctrico y del tren motriz del vehículo para tener un punto de referencia en el estudio de la eficiencia energética.
- Evaluar el rendimiento y refrigeración del motor eléctrico tomando en cuenta la presión atmosférica en ciudades de altura.

- Estudiar el comportamiento del motor eléctrico junto con otros componentes, tales como acople de la caja de cambios, inversores y batería.
- Determinar la eficiencia energética del motor eléctrico en ciudades de altura.

1.4 Alcance

Este estudio se enfocará en analizar el desempeño de un motor eléctrico adaptado para un vehículo convertido a eléctrico en ciudades de altura. Para ello, este estudio contará con las siguientes etapas: En primer lugar, se investigará los diferentes tipos de motores eléctricos y sus parámetros técnicos. En segundo lugar, se seleccionará un vehículo de combustión interna al cual se lo va a convertir a eléctrico. En tercer lugar, una vez adaptado el motor eléctrico al vehículo se realizará diferentes pruebas en dos ciudades donde la altura es mayor a 2000 ms.n.m, para comprobar cuál es su eficiencia energética y evaluar la refrigeración del motor eléctrico tomado en cuenta la presión atmosférica. Por último, se evaluará la relación de la caja de cambios y el motor eléctrico tomando en cuenta las diferentes condiciones en ciudades de altura, manteniendo las características iniciales del vehículo.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Historia de los vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos con sus siglas en inglés (EV) fueron diseñados y fabricados con el fin de mejorar la eficiencia de un vehículo con la inclusión de motores eléctricos que brinden la eficiencia superior a la de los motores de combustión interna. Lorand menciona que los EV son impulsados por máquinas eléctricas que son más eficientes que cualquier motor de combustión interna. Su otra gran ventaja es que no emiten ninguna sustancia nociva durante su funcionamiento [5].

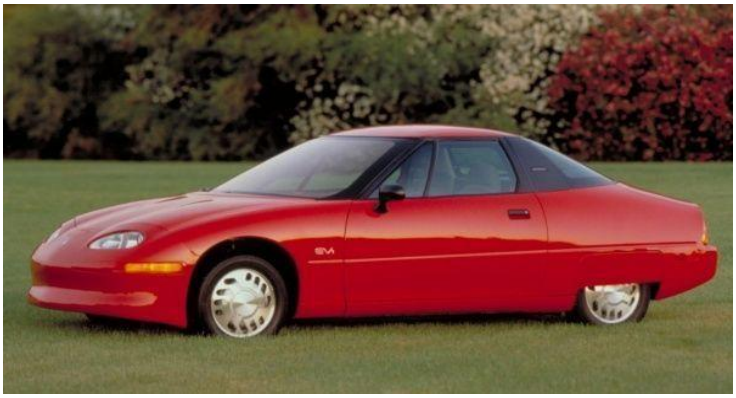
Los EV no tienen un autor definido ya que la historia habla de muchos inventores, en 1828 se tiene un vehículo propulsado por un motor eléctrico creado por el húngaro Ányos Jedlik, entre 1830 y 1840 Robert Anderson invento un carruaje impulsado por un motor eléctrico, en 1842 ya se utilizaba las baterías no recargables donde Davenport y Davidson fueron los primeros en utilizarlas, con el paso del tiempo se fue mejorando la calidad y autonomía de las baterías [6].

El siglo XIX quedo marcado en la historia como el año en el que surgieron los motores eléctricos y junto con estos las baterías. En el año de 1898 se empiezan a producir y comercializar modelos iniciales de EV en ciudades como Nueva York y Londres, al inicio las baterías controlaban la potencia y fuerza de estos vehículos ya que se conectaban en serie o paralelo para obtener más potencia o más fuerza además los primeros vehículos poseían motores de corriente continua [7].

Los EV se volvieron famosos después de que Camille Jenatzy rompiera el récord de velocidad con su EV al cual lo denominaba “La Jamais Contente”, el belga supero los 100 Km/h, por último, General Motors fue uno de los fabricantes en poner dentro del mercado a los vehículos denominados EV1, a partir de 1996 comenzaron a fabricar los EV1 hasta el 2003, llegando a fabricar tan solo 1117 unidades [8].

Desde este punto en adelante los EV eran producidos por distintas marcas, lo que hizo que esta tecnología ya sea común dentro de la industria automotriz, ahora los mayores fabricantes de EV es la marca Tesla, los cuales ya ofrecen más autonomía de la batería, carga rápida para vehículos entre otras cosas usando más tecnología que los primeros vehículos eléctricos, incluso dentro de la industria automotrices ya se usan motores eléctricos, convertidores, baterías, para realizar una conversión de un vehículo con motor de combustión interna a un EV.

Figura 1: Vehículo eléctrico de General Motor EV 1



Tomado de: Estévez.R, Pioneros de la electromovilidad, 2015 [9].

2.1.1 Historia de los vehículos convertidos de MCI a EV

La tecnología de los vehículos eléctricos se ha venido desarrollando durante años sin embargo no existe un registro oficial de cuál fue el primer vehículo convertido de MCI a EV, por tanto no existe una reseña del estudio de la conversión de vehículos, al ser una tecnología nueva se tiene muy pocos detalles del como lo hicieron, este estudio se centrara en buscar detalles o datos importantes que han sucedido con los vehículos convertidos iniciando desde Europa hasta Ecuador para tener una reseña histórica y analizar cómo han venido manejando estas conversiones.

En Europa específicamente en Madrid se tiene que Basurco [10] menciona que la conversión a eléctrico de un vehículo convencional el cual se trata de un MINI 1275 GT del año 1971, la autora acota que este trabajo sirve para poner en marcha la transformación de un MCI a EV dentro del cual se tomara en cuenta los parámetros específicos de diseño acorde al vehículo además menciona que este diseño se lo hará a partir de un estudio dinámico y de análisis por lo cual inicia con el estudio de los elementos involucrados y también se estudia el acoplamiento, obteniendo así el diseño de las diferentes partes y los elementos que sean necesarios, llegando a la conclusión de que los componentes usados para esta electrificación se los expresa en la **Tabla 1**.

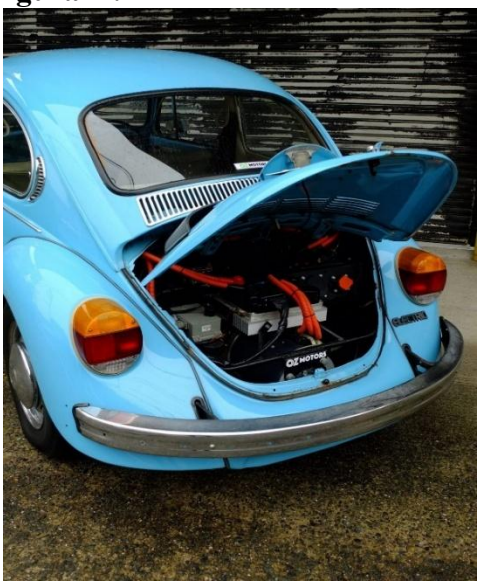
Tabla 1: Componentes seleccionados para la electrificación del vehículo

Componente	Componente seleccionado
Motor/inversor	Motor and inverter integrated Motive MV275
Unidad de control	TM4 NEURO 200
Convertidor	High Voltage DC/DC Converter Generation 3evo
Baterías	KOKAM EV Battery Type 4 – 20 kWh
Bomba de vacío	Depresor eléctrico
Pedal acelerador	Sensor potenciómetro
Cargador	3.3kW 72V, 84V, 96V, 144V, 312V, 540V Battery Charger

Tomado de: Basurco A, Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna, 2020 [10].

En el continente asiático la empresa más antigua que realiza conversión de vehículos está ubicada en Japón y su nombre es OZ MOTORS EV CONVERSION la misma que en su registro tiene como primer vehículo convertido un Volkswagen tipo 1 o el "escarabajo" como se lo conoce comúnmente en todo el mundo, el escarabajo es un EV convertido que conserva la transmisión manual de 4 velocidades, permitiendo una experiencia de conducción más interactiva, su sistema de propulsión, con una potencia de 135 caballos de fuerza, recibe energía a través de un inversor central conectado a cables de alto voltaje característicos de los sistemas eléctricos automotrices, este vehículo emplea una batería de iones de litio reutilizada del Nissan Leaf, con una capacidad estándar de 12 kWh, ubicada detrás de los asientos traseros. Esta configuración le otorga una autonomía mínima de 60 km por carga, con la posibilidad de ampliarse hasta 18 kWh o 24 kWh para un mayor rango de operación. Además, cuenta con un sistema de carga estándar compatible con 100 V y 200 V [11].

Figura 2: Vehículo eléctrico "e-BUG"



Tomado de: Corporación OZ, OZ MOTORS, 2021 [11].

Colombia se posiciona como uno de los países latinoamericanos con mayor avance en la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos, consolidándose como un referente regional en esta materia. A pesar de la ausencia de un marco regulatorio específico, el país ha logrado registrar más de un centenar de conversiones, un hito que refleja el dinamismo de este sector. Este progreso ha sido impulsado, en gran medida, por iniciativas privadas y el respaldo de asociaciones comprometidas con la promoción de la movilidad eléctrica. No obstante, el proceso enfrenta desafíos significativos, entre los que destaca la falta de estandarización en los kits de conversión, cuya procedencia mayoritaria de China carece, en muchos casos, de controles de calidad rigurosos. Pese a estas limitaciones, el crecimiento sostenido de esta industria en Colombia evidencia que la conversión de vehículos es una alternativa viable para acelerar la transición hacia la movilidad eléctrica, contribuir a la reducción de emisiones contaminantes y fortalecer el tejido industrial local[12].

En el contexto del avance de la movilidad eléctrica en Ecuador, el primer proyecto de conversión vehicular desarrollado por Roco Performance Ecuador representa un hito significativo en la transición hacia la sostenibilidad, consistiendo en la adaptación de un vehículo de combustión interna mediante la integración de un sistema de propulsión eléctrica que optimiza la eficiencia energética y reduce las emisiones contaminantes, lo cual no solo permite extender la vida útil del vehículo original sino que también disminuye los costos operativos y de mantenimiento al eliminar la dependencia de combustibles fósiles, consolidando esta conversión como una demostración de innovación que establece un precedente para futuras iniciativas de electrificación vehicular a nivel nacional [13].

2.2 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son capaces de transformar la energía eléctrica en energía mecánica mediante el principio de inducción electromagnética, estos generan un campo magnético a partir de una corriente eléctrica produciendo una fuerza capaz de generar movimiento rotatorio; existen varios tipos de motores eléctricos, tales como: motores de Corriente Continua (CC) y motores de Corriente Alterna (CA), cada uno con características diferentes los cuales los hacen efectivos para la aplicación en diversas áreas industriales y de transporte [14].

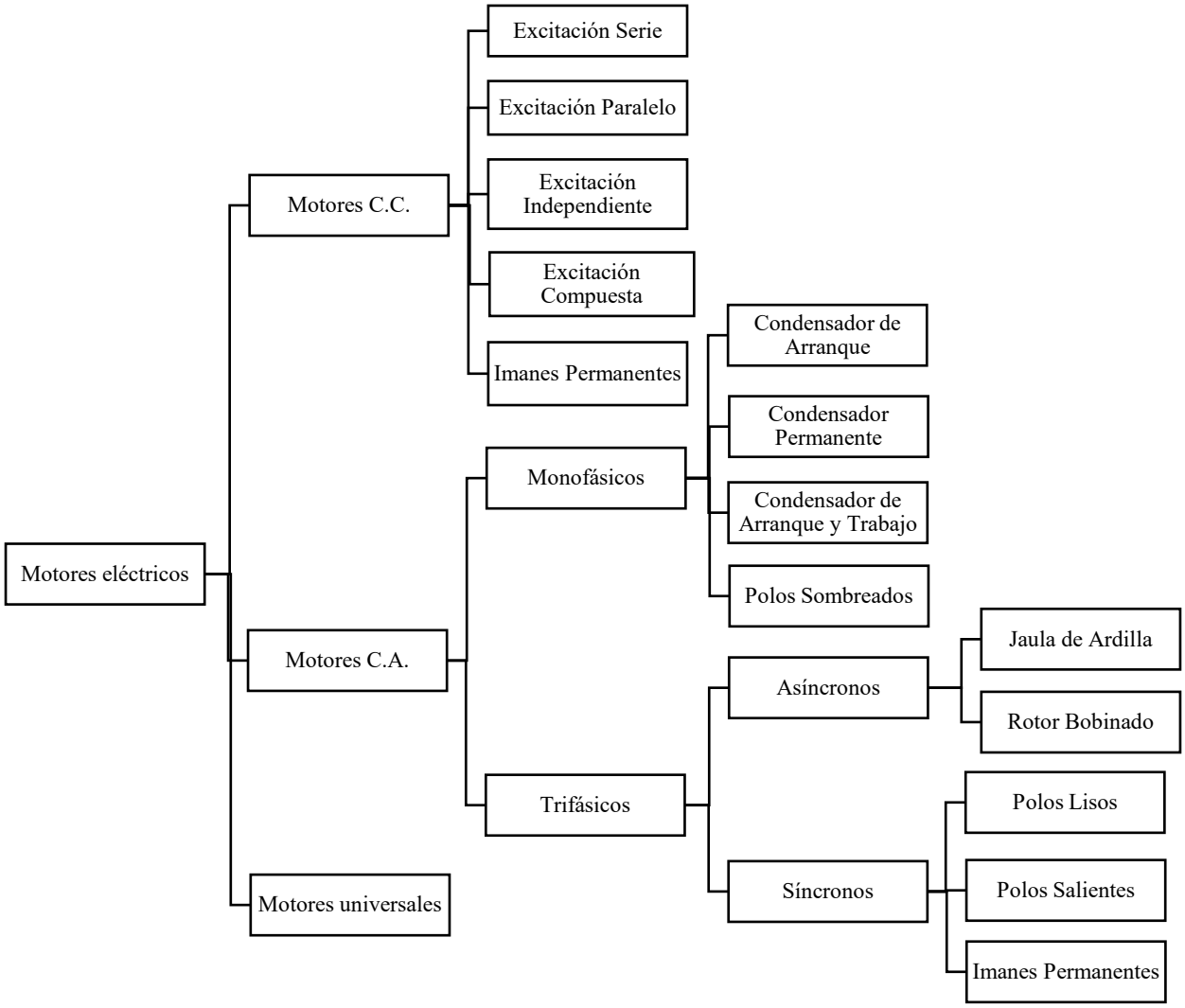
2.2.1 Tipos de motores eléctricos

Las maquinas eléctricas se han convertidos en una parte fundamental para la evolución de nuevos avances en la ingeniería moderna, convirtiéndolas así en una herramienta indispensable.

Los motores eléctricos se dividen en dos grandes grupos los cuales se los pueden clasificar según el tipo de corriente que utilizan, estos pueden ser de CC o CA, funcionan a través de la interacción de sus bobinados las cuales crean un campo magnético; con la fuerza de atracción y repulsión que crean estos campos magnéticos, la cual es suficiente para genera un torque el cual nos ayude a romper la inercia del motor [15].

Existen diversos tipos de motores eléctricos, y cada uno tiene sus ventajas y limitaciones dependiendo de la aplicación. Los motores de CC son bastante populares debido a su simplicidad y facilidad de control, pero presentan desafíos en cuanto al mantenimiento, especialmente por el desgaste de las escobillas [16]. Por otro lado, los motores de CA, particularmente los de inducción, son muy apreciados por su durabilidad y eficiencia en aplicaciones de vehículos eléctricos, aunque requieren sistemas de control más complejos [17]. Además, los motores síncronos de imán permanente están ganando terreno gracias a su alta eficiencia y bajo mantenimiento, lo que los hace adecuados para vehículos eléctricos que demandan un rendimiento superior [18].

Figura 3: Clasificación de motores eléctricos



Tomado de: R.D, Clasificación y fundamentos de motores eléctricos, 2024 [15].

La elección del motor adecuado para la conversión depende de varios aspectos, entre ellos el tipo de conducción, el clima, el peso del vehículo y, por supuesto, el presupuesto del proyecto de conversión. Además, la integración del motor con otros sistemas del vehículo, como el sistema de gestión térmica y los inversores, también juega un papel esencial en determinar el rendimiento general del vehículo eléctrico convertido. Es por ello que se debe realizar una planificación adecuada en la selección del motor eléctrico puede marcar la diferencia entre una conversión exitosa y una que no cumpla con las expectativas de rendimiento [19].

Con el uso de motores eléctricos la industria automotriz a cambiando significativamente llegando a convertir MCI a un vehículo propulsado por un motor eléctrico. Con estas conversiones

se está ayudando significativamente al medio ambiente, reduciendo así las emisiones ocasionadas por los MCI.

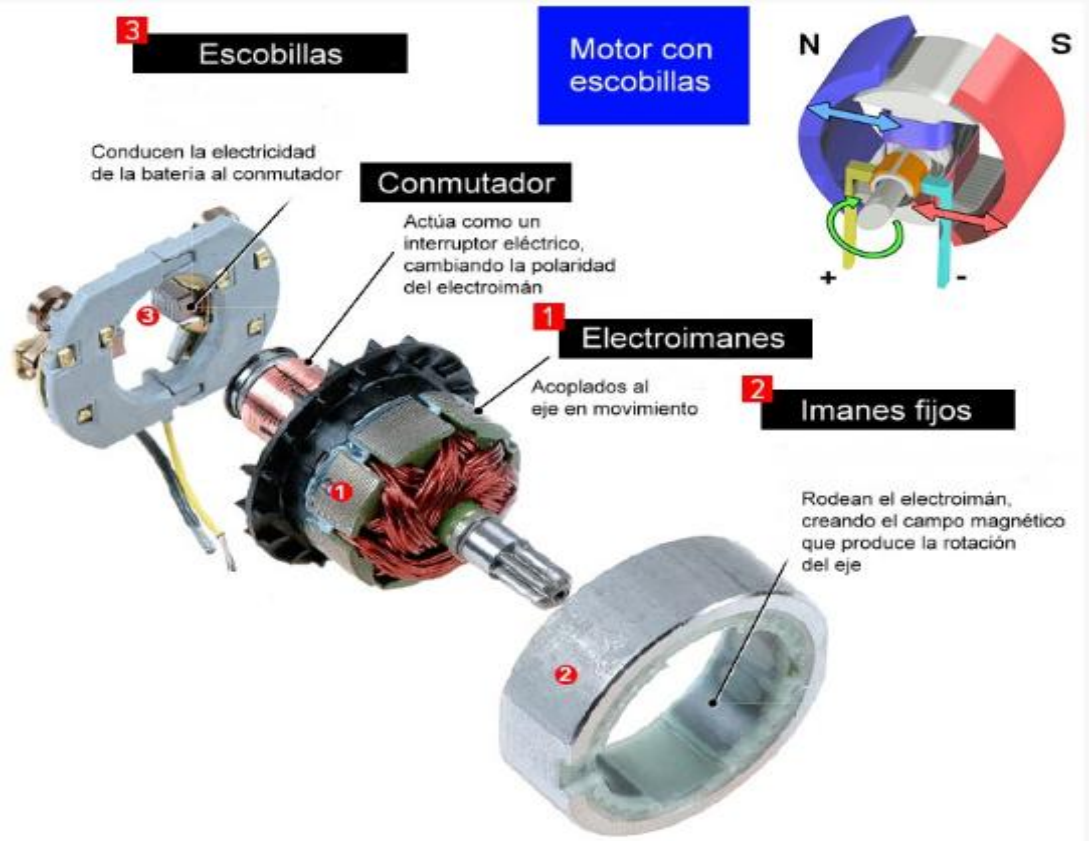
2.2.2 Tipos de motores eléctricos utilizados para la conversión de MCI a EV

La conversión de MCI a vehículos eléctricos EV está ganando popularidad, principalmente debido a la creciente preocupación por la contaminación y la eficiencia energética. Este proceso implica reemplazar un MCI y los sistemas asociados por un motor eléctrico que, en general, se alimenta de energía almacenada en baterías recargables. Este cambio no solo contribuye a la reducción de emisiones contaminantes, sino que también ofrece una alternativa más económica a largo plazo al disminuir los costos operativos derivados de los combustibles fósiles [20].

Para realizar la conversión de un MCI a un EV se debe tener una definición precisa de los objetivos de desempeño y la finalidad operativa de la transformación. Resulta indispensable analizar de manera técnica si los requerimientos del sistema priorizan el incremento del torque o el aumento de la potencia nominal del tren motor, una vez evaluados estos parámetros, se procede a la selección del tipo de motor eléctrico cuyas características se ajusten a las necesidades de cada individuo.

Se menciona anteriormente que un motor eléctrico se debe adaptar a las necesidades de quien lo vaya a usar por ende en este apartado se va a hablar acerca de los tipos de motores más usados para las conversiones, según Sunarto [21] menciona que el motor eléctrico que más se utiliza para realizar este tipo de conversiones en un motor CC con escobillas, este motor a diferencia de los demás es más fácil de comprender su funcionamiento, pero una gran desventaja de estos es que cuentan con un conmutador mecánico el cual debe realizar un mantenimiento periódicamente debido a su desgaste temprano, por otro lado el motor de inducción se diseñó sin conmutador mecánico, este fue diseñado con un controlador de velocidades el cual es más complicado de comprender, pero ofrece una mayor eficiencia.

Figura 4: Motor de corriente continua con escobillas



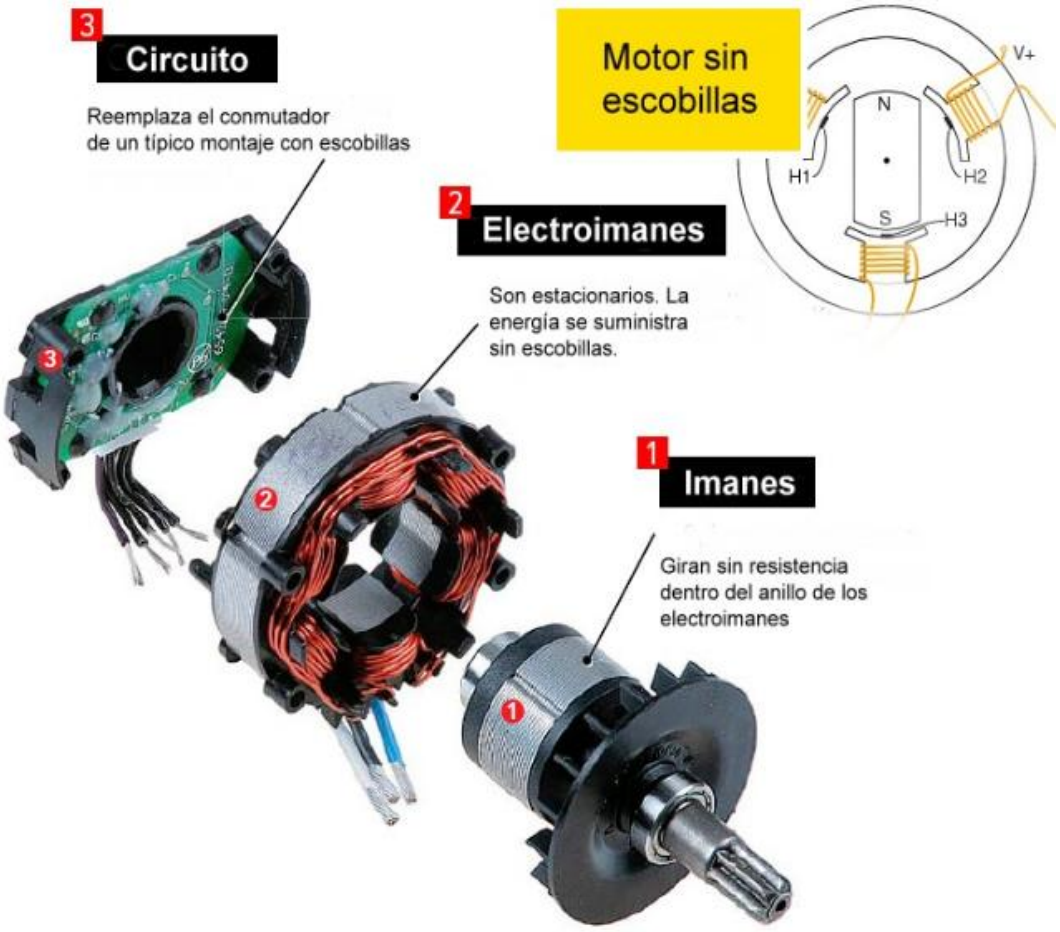
Tomado de: De máquinas y herramientas, Motores eléctricos brushless, 2018 [22].

Otro de los motores eléctricos utilizados para la conversión es un motor de CC bobinado en serie 48-72V, el cual al estar conectado en serie nos ofrece un par motor muy grande, aunque su velocidad es variable, al aumentar el peso de los vehículos el cual utiliza estos motores disminuye su velocidad, en este caso de estudio al motor que se menciona con anterioridad se los acopla con un ultra condensador para poder verificar como este puede llegar a mejorar la eficiencia del motor, la autonomía, la duración de la batería, logrando que el motor pueda aumentar su rendimiento, su autonomía y su eficiencia en los diferentes campos en los cuales se lo va a utilizar [23].

En diversos casos no siempre se necesita que un motor eléctrico entregue niveles de potencia y torque elevados, pero que entregue una autonomía la cual supere las 8 horas, como es el siguiente caso donde se realiza la conversión de un vehículo el cual transporta diversos accesorios dentro de una empresa, para ello no es necesario querer ganar potencia porque la velocidad máxima a lo que se puede acceder es de 25 km/h y su capacidad de carga deberá ser de

500 kg, teniendo en cuenta estas característica el autor menciona que se puede utilizar diferentes tipos de motores eléctricos, para esta conversión se escoge un motor de CC sin escobillas, estos tipos de motores son utilizados en diversas campos porque nos ofrece una eficiencia y capacidad de control sumamente alta [24].

Figura 5: Motor de corriente continua sin escobillas



Tomado de: De máquinas y herramientas, Motores eléctricos brushless, 2018 [22].

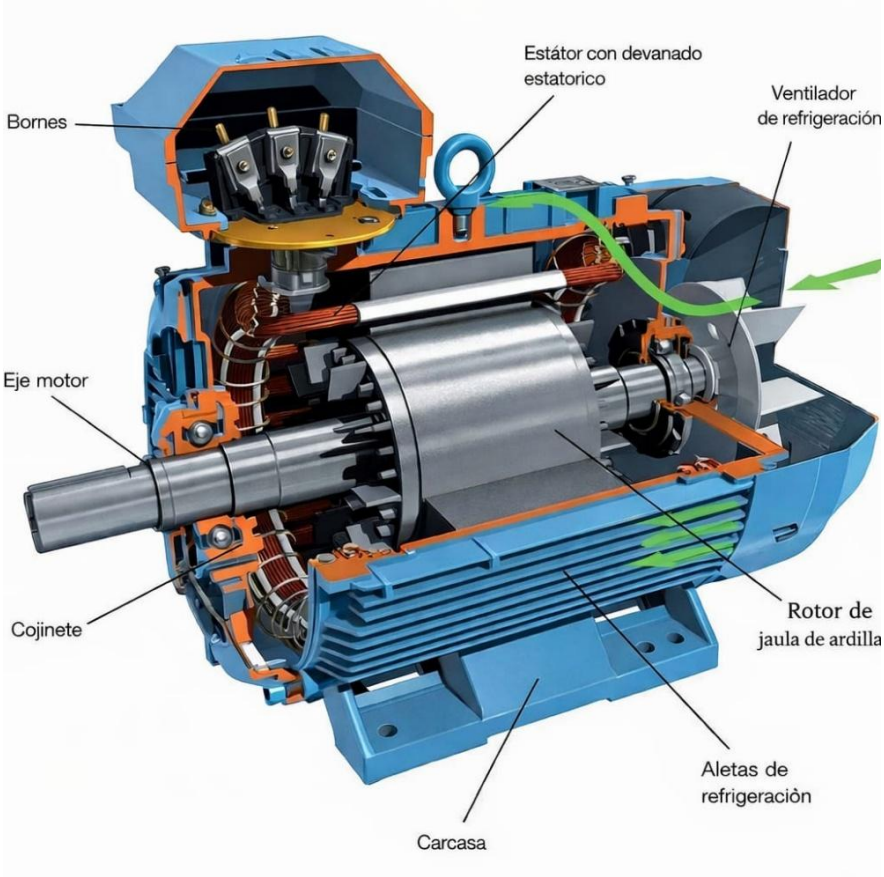
2.2.3 Tipos de motores eléctricos utilizados en EV

Dentro del campo de aplicación de los motores asíncronos o de inducción están los que se aplican a los EV, estos motores tienen varias ventajas las cuales son: alta eficiencia, coste bajo, fiabilidad, poco ruido, vibraciones casi nulas y par constante, por ello estos motores son ampliamente reconocidos en la industria automotriz y son utilizados en modelos de Tesla Motors [25].

Según Mustafa [26], los Motores de Inducción (MI) son ampliamente utilizados en EV debido a su fiabilidad, robustez, bajo costo y requerimientos mínimos de mantenimiento. Carecen de escobillas y conmutadores, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren alta durabilidad y eficiencia energética. Además, los MI sobresalen por su capacidad para alcanzar rápidamente las velocidades deseadas, optimizando procesos como la aceleración y el frenado regenerativo. Gracias a controles avanzado como el Control Directo de Torque con sus siglas en inglés (DTC) y el Control Orientado al Campo con sus siglas en inglés (FOC), estos motores permiten un seguimiento preciso de la velocidad y una gestión eficiente del consumo energético.

En la selección de motores eléctricos, los MI han demostrado ser altamente eficientes. Para su control, se emplea el FOC, que regula el par motor mediante un control de flujo y corriente, resultando ventajoso en aplicaciones que requieren un control preciso del torque. Esta configuración ha demostrado ser efectiva en EV que necesitan una respuesta rápida y eficiente del sistema de propulsión [27].

Figura 6: Motor de inducción



Tomado de: Maquinas eléctricas, Funcionamiento del motor de inducción, 2019, [28].

Por otro lado, los Motores de Reluctancia Conmutada con sus siglas en inglés (SRM) se han convertido en una opción competitiva debido a su construcción simple y robusta. Al eliminar la necesidad de imanes permanentes, se reducen los costos de fabricación y se incrementa la tolerancia a fallos mecánicos. Los SRM se destacan por su capacidad para operar en un amplio rango de velocidades, mostrando un buen rendimiento incluso en condiciones de sobrecarga. Sin embargo, debido a su estructura sobresaliente, enfrentan desafíos como el rizado de torque y el ruido electromagnético, lo que limita su utilización en algunas aplicaciones [29].

2.3 Efecto de la altitud en el rendimiento de motores eléctricos

En las ciudades de altura, los vehículos eléctricos enfrentan condiciones ambientales que influyen significativamente en el rendimiento de sus motores eléctricos. Una de las principales variables afectadas es la densidad del aire, que disminuye con la altitud. Aunque los motores eléctricos no dependen del oxígeno para su funcionamiento, como los motores de combustión interna, esta disminución de la densidad del aire afecta los sistemas de gestión térmica y enfriamiento, ya que el aire menos denso reduce la eficiencia de los sistemas de enfriamiento por convección natural o forzada [30].

La gestión térmica es crítica para mantener el rendimiento, la durabilidad del motor y la electrónica de potencia, como inversores y controladores. En altitudes elevadas, el sistema de enfriamiento debe trabajar más para disipar el calor generado, lo que podría incrementar el consumo energético y reducir la autonomía del vehículo [31]. Estudios han demostrado que, en altitudes superiores a los 2500 ms.n.m, los sistemas de refrigeración líquida suelen ser más efectivos que los sistemas basados únicamente en aire, especialmente durante operaciones de alta demanda, como subidas prolongadas o conducción en pendientes pronunciadas [32].

Además, los sistemas regenerativos también pueden verse afectados indirectamente. En entornos de altura, las variaciones de temperatura y presión pueden influir en la eficiencia de los frenos regenerativos, reduciendo marginalmente la recuperación de energía cinética durante la desaceleración [33]. Sin embargo, este impacto es menos significativo en comparación con los desafíos de la gestión térmica.

A pesar de estos desafíos, los vehículos eléctricos presentan una ventaja inherente sobre los de combustión interna en altitudes elevadas. Los motores eléctricos mantienen su rendimiento prácticamente constante independientemente de la presión atmosférica, en contraste con los

motores de combustión, que experimentan una pérdida de potencia debido a la reducción de oxígeno disponible para la combustión [16].

Con normalidad un motor eléctrico está diseñado para aplicarse en presión del aire y humedad normales, a esto se atribuye una altura por debajo de los 1000 ms.n.m. como una altura adecuada para trabajar y no tener inconvenientes con la temperatura y refrigeración de este, un motor eléctrico deberá operar en este caso en altitud con el aire menos denso y presión baja [34].

Principalmente, la altitud afectará el rendimiento de un motor eléctrico debido a los cambios en la densidad del aire, este problema tendrá repercusiones en la eficiencia del motor y en su sistema de enfriamiento, además, debido a las modificaciones en la fuerza dieléctrica del aire, existe una regla empírica que indica que la sobre elevación de la temperatura puede reducirse en 1°C por cada 100 metros de altura [35].

Sin embargo los EV o sus motores no experimentaran una pérdida de energía, esto debido a que los EV no requieren aire para funcionar a diferencia de los MCI, debido a esta diferencia los EV no experimentaran ninguna perdida de potencia, en lo que si influye la altitud o el terreno montañoso es en la autonomía que brindara la batería además de incrementar la temperatura de la misma, además existen motores que tienen torque constante esto hará que la conducción sea suave, además no se disminuirá la potencia [36].

En cuanto a la temperatura de los motores eléctricos se tiene que un motor genera calor debido a perdidas internas por fricción, por lo cual para no sobrecalentar el motor este debe expulsar este calor al ambiente y para hacerlo necesita un electroventilador que cumpla el trabajo de un radiador o intercambiador de calor [37].

Ahora bien, si se habla de eficiencia de un vehículo eléctrico convertido esta eficiencia dependerá de muchos factores como la temperatura de trabajo de la batería, si la batería esta con elevada temperatura el vehículo debe ver la manera de enfriarla, por otro lado, si la batería no tiene la temperatura de trabajo perderá eficiencia [38].

2.4 Refrigeración en vehículos eléctricos

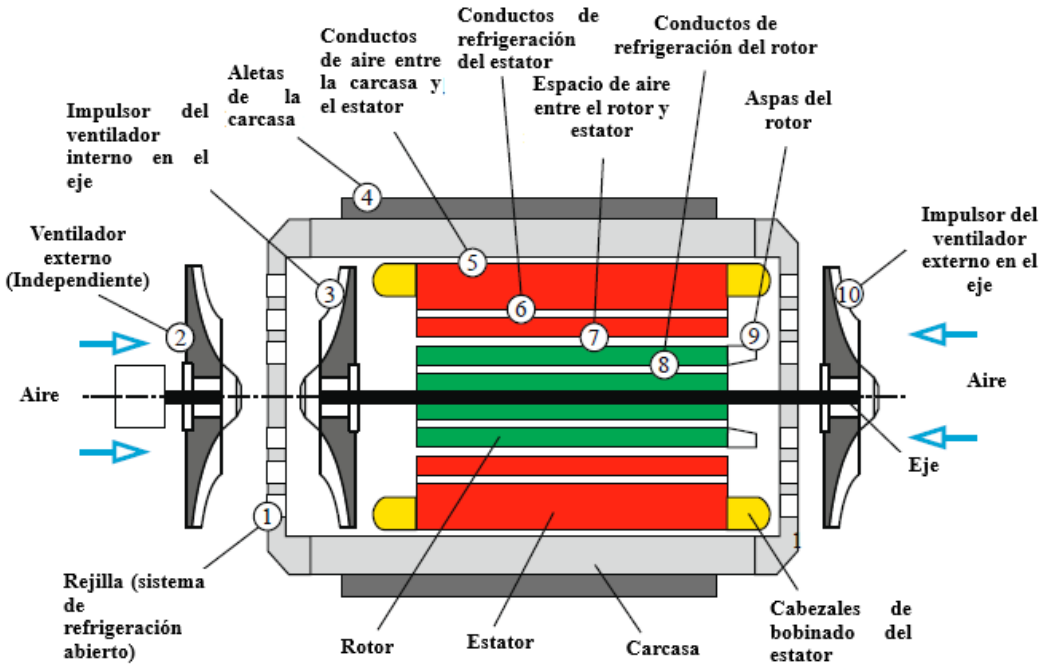
La gestión térmica eficiente es un aspecto crítico en el diseño y operación de los EV, ya que el aumento en la densidad de potencia de sus componentes genera una cantidad significativa de calor que puede afectar negativamente su rendimiento, vida útil y eficiencia, entre los componentes más sensibles a las altas temperaturas se encuentran los motores eléctricos, los

inversores de tracción, las baterías de iones de litio y la electrónica de potencia; en este contexto, se han desarrollado diversas estrategias de refrigeración para abordar estos desafíos térmicos [39].

2.4.1 Enfriamiento por aire

El enfriamiento por aire en motores eléctricos es la más común debido a que dentro de la fabricación del motor se puede diseñar aletas o ductos de circulación de aire lo cual hace más económico y de fácil mantenimiento, por otro lado, el aire puede ser sustituido por hidrógeno, nitrógeno entre otros gases nobles mismos que pueden ayudar a que sea más eficaz. Debido a que el proceso de transferencia de calor por convección es bajo se aplican técnicas de enfriamiento tanto interno como externo en los motores eléctricos en cuanto a las técnicas se tienen las aletas externas, ductos internos al rotor y ventiladores internos, entre otros métodos que vuelven más eficiente este enfriamiento.

Figura 7: Método de enfriamiento por aire



Tomado de: Konovalov, D. et al., Recent Developments in Cooling Systems and Cooling Management for Electric Motors, 2023 [40].

2.4.2 Refrigeración por inyección de aceite

En el caso de los motores eléctricos, el calor generado durante su operación puede reducir el torque y la eficiencia, así como acortar su vida útil, tradicionalmente, se han utilizado sistemas de refrigeración por camisa de agua, pero recientemente, la refrigeración por inyección de aceite

ha surgido como una alternativa más efectiva; estudios recientes han evaluado diferentes configuraciones de inyección de aceite, considerando factores como la ubicación de las boquillas, el tipo de aceite y las tasas de flujo, se ha demostrado que la inyección combinada con aceite Novec es la configuración más eficiente, logrando reducir la temperatura del devanado a 113.7 °C y mejorando el torque y la eficiencia del motor hasta un 96.84 %; este enfoque no solo optimiza la disipación de calor, sino que también contribuye a un mejor rendimiento general del motor [39].

2.4.3 Refrigeración en inversores de tracción

Los inversores de tracción, encargados de convertir la corriente continua de las baterías en corriente alterna para los motores, también enfrentan desafíos térmicos significativos debido a las altas densidades de flujo de calor y la compactación de los sistemas, los métodos tradicionales de refrigeración líquida, aunque efectivos, presentan problemas como fugas en áreas de alto voltaje y dificultades de integración; como alternativa, se ha desarrollado un sistema de refrigeración basado en tubos de calor, especialmente diseñado para inversores de carburo de silicio (SiC), este sistema mantiene la temperatura de unión del chip por debajo de 142 °C, con una uniformidad térmica de ±5 °C, lo que permite soportar cargas de potencia máximas sin degradación del rendimiento, además, los tubos de calor ofrecen ventajas adicionales, como mayor confiabilidad, menor peso y ausencia de riesgo de fugas, en comparación con los sistemas de refrigeración líquida convencionales [41].

2.4.4 Gestión térmica en baterías

La temperatura es un factor crítico en el rendimiento y la vida útil de las baterías de iones de litio, que son el componente central de los vehículos eléctricos, para controlar el calor generado por las reacciones electroquímicas, se emplean métodos de refrigeración activa y pasiva; los sistemas de refrigeración líquida, que utilizan agua, aceites de silicona o mezclas de glicol, han demostrado ser una solución eficiente debido a su alta capacidad de transferencia de calor, un enfoque emergente es la integración de bombas de calor basadas en refrigerantes, que ofrecen una gestión térmica más eficiente en climas extremos, aunque presentan desafíos adicionales en términos de diseño y control del sistema [42].

Otra técnica avanzada es la refrigeración por inmersión directa, en la que las celdas de la batería están sumergidas en un fluido dieléctrico, este método permite una disipación de calor uniforme y evita la formación de puntos calientes, logrando una tasa de enfriamiento de hasta 4.18 °C/min, sin embargo, su implementación en vehículos eléctricos móviles sigue siendo un reto

debido a los costos asociados y la necesidad de fluidos aislantes específicos; paralelamente, los sistemas de cambio de fase han sido estudiados por su capacidad para absorber y liberar calor sin necesidad de energía adicional, aunque enfrentan problemas de adaptación a cambios de temperatura y posibles fugas de material [42].

2.4.5 Refrigeración en electrónica de potencia

La electrónica de potencia, que incluye componentes como transistores bipolares de compuerta aislada y semiconductores de banda ancha, también requiere soluciones de refrigeración avanzadas debido a su alta disipación térmica; entre las técnicas más prometedoras se encuentra la refrigeración por micro canales, que puede disipar hasta 1000 W/cm², aunque presenta desafíos como caídas de presión significativas, otra alternativa es el sistema de chorro de impacto, que permite una refrigeración localizada con alta eficiencia térmica, pero enfrenta problemas de distribución uniforme del flujo térmico [43].

Una solución innovadora es el uso de nano fluidos en sistemas de enfriamiento por aspersión , donde la alta conductividad térmica de los nanomateriales mejora la capacidad de transferencia de calor de los fluidos base, estos sistemas pueden manejar densidades de flujo de calor superiores a 1000 W/cm², reduciendo la formación de puntos calientes y prolongando la vida útil de la electrónica de potencia, no obstante, el uso de nano fluidos presenta desafíos como la estabilidad de la suspensión y la compatibilidad con los materiales del sistema de enfriamiento, lo que requiere más investigación antes de su implementación comercial [43].

2.5 Tren motriz de un vehículo eléctrico convertido

2.5.1 Motor eléctrico

Dentro del tren motriz de un vehículo eléctrico convertido, motor eléctrico es el generar movimiento mediante la transformación de energía eléctrica a energía mecánica, esta transformación permite el desplazamiento del EV convertido, además de esta función el motor eléctrico proporciona el torque y la potencia necesarios para el movimiento, y su eficiencia es clave para optimizar el rendimiento del EV [14].

El funcionamiento del motor eléctrico se basa en un rotor y un estator; el estator, componente estático, genera un campo magnético, mientras que el rotor, que contiene bobinas de cableado, gira dentro del campo magnético generado, este movimiento del rotor permite que el motor inicie el proceso de conversión de energía, produciendo así el movimiento requerido para el vehículo eléctrico [44].

2.5.2 Batería

Para mover un EV, es indispensable contar con energía eléctrica, la cual es almacenada en baterías que actúan como acumuladores de energía; estas baterías almacenan la electricidad necesaria para que el motor funcione y mueva el vehículo, el proceso de recarga es sencillo: las baterías se conectan a un tomacorriente que les suministra corriente, permitiendo que almacenen energía y la liberen durante el funcionamiento del EV; una vez que la energía se agota, el proceso de recarga se repite de manera similar [45].

El funcionamiento de las baterías puede explicarse de la siguiente manera: están compuestas por una serie de celdas que incluyen un electrodo positivo de litio u óxidos metálicos y un electrodo negativo de carbono, durante la carga, una corriente eléctrica fluye a través de la batería, causando que los iones de litio se desplacen del electrodo negativo al positivo, cuando la batería se descarga para alimentar el motor eléctrico, los iones regresan al electrodo negativo, liberando la energía almacenada [46].

2.5.3 Convertidor reductor CC/CC

Donde hay una batería, es común encontrar un convertidor de tensión, este dispositivo es esencial para modificar los parámetros eléctricos de la batería, ya sea elevando o reduciendo la energía que llega al motor eléctrico, esto permite ajustar el par y la potencia según las necesidades del vehículo, el convertidor está compuesto por un rectificador con diodos y el banco de baterías asociado[47].

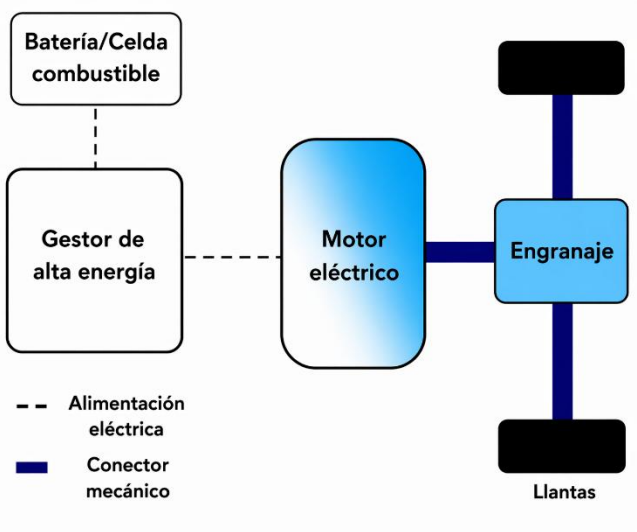
Los bancos de baterías de litio o de otros compuestos suelen operar con voltajes que oscilan entre 100 y 800 voltios, dependiendo de la cantidad de celdas y el tamaño del banco, el convertidor se encarga de reducir este voltaje para que los demás componentes del vehículo reciban los valores adecuados, asimismo, en situaciones que demanden mayor potencia o torque, el convertidor puede exigir más corriente de la batería para garantizar el suministro de energía al motor eléctrico [10].

2.5.4 Inversor de tracción

El inversor de tracción es un componente fundamental en el sistema de propulsión de los EV, ya que convierte CC almacenada en la batería en CA para alimentar el motor eléctrico, su función principal es modular la energía suministrada al motor, regulando tanto la velocidad como el torque mediante técnicas de modulación por ancho de pulso con sus siglas en inglés (PWM), los inversores de dos niveles son comúnmente utilizados en vehículos eléctricos comerciales, con dispositivos de conmutación como transistores de potencia, sin embargo, en aplicaciones de alta

potencia, como en trenes y autobuses eléctricos, los inversores multinivel con sus siglas en inglés (MLI) presentan ventajas significativas, incluyendo menor distorsión armónica total, mayor eficiencia y mejor calidad de la señal de salida, además, el uso de baterías de alto voltaje ha impulsado la adopción de MLIs debido a su capacidad para operar con menores niveles de corriente, lo que optimiza la gestión térmica y reduce las pérdidas por conmutación [10].

Figura 8: Sistema motriz de vehículos eléctricos convertidos



Tomado de: Sambhavi Y. Vijaya, Ramachandran Vijayapriya, Thermal management of electric vehicle (EV) battery using various cooling methods: A review, 2023 [48].

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de este capítulo se detallan los materiales además de la metodología que se utilizara para analizar, evaluar, estudiar y determinar el comportamiento de un motor eléctrico en condiciones de altitud, de la misma manera complementa para lograr entender cómo se comporta el motor con los demás componentes de la conversión además de comprender por qué mantiene la caja de cambios del vehículo original.

3.1 Materiales

Como materiales principales se tiene la pantalla digital instalada en el vehículo que se encuentra en el Anexo I, la misma que nos servirá con información de potencia, voltaje, corriente, temperatura y porcentaje de batería, esta información será de gran utilidad más adelante para cálculos de potencia eléctrica de entrada del vehículo convertido.

Por otro lado, se tiene al dinamómetro que servirá para obtener datos de potencia y torque en cada una de las marchas mismas que serán usadas para observar el comportamiento del motor con otros componentes, se tiene además la Bascula E-Z Weight Scale que servirá para tomar el peso del vehículo convertido. La programación del controlador del vehículo se la realizará mediante el software Enpowersci, esta programación servirá para modificar parámetros de autonomía y potencia, además la podemos encontrar en el Anexo I. un multímetro con termocuplas ayudará a medir la temperatura del motor durante los tramos trazados, además una pinza amperimétrica que servirá para encerar el dinamómetro de chasis y así ver el consumo de corriente que tiene el motor eléctrico.

3.1.1 Especificaciones técnicas de los componentes del kit de conversión

El análisis técnico del kit de conversión consiste en la identificación y descripción detallada de los componentes que integran el sistema de propulsión eléctrica. Al definir sus especificaciones técnicas, se establece la base comparativa necesaria para evaluar el desempeño del vehículo durante las pruebas experimentales. En la **Tabla 2**, se detallan los elementos principales que conforman dicho sistema.

Tabla 2: Elementos del kit de conversión

Elementos	Especificaciones
Controlador AC	MC3336 96-108V
Convertidor CC-CC aislado	96-108/12-50A
Cargador	CH4100 96-108V 25A
Motor AC	96-108V
Batería	Batería de Litio 104V 100AH+BMS
Bomba de vacío	-
Indicador de descarga de batería	-

Tomado de: Roco Ecuador, cotización referencial, 2025.

3.1.2 Parámetros técnicos iniciales del motor eléctrico y del tren motriz del vehículo

El punto de partida de esta investigación se centrará en el motor eléctrico y el tren motriz del EV. Primero, se registrarán los datos iniciales de estos componentes, obtenidos de sus fichas técnicas y gráficas. Estos datos de referencia serán esenciales para, posteriormente, compararlos con los resultados obtenidos durante las pruebas en banco o en ruta y así evaluar el desempeño. A continuación, se detallan datos de los componentes del kit de conversión:

3.1.3 Controlador MC3336 96-108V

El controlador MC3336 que se encuentra en la **Figura 9** es el componente principal de la gestión electrónica y de potencia del tren motriz, tiene doble función, convierte la energía CC de la batería a la CA necesaria para el motor y actúa como controlador mediante el uso de algoritmos sofisticados de control vectorial. Con este control nos permite un manejo preciso del par y la velocidad en diversas condiciones de conducción. Los datos técnicos de este componente clave se presentan a continuación en la **Tabla 3**

Figura 9: Controlador del vehículo convertido

Tabla 3: Datos técnicos del controlador MC3336

Datos técnicos	
Especificaciones	MC3336 96-108V / 850A
Rango de voltaje de entrada (CC/V)	80 - 125
Corriente de salida máxima (CA/A)	500
Corriente de salida nominal (CA/A)	120
Voltaje de arranque del controlador (CC/V)	55
Potencia de salida máxima (kW)	55
Temperatura de funcionamiento (°C)	-30 a 55
Eficiencia (%)	98
Refrigeración	Por aire
Peso (Kg)	5,7

Tomado de: Inpower, CO, Ltda, MC3336, 2019.

3.1.4 Motor eléctrico

El motor de inducción de AC que se encuentra en la **Figura 10** es un componente clave dentro del tren motriz eléctrico, se identifica principalmente por la capacidad de generar una curva de potencia y par motor extremadamente eficiente en un rango de operación. A diferencia de los DC, el motor de inducción AC ofrece un rango mejorado de potencia y puede alcanzar más rpm, por lo cual tiene la capacidad de impulsar vehículos de hasta 2200kg a velocidades de hasta 120km/h. Los datos técnicos del motor eléctrico se presentan a continuación en la **Tabla 4**

Figura 10: Motor eléctrico del vehículo convertido

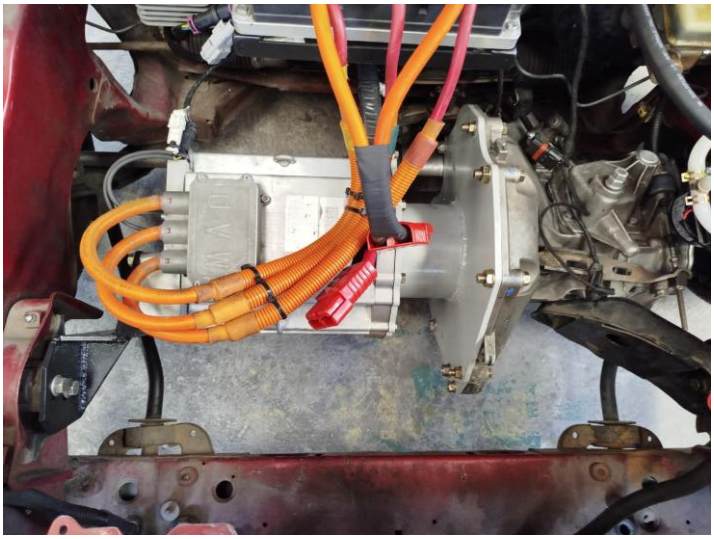


Tabla 4: Datos técnicos del motor eléctrico

Datos técnicos	
Especificaciones	Motor de inducción AC
Modelo	Y131220006
Potencia nominal (kW)	18
Potencia máxima (kW)	40
Par nominal (Nm)	57,3
Par máximo (Nm)	150
Voltaje nominal (V)	76
Velocidad nominal(rpm)	3000
Velocidad máxima (rpm)	7500
Conexión	Y
Eficiencia (%)	90
Peso (Kg)	54

Tomado de: Inpower, CO, Ltda, MC3336, 2019

3.1.5 Convertidor reductor CC/CC

El convertidor reductor CC-CC que se encuentra en la **Figura 11** es un componente clave en un vehículo eléctrico ya que funciona principalmente como un convertidor reductor, ya que toma la alta tensión de la batería que es de 108V y lo reduce a la baja tensión que es de 12V. Este proceso es fundamental para cargar la batería auxiliar de 12V la cual es utilizada para energizar los sistemas auxiliares de baja tensión del vehículo.

Estos convertidores se distinguen por su alta eficiencia, lo que asegura una mínima perdida de energía, además por sus protocolos de seguridad incluyen un aislamiento galvánico y protecciones integradas contra cortocircuitos y sobrecargas. Los datos técnicos del convertidor se presentan a continuación en la **Tabla 5**.

Figura 11: Convertidor del vehículo convertido

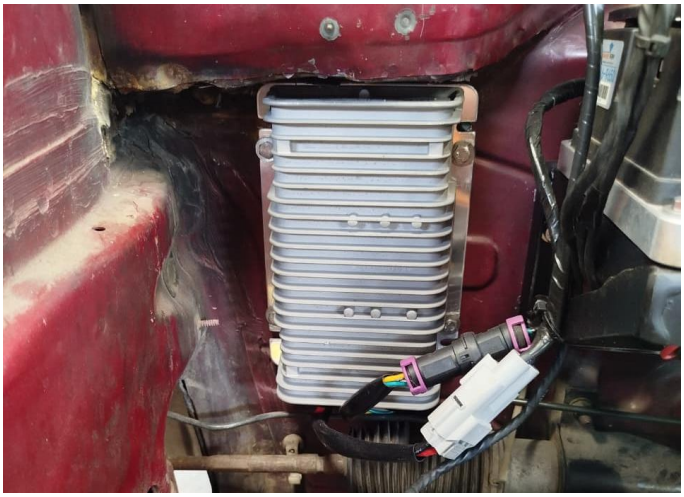


Tabla 5: Datos técnicos del convertidor reductor CC-CC

Datos técnicos	
Voltaje nominal de entrada	DC 96V/DC108V
Voltaje nominal de salida	14,0V ±1%
Corriente nominal de entrada	10A /11A
Corriente nominal de salida	72A
Rango de voltaje de entrada	72 - 162 V
Tiempo de activación	-0,5
Potencia máxima	1200W durante 6 minutos
Eficiencia	≥94%

Tomado de: Inpower, CO, Ltda, MC3336, 2019.

3.1.6 Baterías

El sistema de almacenamiento de energía principal del vehículo que se encuentra en la **Figura 12** está compuesto por un paquete de baterías de LiFePO4, configuradas para dar un voltaje nominal de 108V. La elección de estas baterías en vehículos eléctricos es esencial ya que tiene propiedades intrínsecas lo que nos ayuda a la seguridad y longevidad. También tienen una estabilidad térmica superior en comparación con otras baterías de litio, lo que reduce drásticamente riesgos de fugas térmicas, además se destacan por su larga vida útil y un elevado número de ciclos de carga y descarga. Los datos técnicos de las baterías se presentan a continuación en la **Tabla 6**.

Figura 12: Baterías LiFePO4

Tabla 6: Datos técnicos de las baterías

Datos técnicos	
Propiedades químicas	LiFePO4
Numero de celdas	32
Voltaje nominal mínimo por celda (V)	3,2
Voltaje nominal máximo por celda (V)	2,4
Voltaje nominal máximo (V)	108
Voltaje nominal mínimo (V)	96
Intensidad nominal (Ah)	100
Configuración	1P32S
Autonomía (km)	50 a 60

Tomado de: Inpower, CO, Ltda, MC3336, 2019

3.1.7 Caracterización mecánica de la caja de cambios

En el vehículo Chevrolet corsa Wind 1.4 que se encuentra en la **Figura 13** se decide conservar la caja de cambios ya que funciona como un aliado estratégico multiplicando la fuerza y gestionando la velocidad; la caja de cambios sirve como mediador entre el motor y los requerimientos de las ruedas, en marchas bajas puede ayudar a incrementar el torque para vencer la inercia mientras que en marchas altas permite que se desarrolle a más velocidad sin forzar el motor. En la **Tabla 7** se muestra la relación de transmisión de la caja de cambios y el diferencial.

Figura 13: Vehículo convertido a eléctrico

Tabla 7: Relación de la caja de cambios del Corsa Wind

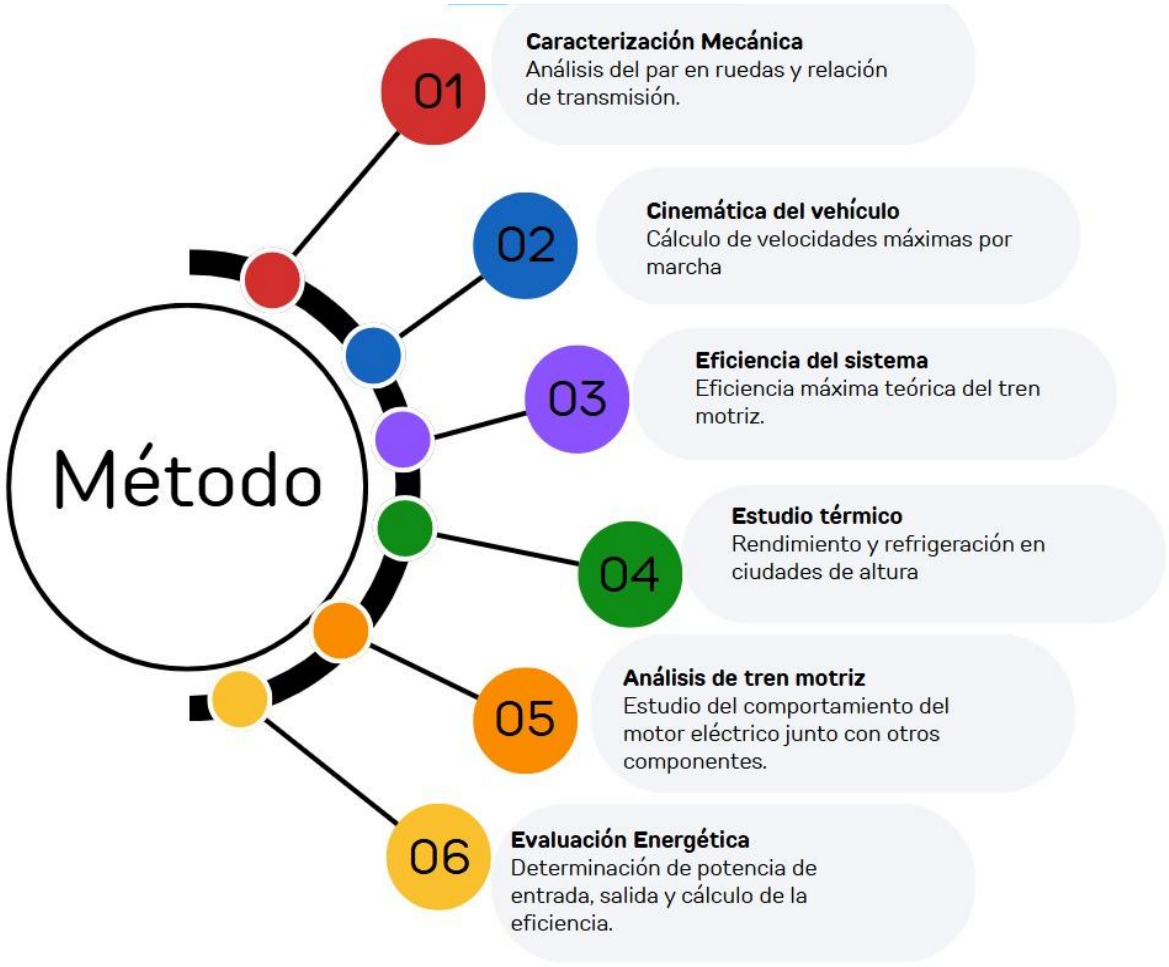
Diferencial	1 Marcha	2 Marcha	3 Marcha	4 Marcha	5 Marcha	Retro
3.94	3.73	2.14	1.41	1.12	0.89	3.31

Tomado de: Cordova. A, Caja de cambios Corsa, 2020

3.2 Método

Se tiene en cuenta un multímetro con termocuplas para poder realizar la medición de la temperatura del motor además de una pinza amperimétrica para poder encerar el dinamómetro y poder ver el consumo energético del vehículo, estos dispositivos de medición serán importantes para establecer el método para medir y analizar el comportamiento de un motor eléctrico en condiciones de altitud. A continuación, en la **Figura 14** se detalla en un flujograma la metodología a utilizar:

Figura 14: Método a utilizar



3.2.1 Análisis del torque ideal en las ruedas y multiplicación de par

Para este vehículo se mantuvo la caja de cambios original, por ello el análisis de torque no debe limitarse solo al motor si no a la fuerza efectiva que llega al asfalto, por ende, se procederá a calcular el torque en las ruedas para cada una de las marchas de la transmisión, este análisis

permitirá saber la capacidad de pendiente que tendrá este vehículo contrastado con un motor de combustión, los motores eléctricos entrega su torque máximo desde 0 rpm.

Ecuación 1: Par en las ruedas

$$T_{rueda} = T_{motor} * N_{caja} * N_{dif} * \eta_{trans}$$

Donde

T_{rueda}= Torque en las ruedas

T_{motor}= Torque del motor

N_{caja}= Relación de transmisión de la caja

N_{dif}= Relación del diferencial

η_{trans}= Eficiencia de la caja de cambios

Mediante la **Ecuación 1** y reemplazando todos los datos se obtendrá los resultados del torque en las ruedas que se ven reflejados en la **Tabla 8**, la misma que da una referencia del torque de salida en cada marcha del vehículo.

Tabla 8: Cálculo del par ideal en las ruedas

$T_{motor}(Nm)$	N_{caja}	N_{dif}	η_{trans} (%)	$T_{rueda}(Nm)$
14	3.73	3.94	0.92	189.287056
14	2.14	3.94	0.92	108.599008
16	1.41	3.94	0.92	81.775488
16	1.12	3.94	0.92	64.956416
17	0.89	3.94	0.92	54.843224

Los datos demuestran que la entrega de par en las ruedas disminuye conforme se realizará un cambio de marcha progresivamente, lo cual es lógico dado que el esfuerzo principal ocurre al inicio del movimiento. Al arrancar en primera, los engranajes están diseñados para dar el máximo empuje posible. Una vez que el vehículo alcanza una velocidad constante en marchas superiores, la demanda de torque cae drásticamente, permitiendo que el motor eléctrico trabaje de forma más ligera y se enfoque en mantener la velocidad angular necesaria para el desplazamiento

3.2.2 Cálculos de las velocidades máximas ideales en cada marcha

Se realizo este cálculo con la **Ecuación 2** para tener un punto de referencia sobre las velocidades teóricas que puede llegar a tener el vehículo utilizando fichas técnicas en las cuales se detallan valores que fueron seteados en el controlador mediante el software Enpowersci. Se destaca que las 3000 rpm que se tiene en los cálculos es una variable fija debido a que se tomara en cuenta

la programación del motor por medio del controlador el cual indica ese régimen de revoluciones máximas para el trabajo del mismo.

Ecuación 2: Velocidad máxima

$$\mathbf{V}_{=} \frac{\mathbf{rpm} * \mathbf{L} * \mathbf{60}}{\boldsymbol{N_{total}} * \mathbf{1000}}$$

Donde

V = Velocidad

rpm = Revoluciones por minuto del motor

L= Circunferencia de la rueda

60= Factor de conversión de minutos a horas

$\boldsymbol{N_{total}}$= Relación de trasmisión total

1000= Factor de conversión de metros a kilómetros

En la **Tabla 9** se detallan las velocidades calculadas para cada marcha, las cuales sirven como puntos de referencia para el análisis cinemático del vehículo. Se observa un incremento progresivo en la velocidad de desplazamiento, iniciando en 37.62 km/h para la segunda marcha y alcanzando una velocidad máxima de 90.46 km/h en la quinta marcha. Estos valores funcionarán como una base comparativa para contrastarlos posteriormente con las velocidades reales obtenidas durante las pruebas de campo, permitiendo así determinar el grado de precisión del modelo teórico frente al desempeño dinámico del vehículo en ruta.

Tabla 9: Velocidad máxima en cada marcha (ideal)

Marcha	rpm	L	N_{total}	V
1ra	3000	1.76239048	14.6962	21.5858716
2da	3000	1.76239048	8.4316	37.6239724
3ra	3000	1.76239048	5.5554	57.1030503
4ta	3000	1.76239048	4.4128	71.8886615
5ta	3000	1.76239048	3.5066	90.4666303

3.2.3 Eficiencia máxima teórica del tren motriz (PR_{η})

La determinación de la eficiencia máxima teórica del tren motriz es esencial para establecer el límite superior de desempeño energético del vehículo. Esta eficiencia se calcula mediante la multiplicación de las eficiencias nominales de los componentes principales los cuales son: el controlador (ηcont), el motor(ηM) y la transmisión(ηtrans); se tiene en cuenta que estas eficiencias son tomadas de los datos técnicos de cada componente, excepto la transmisión ya que en cajas

manuales la eficiencia puede ir de entre 90 a 95%, se toma como referencia para este proyecto una eficiencia de 92%. El propósito de este cálculo es obtener un valor ideal de que tan eficiente es la cadena de tracción que tiene este vehículo convertido para posteriormente comparar las eficiencias reales medidas en condiciones de altura.

Ecuación 3: Eficiencia del tren motriz

$$\boldsymbol{PR}_{\eta} = \eta_{\mathbf{cont}} * \eta_{\mathbf{M}} * \eta_{\mathbf{trans}}$$

Donde

$\boldsymbol{PR}_{\eta}$ = Eficiencia máxima teórica del tren motriz

$\eta_{\mathbf{cont}}$ = Eficiencia del controlador

$\eta_{\mathbf{M}}$ = Eficiencia del motor

$\eta_{\mathbf{trans}}$ = Eficiencia de la transmisión

Se utilizará los parámetros técnicos especificados en las **Tabla 3** y **Tabla 4** se tiene que: ηcont 98%, ηM 90%, ηtrans 92%; los cálculos de referencia se presentan a continuación:

$$\boldsymbol{PR}_{\eta} = \eta_{\mathbf{cont}} * \eta_{\mathbf{M}} * \eta_{\mathbf{trans}}$$

$$\boldsymbol{PR}_{\eta} = \mathbf{0.98} * \mathbf{0.90} * \mathbf{0.92}$$

$$\boldsymbol{PR}_{\eta} = \mathbf{0.8114}$$

La máxima eficiencia teórica del tren motriz es de **81.14%**

Los cálculos realizados en este análisis inicial servirán como punto de referencia y comparación para evaluar el funcionamiento en función de que tan optimo funciona el sistema en la vida real. Estos datos técnicos, basados en el motor de inducción y la caja del Chevrolet Corsa, definen lo que sería el rendimiento ideal del vehículo. Al tener esta base, se podrá contrastar la los datos teóricos con resultados reales de pruebas de dinamómetro y ruta, lo que permitirá identificar con precisión las pérdidas de energía, cómo influye la altura de ciudades como Ibarra y qué tan eficiente es realmente el motor adaptado

3.2.4 Rendimiento y refrigeración del motor eléctrico en ciudades de altura

El presente estudio está diseñado en base a un experimento de campo, que se centrara en la observación de variables térmicas externas. Lo que se buscara con este experimento es determinar cómo se comporta el motor en cuánto al enfriamiento y respectivamente su rendimiento debido a la reducción de la densidad del aire en zonas de altitud.

Se planteará una ruta de 18 km que será desde la ciudad de Ibarra hacia la comunidad de Zuleta que tendrá una altitud de 2225 – 3000 (ms.n.m) con un gradiente de pendiente del 3.3%, el tiempo estimado para esta ruta será de 40 minutos. Esencialmente se tomará la temperatura al iniciar el tramo con el motor en frio seguidamente a la mitad del tramo y al final del tramo.

El vehículo se someterá a un ciclo controlado de conducción que se asemejen a condiciones de esfuerzo real, primero se tomará la medición de la temperatura en condiciones ambientales con el motor en frío, posterior a esto se realizara un recorrido por una pendiente pronunciada de 3.3%, se marcara la mitad del tramo en el Google Maps tomando así la temperatura del motor cerca de las aletas de este, al finalizar el tramo se procede a tomar la temperatura final.

Adicionalmente el motor eléctrico tiene integrada en la carcasa una válvula de desfogue de calor que se activa cuando la temperatura interna alcanza los 100°C, esta válvula actúa en base a la programación incorporada en el controlador la misma que se muestra en el anexo II, de esta manera se analizara el funcionamiento de esta válvula con respecto a las temperaturas obtenidas por el experimento de campo.

3.2.5 Estudio del comportamiento del motor eléctrico junto con otros componentes

Para el análisis integral del comportamiento del motor eléctrico y su interacción con los componentes periféricos, se diseñará un protocolo de experimentación dividido en dos fases fundamentales. En la primera instancia, se realizará una prueba de caracterización mecánica mediante el escalonamiento secuencial de marchas a diversas velocidades, con el fin de documentar la respuesta dinámica del acople con la caja de cambios original del Chevrolet Corsa Wind y determinar las relaciones de transmisión óptimas.

La adquisición de datos se programará para activarse de forma automática una vez que el vehículo alcance las velocidades de referencia estabilizadas para cada marcha: 30 km/h para segunda, 40 km/h para tercera, 50 km/h para cuarta y 60 km/h para quinta marcha. Cada ensayo se mantendrá en ejecución hasta que el motor eléctrico alcance su régimen máximo de operación y se identifique el punto de inflexión en las curvas de desempeño, donde los valores de torque y potencia comenzaran a descender, indicando el límite de rendimiento para esa relación específica.

En la segunda fase, se realizará una prueba de barrido de velocidad en el dinamómetro de chasis, configurando el sistema para un registro continuo de 0 a 100 km/h bajo un protocolo de aceleración máxima sostenida. Durante el ensayo, se procederá a realizar el escalonamiento secuencial de las marchas del vehículo para documentar la respuesta dinámica del motor y la

estabilidad en el suministro energético de la batería. El objetivo técnico será analizar la capacidad de gestión de corriente del inversor durante las transiciones de carga críticas. En ambos protocolos, se utilizará una frecuencia de muestreo de un segundo para registrar el par motor (Nm), potencia (HP), revoluciones (RPM) y velocidad final (km/h).

3.2.6 Determinar la eficiencia energética del motor eléctrico en ciudades de altura

Para establecer la eficiencia energética del sistema de propulsión en condiciones de altitud, se ejecutará un protocolo de pruebas dinámicas orientadas a obtener el mayor esfuerzo del vehículo a su vez del motor, dichas pruebas se realizarán en un dinamómetro con esto se espera a la captura simultánea de variables eléctricas y mecánicas. El procedimiento se detalla a continuación:

3.3.6.1. Potencia eléctrica de entrada

El cálculo de la potencia eléctrica de entrada se obtendrá mediante la **Ecuación 4** el monitoreo en tiempo real de la pantalla digital del vehículo, la cual registro el flujo de energía proveniente del banco de baterías durante el movimiento. El cálculo se fundamentará en la relación entre el voltaje y la intensidad de corriente.

Ecuación 4: Potencia de entrada

$$P_{\text{entrada}} = \mathbf{V} * \mathbf{I}$$

Donde

P_{entrada}= Potencia eléctrica de entrada

V= Voltaje

I= Intensidad

3.3.6.2. Potencia Mecánica de Salida

La potencia mecánica de salida se determinará simultáneamente mediante el dinamómetro de chasis, el cual mide torque y la velocidad angular en las ruedas. Esta variable permite verificar la integración mecánica entre el motor eléctrico y la caja de cambios original. La fórmula que empleara para este cálculo es:

Ecuación 5: Potencia de salida

$$P_{\text{salida}} = \frac{\mathbf{T} * \mathbf{rpm} * 2\pi}{60000}$$

Donde:

P_{salida}= Potencia mecánica de salida

T= Torque o par motor

rpm = Revoluciones por minuto del motor

2π= Factor de conversión de revoluciones a radianes

Finalmente, la eficiencia global del sistema se define como la relación porcentual entre la potencia aprovechada para el movimiento y la energía total consumida.

Análisis

Ecuación 6: Eficiencia

$$\eta_{siste} = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100$$

Donde

η_{siste}= Eficiencia del sistema

P_{salida}= Potencia mecánica de salida

$P_{entrada}$= Potencia eléctrica de entrada

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presentan datos obtenidos durante pruebas experimentales, tanto en dinamómetro como en condiciones reales. Los resultados presentan comportamientos termodinámicos y electromecánicos del tren motriz, de esta manera se puede evaluar como las condiciones de altitud inciden en el motor eléctrico y su relación con los diferentes componentes del kit de conversión.

4.1 Comparación de los datos ideales vs reales del par en las ruedas

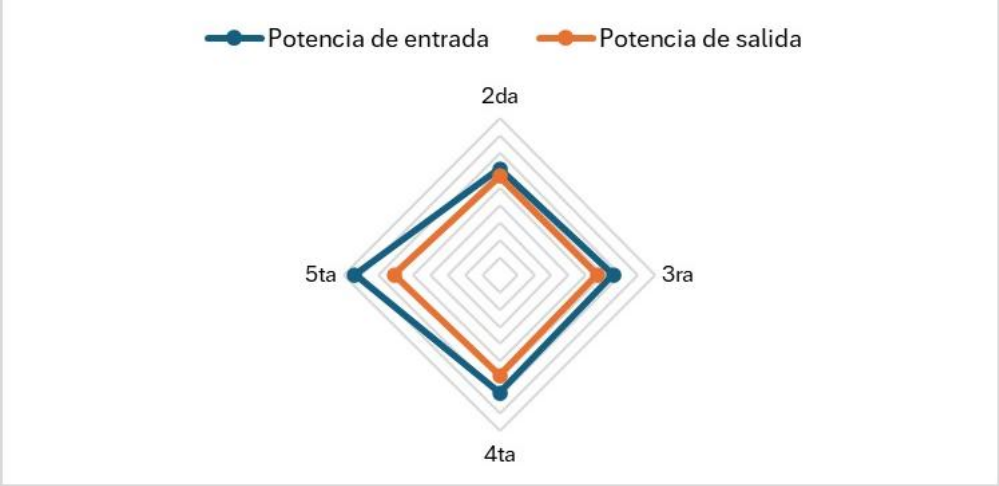
Los cálculos de potencia ideal que se encuentran en la **Tabla 8** son una estimación netamente estática, no se considera la resistencia de inercia que se tiene en los rodillos. Al realizar esta prueba y obtener datos reales se tiene una resistencia de inercia que se debe vencer por ende el controlador entrega picos de energía más elevados para mantener la aceleración a del banco de prueba.

Tabla 10: Comparación de resultados de par en las ruedas

Marcha	Ideal (Nm)	Real (Nm)
2da	108.59	111
3ra	81.77	84
4ta	64.95	68
5ta	54.84	55

En la **Tabla 10** se observa que los valores de toque real superan a los ideales, en 2da marcha se observa un 2.22% de incremento, en 3ra marcha incrementa un 2.73%, en 4ta marcha 4.70% es el incremento, lo más sorpresivo es el incremento de casi un 0.29% en 5ta marcha, esto demuestra que el modelo dinámico aplicado refleja fielmente el comportamiento físico, confirmando que el controlador del motor estabiliza y sostiene de manera eficiente los picos de energía necesarios al enfrentarse a cargas prolongadas en marchas altas.

Figura 15: Comparación entre la potencia de entrada vs potencia de salida



En la **Figura 15** de tipo radial se visualiza que la potencia de entrada es superior a la de salida en todas las mediciones y esta llega a ser superior debido a que la energía inicial se disipa parcialmente en forma de pérdidas mecánicas y térmicas durante la transmisión. Al contrastar la segunda, tercera y cuarta marcha, se observa una diferencia moderada entre ambos parámetros, ya que las relaciones de transmisión en estos cambios favorecen la ventaja mecánica del motor. En cambio, en la quinta marcha se ve una demanda mayor de energía de entrada debido a que al no tener una ventaja mecánica el motor está obligado a realizar un esfuerzo superior.

4.2 Contraste de resultados de velocidad máxima

En las pruebas de la velocidad máxima se evidencio un rendimiento superior a lo previsto teóricamente que se encuentra en la **Tabla 9**. Para la quinta marcha obtuvimos una velocidad teórica de 90.46 km/h en cambio las mediciones experimentales nos registraron una velocidad de 110 km/h. Este resultado confirma que se tiene una adaptación del sistema eléctrico y el sistema mecánico ya que se alcanza velocidades más altas de lo previstas como se evidencia en la **Tabla 11.**

Tabla 11: Comparación de resultados de velocidad máxima

Marcha	Ideal (km/h)	Real (km/h)
2da	37.62	47
3ra	57.1	59
4ta	71.88	82
5ta	90.46	110

Se puede evidenciar que los valores reales sobrepasan a los valores ideales debido a que estos valores son calculados basándose en las RPM nominales del motor, mientras que, al realizar las pruebas, el controlador nos brinda la energía necesaria para alcanzar RPM más altas logrando obtener velocidades más elevadas.

4.3 Contraste de la eficiencia real vs ideal

El motor eléctrico antes de salir de fabrica paso por pruebas exhaustivas las cuales se realizaron a nivel del mar esto quiere decir que la eficiencia fue de casi un 100% sin embargo en este estudio se tomara en cuenta la eficiencia del vehículo completo con los demás componentes del kit de conversión siendo así que la eficiencia ideal que se encuentra en la **Ecuación 4** es inferior a la real ya que cambian en las potencias además de que el motor controlador trabaja de manera más eficiente y así vuelve más eficiente al motor.

Tabla 12: Eficiencia del vehículo

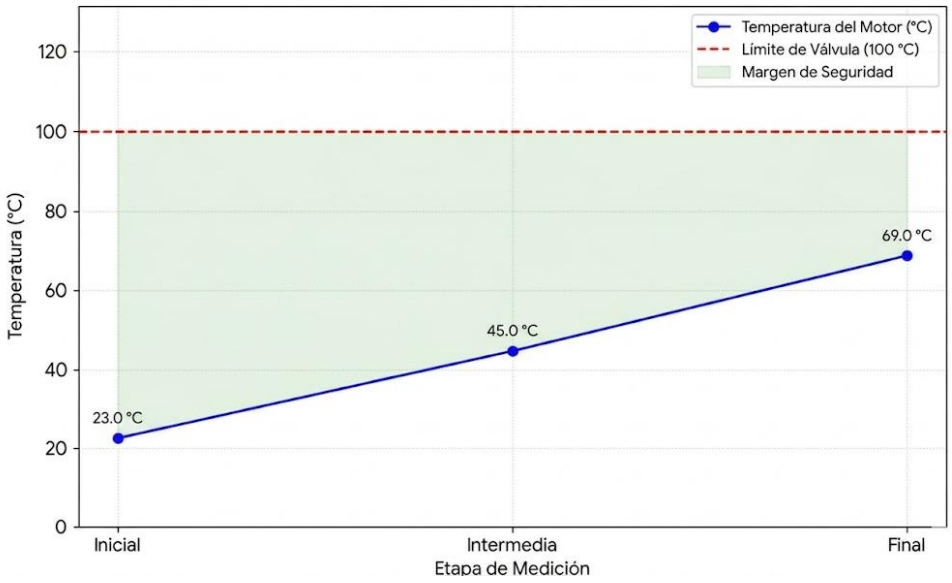
Eficiencia ideal	Eficiencia real
81.14	86

En la **Tabla 12** se presenta el contraste de la eficiencia global del tren motriz, donde se observa que la eficiencia real es de 86% la cual supera a la eficiencia ideal calculada que fue de 81.14%. Este incremento de 4.86 puntos porcentuales indica que la integración de los componentes como el controlador, motor, transmisión opero con rendimiento eficiente y superior al proyectado mediante datos ideales.

4.4 Refrigeración del motor mediante válvula de alivio térmico

En la **Figura 16** se observa una línea ascendente de las temperaturas tomadas en tres puntos clave del trayecto de Ibarra – Zuleta, al inicio del tramo con el motor en frio se tiene 23°C, a la mitad del tramo 45°C y al finalizar el tramo 69°C, estos datos se comparan con la activación de la válvula de alivio térmico que esta seteada a los 100°C para su activación y posteriormente liberar el calor interior del motor. El sistema de enfriamiento es confiable debido a la obtención de un margen térmico del 40.3% para absorber más calor antes de llegar a su límite critico de 100°C.

Figura 16: Evolución de la temperatura del motor vs límite de seguridad



4.5 Comportamiento del motor con otros elementos de la conversión

En lo que respecta a la interacción entre el motor eléctrico, el acople y la caja de cambios se observa una excelente interacción. Al analizar las figuras obtenidas mediante el software del dinamómetro se observa que la línea roja representa al torque, la línea azul representa la potencia a la rueda, la línea negra representa la potencia a la salida del eje del motor y la línea verde representa la potencia disipada. A continuación, se evidencia los datos obtenidos mediante el software del dinamómetro.

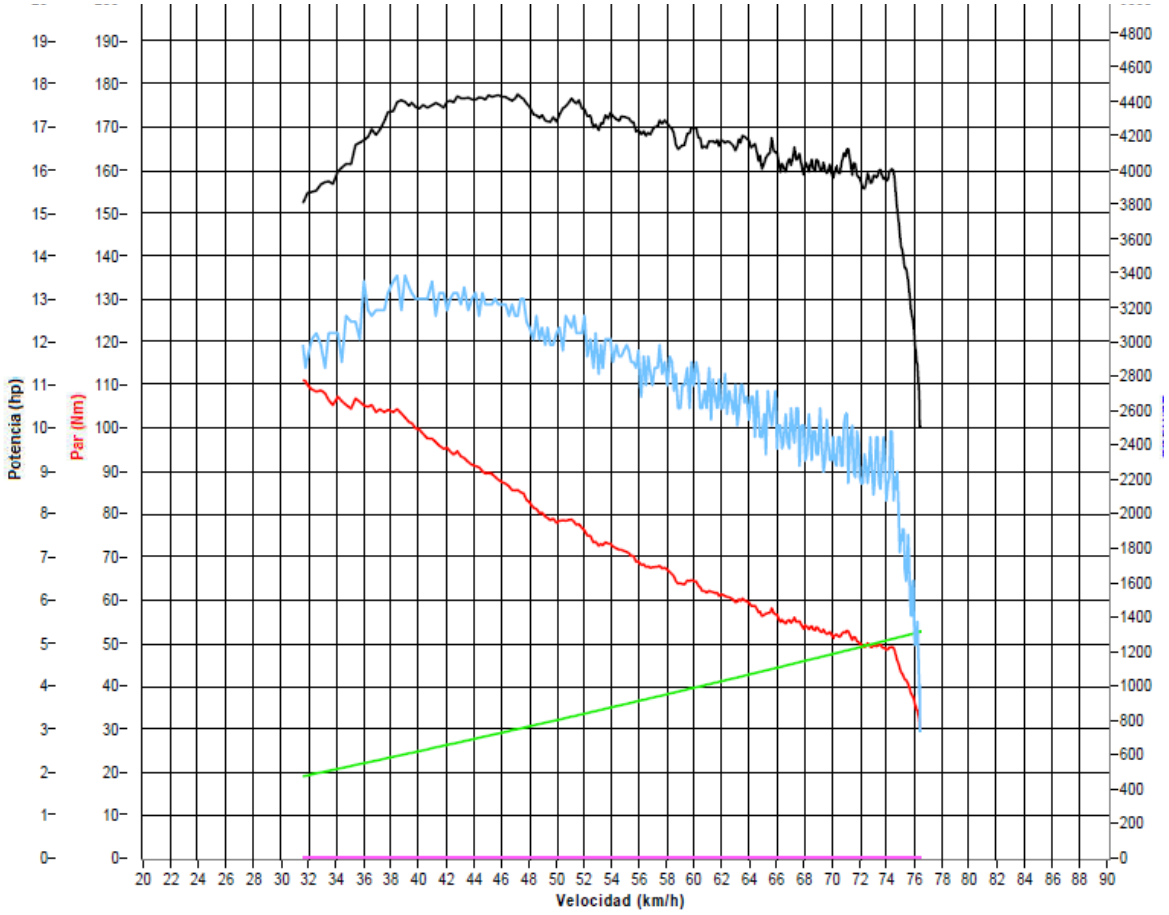
4.5.1. Prueba en segunda marcha y a 30km/h

En el ensayo realizado en segunda marcha que se observa en la **Tabla 14** y graficados en la **Figura 17** se tiene que a partir de los 30 km/h, se mira que el motor entrega su máximo par motor de 110 Nm de forma inmediata, descendiendo progresivamente conforme aumenta la velocidad para dar paso a una zona de potencia constante. La potencia al eje se mantiene estable entre los 16 hp y 18 hp, mientras que la potencia efectiva a la rueda alcanza un pico cercano a los 13.5 hp, evidenciando una pérdida por rozamiento mecánico que incrementa linealmente según lo indica la curva de potencia disipada. Este comportamiento demuestra que la gestión del controlador y el acople mecánico son eficientes, garantizando una entrega de fuerza contundente y sin vacíos de aceleración, lo cual es ideal para las condiciones de conducción en ciudades de altura.

Tabla 13: Resultados de la prueba en segunda marcha

Segunda marcha	
Potencia máx. motor (hp)	17.8
Potencia máx. correspondientes a (rpm)	1478
Potencia máx. a la rueda (hp	13.5
Par máximo (Nm) @ 31 km/h	111
Velocidad punta (km/h)	76
Número de rpm máximas (rpm)	2391

Figura 17: Rendimiento del motor en segunda marcha



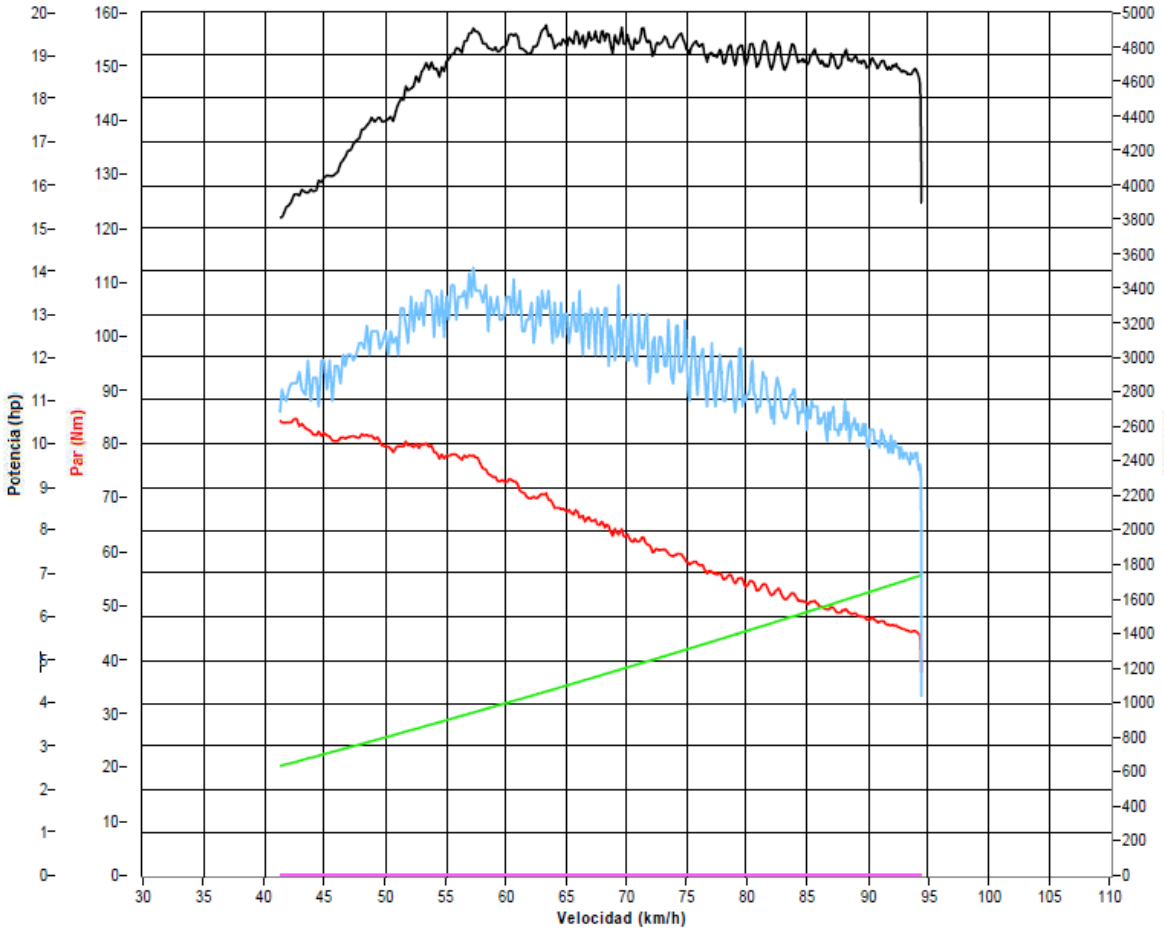
4.5.2. Prueba en tercera marcha y a 40km/h

En el ensayo realizado en tercera marcha que se pueden visualizar en la **Tabla 15** y la **Figura 18**, inicia con una velocidad inicial de 40 km/h, se observa que el torque comienza en aproximadamente 85 Nm, descendiendo gradualmente conforme el motor aumenta sus revoluciones. La potencia al eje se estabiliza rápidamente cerca de los 19.5 hp, mientras que la potencia efectiva a la rueda alcanza un pico máximo de 14.5 hp antes de iniciar un descenso suave debido al incremento de la potencia disipada, la cual llega a los 6.5 hp al final de la prueba. Esta configuración intermedia demuestra un equilibrio eficiente entre fuerza y velocidad, manteniendo una entrega de potencia más elevada que en las marchas largas.

Tabla 14: Resultados de la prueba en tercera marcha

Tercera marcha	
Potencia máx. motor (hp)	19.7
Potencia máx. correspondientes a (rpm)	1851
Potencia máx. a la rueda (hp	14.1
Par máximo (Nm) @ 42 km/h	85
Velocidad punta (km/h)	91
Número de rpm máximas (rpm)	2839

Figura 18: Rendimiento del motor en tercera marcha



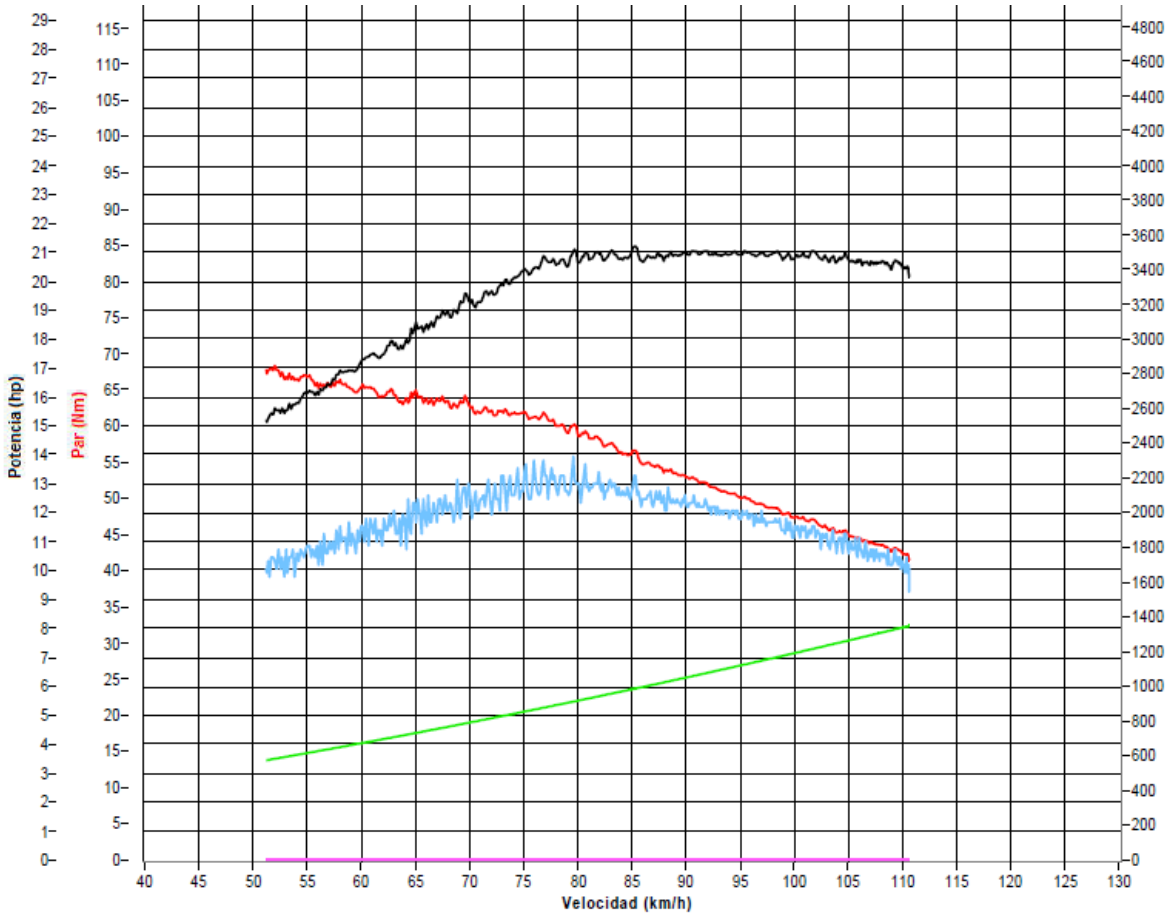
4.5.3. Prueba en cuarta marcha y a 50km/h

Se realizó la caracterización de las curvas de desempeño del vehículo mediante una prueba en banco de rodillos las cuales se miran en la **Tabla 16** y la **Figura 19**, ejecutada en cuarta marcha a partir de una velocidad inicial de 50 km/h. Los resultados obtenidos muestran una entrega de par motor máximo de aproximadamente 68 Nm en el régimen inicial de la prueba, presentando un descenso gradual conforme aumenta la velocidad lineal. Por su parte, la curva de potencia exhibe un crecimiento constante hasta alcanzar un régimen de estabilidad entre los 80 km/h y 100 km/h, donde se registra una potencia máxima de 21 hp. La relación entre ambas curvas evidencia un comportamiento elástico del motor en cuarta velocidad, logrando su mayor eficiencia en el rango medio de la prueba antes de iniciar el decaimiento por resistencia mecánica y límites de flujo a los 110 km/h.

Tabla 15: Resultados de la prueba en cuarta

Cuarta marcha	
Potencia máx. motor (hp)	20.9
Potencia máx. correspondientes a (rpm)	2568
Potencia máx. a la rueda (hp	13.8
Par máximo (Nm) @ 52 km/h	68
Velocidad punta (km/h)	107
Número de rpm máximas (rpm)	3347

Figura 19: Rendimiento del motor en cuarta marcha



4.5.4. Prueba en quinta marcha y a 60km/h

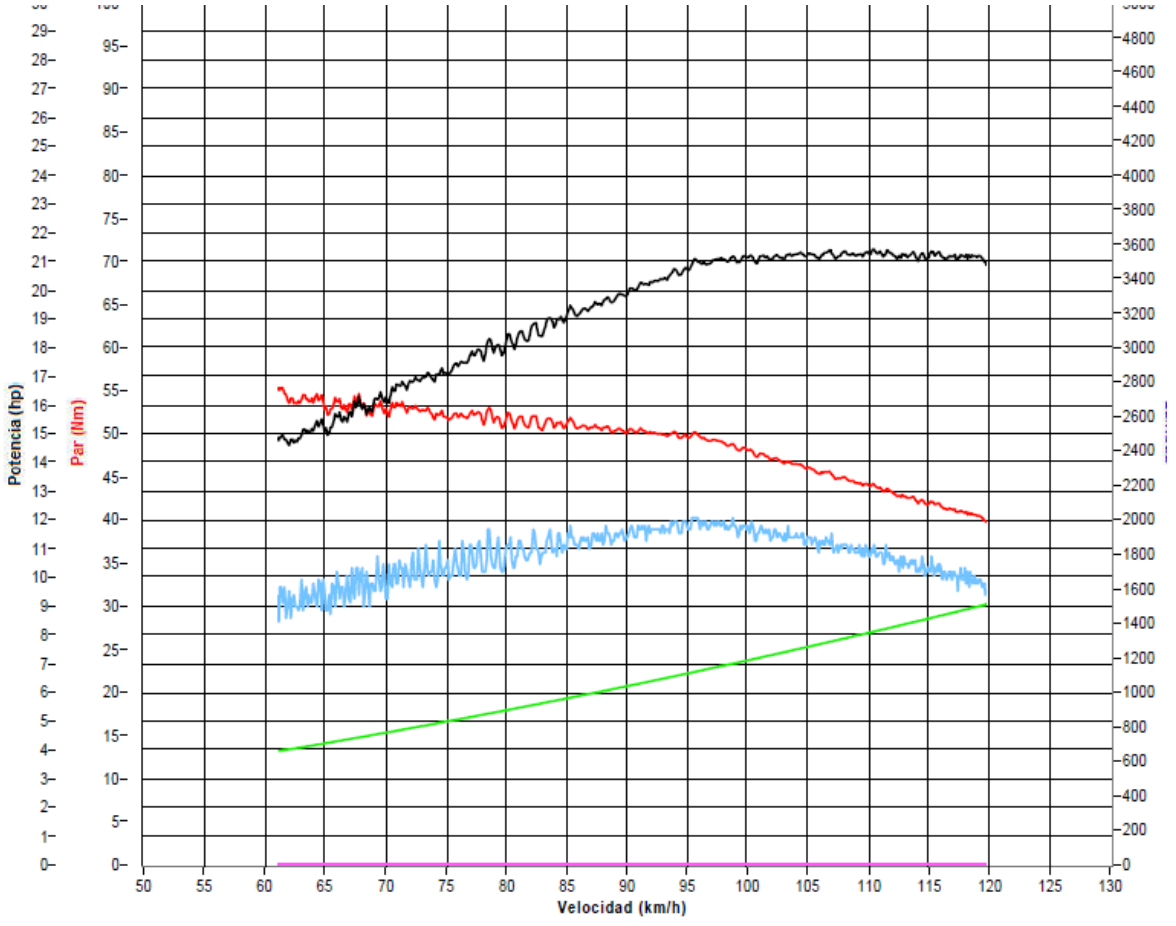
Se evaluó el desempeño dinámico del vehículo en quinta marcha, obteniendo así la **Tabla 17** y la **Figura 20**, iniciando el registro de datos a una velocidad de 60 km/h. En esta configuración, se observó un par motor máximo inicial de aproximadamente 56 Nm, el cual mantiene una tendencia decreciente más pronunciada que en marchas inferiores, finalizando cerca de los 40 Nm

al alcanzar los 120 km/h. La curva de potencia muestra un ascenso progresivo hasta estabilizarse en un valor máximo de 21 hp a partir de los 100 km/h, manteniendo este rendimiento constante hasta el final del ensayo. Este comportamiento refleja una entrega de potencia lineal y optimizada para el mantenimiento de velocidades crucero, donde la carga del motor se distribuye para vencer la resistencia al avance en el rango de alta velocidad, estabilizando el consumo de energía frente a la demanda de torque.

Tabla 16: Resultado de prueba en quinta

Quinta marcha	
Potencia máx. motor (hp)	21.4
Potencia máx. correspondientes a (rpm)	3454
Potencia máx. a la rueda (hp	12.1
Par máximo (Nm) @61 km/h	55
Velocidad punta (km/h)	120
Número de rpm máximas (rpm)	3746

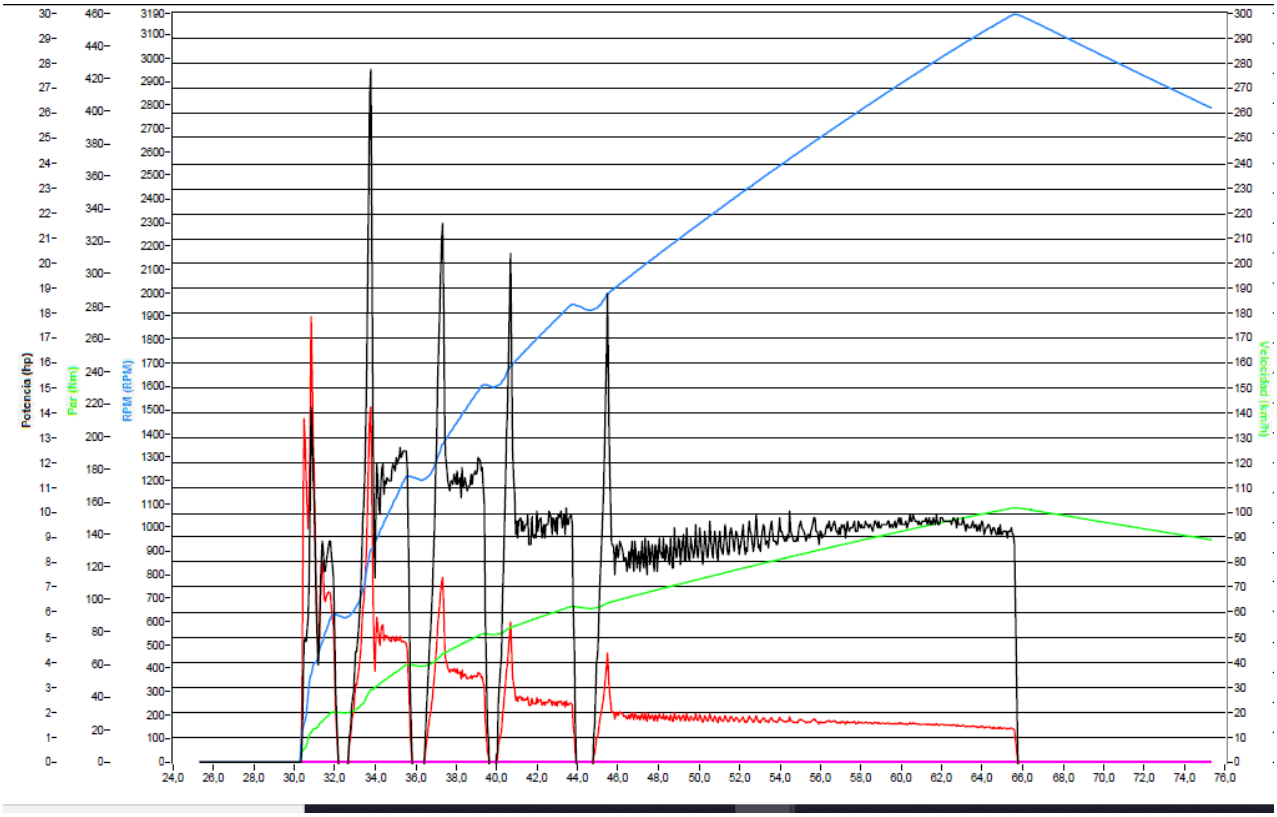
Figura 20: Rendimiento del motor en quinta marcha



4.5.5. Prueba dinámica en ruta simulada en Dinamómetro

En la **Figura 21** se puede observar diferentes tipos de colores de líneas, la línea fucsia representa lambda, pero se mantiene en 0 ya que este es un vehículo totalmente eléctrico, y al serlo no emite gases de escape por ende no mide el oxígeno en los gases contaminante. La línea verde representa la velocidad, esta inicia en 0 km/h y mientas se presiona el embrague para el cambio de marcha se obtiene una velocidad lineal durante aproximadamente 1 segundo en cada una de las marchas y vuelve ascender de manera escalonada hasta los 110 km/h, al final desciende debido a que el vehículo se encuentra en neutro y se finaliza la prueba. La línea celeste muestra las rpm que se encuentra el vehículo, estás van desde 0 a 3190 rpm, al igual que la velocidad esta va subiendo y al presionar el embrague desciende para poder realizar el cambio de marcha y vuelve ascender mostrando una línea escalonada. La línea negra representa la potencia y la línea roja el par motor, durante la primera marcha entre los segundos 30 y 32, se observa un par máximo que alcanza los 220 Nm frente a una potencia de 18 hp; este comportamiento es el esperado, ya que el tren motriz requiere un par elevado para vencer la inercia estática del vehículo. A partir de la tercera marcha, la relación entre ambas curvas se invierte, observándose una potencia superior al par; esto ocurre debido a que, en marchas largas se debe ganar velocidad por ende se va reduciendo la necesidad de multiplicación de fuerza en las ruedas. Las fluctuaciones transitorias que se aprecian tras cada cambio de marcha son el resultado de los micros ajustes de corriente que realiza el inversor para obtener una aceleración nivelada.

Figura 21: Resultados prueba dinámica



4.6 Eficiencia energética en condiciones de altitud

A través de la pantalla digital se logró obtener datos significativos para el cálculo de la potencia de entrada los mismos que se muestran en la **Tabla 18**, además con ayuda del dinamómetro se pudo obtener datos para calcular la potencia de salida que se reflejan en la **Tabla 19**, estos datos se muestran a continuación:

Tabla 17: Potencia de entrada a diferentes marchas

Marcha	Voltaje(V)	Intensidad(A)	Potencia de entrada(kW)
2da	96.9	125.9	12.19
3ra	95.7	137.6	13.17
4ta	92.4	147.2	13.6
5ta	91.8	182.8	16.78

Tabla 18: Potencia de salida a diferentes marchas

Marcha	Torque (Nm)	rpm	Potencia de salida (kW)
2da	111	977	11.35
3ra	84	1285	11.30
4ta	68	1634	11.63
5ta	61	1908	12.18

Finalmente, por medio de los datos obtenidos tanto en la pantalla digital del vehículo convertido y por medio del dinamómetro se logra obtener la eficiencia en cada una de las marchas del vehículo y la eficiencia del sistema, estos datos se muestran en la **Tabla 20**.

Tabla 19: Eficiencia a diferentes marchas

Marcha	Potencia de entrada	Potencia de salida	Eficiencia
2da	12.19	11.35	0.93
3ra	13.17	11.3	0.86
4ta	13.6	11.63	0.86
5ta	16.78	12.18	0.73

Una vez obtenido los datos de la eficiencia en diferentes marchas se puede comparar la eficiencia ideal calculada a través de fichas técnicas y la eficiencia obtenida en la **Tabla 20** demuestra que a través de cada marcha los valores numéricos de la eficiencia varían mucho sin embargo la que más importa es 0.86 de eficiencia ya que se trabajara con la 4ta marcha que es la marcha directa o que tiene una relación de transmisión 1:1.

4.7 Discusión de resultados

Al comparar el análisis del punto de referencia inicial con los resultados obtenidos en el dinamómetro de chasis revelan un desempeño mecánico superior a las estimaciones teóricas realizadas en todas las etapas de las pruebas. En el análisis del par se observó que el par real medido con ayuda del dinamómetro demuestra que supero a los valores ideales calculados para el Chevrolet Corsa Wind. Mientras que en segunda marcha se tiene una desviación de par del 2.22% entre los resultados ideales y reales, en quinta marcha el par real es de 55Nm coincide casi a la perfección con los 54.84 Nm calculados teóricamente, presentando una deviación de 0.29%. Esto demuestra que la integración del motor eléctrico y su controlador cumplen exactamente con las proyecciones teóricas dinámicas, evidenciando una eficiencia de transmisión de par apropiado hacia las ruedas.

Los resultados obtenidos en las pruebas de velocidad máxima evidencian un rendimiento superior al previsto teóricamente en todas las relaciones de transmisión del vehículo. Para la quinta marcha, mientras el valor estimado era de 90.46 km/h, las mediciones experimentales en el dinamómetro registraron una velocidad final de 110 km/h, lo que representa una diferencia positiva de 19.54 km/h. Esta tendencia, observada desde la segunda hasta la quinta marcha, confirma que el tren motriz eléctrico proporciona una mayor capacidad de adaptación durante el desplazamiento, permitiendo alcanzar y mantener velocidades crucero más elevadas que las inicialmente proyectadas. Asimismo, este comportamiento dinámico respalda que el acople entre el motor eléctrico y la caja de cambios original es adecuado, facilitando un funcionamiento más amplio, estable y eficiente bajo condiciones reales de operación.

Finalmente, la evaluación del desempeño dinámico mediante el ciclo de aceleración continua permitió validar la estabilidad integral del sistema. Durante el incremento de velocidad de 0 a 100 km/h, la curva de velocidad presentó una tendencia progresiva y uniforme, sin interrupciones ni variaciones bruscas, lo que refleja una respuesta eficiente del sistema. Las oscilaciones observadas en el par, principalmente durante los cambios de marcha, se mantuvieron dentro de rangos controlados, indicando una adecuada regulación del inversor frente a las variaciones de demanda energética. Asimismo, la respuesta de la corriente mostró incrementos puntuales seguidos de una rápida estabilización, evidenciando que la batería es capaz de suministrar energía de forma continua y estable. En conjunto, estos resultados confirman que el sistema de propulsión eléctrica garantiza un correcto desempeño dinámico, manteniendo estabilidad, control y un suministro energético adecuado bajo condiciones reales de operación.

En cuanto a la evaluación del desempeño térmico, se determinó que el motor opero dentro de rangos estables y seguros, llegando a una temperatura máxima de 69 °C al comparar este valor con el límite critico de la válvula de alivio térmico que se activa a los 100 °C, se estableció un margen seguro del 40.3%, lo cual garantiza que el sistema no se exponga a un sobrecalentamiento. De la misma manera el análisis del incremento de temperatura revela que únicamente el motor uso el 59.74% de su capacidad de carga térmica permisible respecto al punto inicial. El 40.26 % restante significa la eficacia del sistema, el cual logro disipar el calor excedente y limitar el ascenso de temperatura, así validando que el sistema de enfriamiento por convección es eficiente en condiciones de altura, teniendo en cuenta la densidad de aire que es de 1.05 kg/m^3 en Zuleta cuya altura es 2800 ms.n.m.

Para determinar la eficiencia energética del motor eléctrico en ciudades de altura se realizó un análisis de las variables eléctricas obtenidas en las pruebas dinámicas. Los resultados reflejan que el sistema de propulsión alcanza su rendimiento máximo del 93% en segunda marcha, de igual manera mantiene una eficiencia del 86% en tercera y cuarta marcha y desciende a un 73% en quinta marcha debido a la alta demanda de corriente para compensar la menor relación en la caja de cambios.

De igual manera se estableció una eficiencia real del sistema de un 86% tomando como referencia los datos de la cuarta marcha debido a que representa una relación directa de la transmisión. Al comparar este valor con la eficiencia ideal calculada de 81.14% se concluye que el motor eléctrico adaptado opera con un rendimiento superior a lo calculado, lo que valida la alta eficiencia del motor y la correcta integración del acople en condiciones topográficas de las ciudades de altura.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró caracterizar la totalidad de los parámetros técnicos iniciales para establecer una línea base teórica, demostrando que el desempeño del tren motriz en las pruebas dinámicas superó las estimaciones matemáticas. Durante la evaluación en quinta marcha, el torque real medido en las ruedas registró 55 Nm en comparación con los 54.84 Nm teóricos, teniendo un margen de error del 0.29% en el par entregado. Por otra parte, la velocidad máxima real alcanzó los 110 km/h, superando la proyección inicial de 90.46 km/h. Este comportamiento confirma que la gestión del controlador electrónico optimiza la administración de energía y el rendimiento del motor, permitiendo al vehículo desarrollar una mayor velocidad final al superar los rpm nominales bajo condiciones reales de operación.

A través de los ensayos en la ruta Ibarra – Zuleta a 2800 ms.n.m, se determinó que las condiciones de altitud afectan negativamente la capacidad de enfriamiento del motor, debido a que la menor densidad del aire (1.05 kg/m^3) dificulta la disipación del calor por convección. A pesar de esta limitación física ambiental, el motor eléctrico adaptado operó de manera segura, alcanzando una temperatura máxima de 69 °C y manteniendo un margen de seguridad del 40.3% antes de llegar al límite crítico de 100 °C de la válvula de alivio térmico. Esto demuestra que, aunque el entorno de altura vuelve más difícil el enfriamiento, el motor disipa mucha menos energía en forma de calor. Desde el punto de vista energético, se comprobó que la altitud por sí sola no aumenta el consumo de corriente, sino que el factor determinante es el esfuerzo mecánico que exige la topografía al subir pendientes pronunciadas.

El acoplamiento entre el motor eléctrico y la caja de cambios original funcionó de manera correcta, registrando un rendimiento global del tren motriz del 86% en cuarta marcha, lo cual supera el 81.14% que se había calculado en la teoría. En las pruebas por marchas, el sistema batería-controlador-motor logró su mayor eficiencia en segunda marcha con un 93%, mientras que en quinta marcha cayó al 73% debido a la alta demanda de corriente (182.8 A) para mantener la velocidad final frente a la resistencia del movimiento. Aunque no se midió directamente la temperatura del controlador en ruta, el análisis teórico indica que la gestión térmica de este componente es crítica para el sistema, ya que tiene un límite operativo de 86 °C. Si el controlador se acerca a este límite debido al paso prolongado de corriente alta en subidas, la electrónica activa

un modo de protección que reduce el suministro de amperaje hacia el motor para enfriarse, lo que afectaría directamente la entrega de torque y el desempeño general del vehículo convertido.

5.2. Recomendaciones

Debido a que el controlador tiene un límite crítico de 86 °C y la menor densidad del aire en altura dificulta el enfriamiento general, se recomienda instalar un disipador térmico mejorado o un sistema de ventilación forzada exclusivo para el controlador para evitar que entre en modo de protección y reduzca la corriente del motor en subidas largas.

Como el motor eléctrico entrega su par máximo de forma instantánea con picos de hasta 220Nm en primera marcha en el dinamómetro, se recomienda realizar revisiones periódicas en la placa de acople y los piñones de la caja original para prevenir desgastes prematuros por fatiga mecánica.

Se recomienda utilizar un software para lectura de datos del controlador y motor segundo a segundo con graficas en vivo para verificar el comportamiento, la entrega de corriente en comparación con la potencia entregada por el vehículo y tener datos más exactos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] "¿Cómo ayudan los vehículos eléctricos al medio ambiente? | Endolla Barcelona." Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: https://endolla.barcelona/es/noticias/espacio-eco/como-ayudan-los-vehiculos-electricos-al-medio-ambiente

[2] "Motores eléctricos vs a combustión ¿Quién gana? Nuevo informe de Amech compara los puntos más importantes - Mobility Portal: Noticias sobre vehículos eléctricos." Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: https://mobilityportal.lat/motores-electricos-vs-a-combustion-quien-gana-nuevo-informe-de-amech-compara-los-puntos-mas-importantes/

[3] "Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025 – Secretaría Nacional de Planificación." Accessed: Nov. 18, 2024. [Online]. Available: https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-desarrollo-para-el-nuevo-ecuador-2024-2025/

[4] "Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible." Accessed: Nov. 25, 2024. [Online]. Available: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

[5] L. Szabo, V. Iulia, V. Iulia, and S. Loránd, "A Brief History of Electric Vehicles." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/363520342

[6] "The History of Electric Vehicles Began in 1830." Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.thoughtco.com/history-of-electric-vehicles-1991603

[7] S. Elias, "Internationalization of Higher Education in the light of some indicators." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/305046323

[8] D. Murias, "Historia de los coches eléctricos," Motorpasión. Accessed: May 13, 2026. [Online]. Available: https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos

[9] "Pioneros de la electromovilidad: General Motor EV1." Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.ecointeligencia.com/2015/01/pioneros-electromovilidad-gm-ev1/

[10] A. Basurco Hernández De Santamaría, "Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna," Universidad Pontificia Comillas Ciudad: Madrid,

España, Madrid, España, 2020. Accessed: May 13, 2026. [Online]. Available: https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/44026

[11] "Vehículo eléctrico 'e-BUG' reconvertido | Corporación OZ." Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: https://www.o-z.co.jp/works/626

[12] Y. Tabó, "Informe Técnico sobre la Normatividad, Seguridad y Desafíos de la Conversión Vehicular a Eléctrico en Latinoamérica," Buenos Aires, 2020.

[13] "INICIO | Rocoperformanceec." Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: https://www.rocoecuador.com/

[14] E. J. Moyer and U. Chicago, "Basics on electric motors," 2010. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: https://geosci.uchicago.edu/~moyer/GEOS24705/Readings/ElecReadingII_Motors.pdf

[15] R. Darío, T. Chulde, X. Marvin, M. Ríos, H. Maurico, M. Castillo, E. Leonel, A. Moreno, J.Darío, D.Vera., "Introducción técnica a la clasificación y aspectos fundamentales de los motores eléctricos," *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, vol. 5, no. 2, p. ág. 1763-1786-ág. 1763– 1786, Oct. 2024, doi: 10.60100/RCMG.V5I2.334.

[16] C. C. Chan, "The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles," *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, no. 4, pp. 704–718, 2007, doi: 10.1109/JPROC.2007.892489.

[17] M. P. Kazmierkowski, "Grid Converters and Power Electronics (review of "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems: Teodorescu, R., et al.; 2011) [Book News]," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 5, no. 2, pp. 54–54, Jun. 2011, doi: 10.1109/mie.2011.941116.

[18] L. Balasubramanian, N. A. Bhuiyan, A. Javied, A. A. Fahmy, F. Belblidia, and J. Sienz, "Design and Optimization of Interior Permanent Magnet (IPM) Motor for Electric Vehicle Applications," *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, vol. 7, no. 2, pp. 202–209, Jun. 2023, doi: 10.30941/CESTEMS.2023.00021.

[19] G. Liebig, U. Kirstein, S. Geißendörfer, Z. Omio, F. Schuldt, and C. Agert, "The impact of environmental factors on the thermal characteristic of a Lithium–ion battery," *Batteries*, vol. 6, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.3390/batteries6010003.

[20] J. Larminie and J. Lowry, "ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED SECOND EDITION," 2012, Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: www.wiley.com.

[21] S. Kaleg, A. Hapid, and M. R. Kurnia, "Electric vehicle conversion based on distance, speed and cost requirements," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, Apr. 2015, pp. 446–454. doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.276.

[22] "Brushless (sin escobillas) | De Máquinas y Herramientas." Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/tecnologia-brushless-sin-carbones-intro

[23] M. Embrandiri, D. Isa, and R. Arehli, "Performance of an electric vehicle conversion at the University of Nottingham, Malaysia," in *Institution of Mechanical Engineers - Innovations in Fuel Economy and Sustainable Road Transport*, Woodhead Publishing Limited, 2011, pp. 35–45. doi: 10.1533/9780857095879.1.35.

[24] A. Aggarwal and V. K. Chawla, "A sustainable process for conversion of petrol engine vehicle to battery electric vehicle: A case study," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 432–437. doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.617.

[25] A. Ramos, "Tipos de motores eléctricos - Electromovilidad," Electromovilidad.net. Accessed: Apr. 14, 2025. [Online]. Available: https://electromovilidad.net/tipos-de-motores-electricos/

[26] M. Aktas, K. Awaili, M. Ehsani, and A. Arisoy, "Direct torque control versus indirect field-oriented control of induction motors for electric vehicle applications," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 23, no. 5, pp. 1134–1143, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jestch.2020.04.002.

[27] F. L. Mapelli, D. Tarsitano, and F. Cheli, "MRAS rotor resistance estimators for EV vector controlled induction motor traction drive: Analysis and experimental results," *Electric Power Systems Research*, vol. 146, pp. 298–307, May 2017, doi: 10.1016/j.epsr.2017.02.005.

[28] J. Ferreira, "Motor de inducción – Máquinas Eléctricas," Máquinas Eléctricas. Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: https://maquinaselectricasblog.wordpress.com/motor-de-induccion/

[29] L. Feng *et al.*, "A review on control techniques of switched reluctance motors for performance improvement," Jul. 01, 2024, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2024.114454.

[30] H. Cui, D. Hall, and N. Lutsey, "Update on the global transition to electric vehicles through 2019," 2019, Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: www.theicct.orgcommunications@theicct.org

[31] I. Husain, "Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals, SECOND EDITION," *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals, Second Edition*, pp. 1–487, Jan. 2010, doi: 10.1201/9781439894972.

[32] J. Shen, H. I. Mohammed, S. Chen, B. Alkali, M. Luo, and J. Yang, "Mechanical vibration's effect on thermal management module of Li-ion battery module based on phase change material (PCM) in a high-temperature environment," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 60, p. 104752, Aug. 2024, doi: 10.1016/J.CSITE.2024.104752.

[33] A. / Esd, "Well-to-Wheels Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles Energy Systems Division." [Online]. Available: www.anl.gov.

[34] M. Morera, "El efecto de la altitud en los motores eléctricos," Motortico. Accessed: Feb. 14, 2025. [Online]. Available: https://www.motortico.com

[35] "Efecto de la altitud (mayor a 1000 m.s.n.m.) en el funcionamiento del motor eléctrico." Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.electroinstalador.com/efecto-la-altitud-mayor-1000-msnm-el-funcionamiento-del-motor-electrico-n300

[36] "How Do EV's Perform in High Altitudes? - Blazing EV." Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: https://www.blazingev.com/how-do-evs-perform-in-high-altitudes/

[37] "Revista ElectroIndustria - El efecto de la altura en la eficiencia de un motor eléctrico." Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1316&ni=el-efecto-de-la-altura-en-la-eficiencia-de-un-motor-electrico

[38] "¿Por qué la altitud pudiera afectar el funcionamiento de los vehículos eléctricos?" Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.purosautos.com/novedades/por-que-la-altitud-pudiera-afectar-el-funcionamiento-de-los-vehiculos-electricos/

[39] K. Sandip Garud and M. Y. Lee, "Thermal management characteristics of electric vehicle driving motor with oil spray cooling based on spray locations and oil types," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 248, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.123234.

[40] D. Konovalov *et al.*, "Recent Developments in Cooling Systems and Cooling Management for Electric Motors," 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/en16197006.

[41] J. Zachariae, M. Tiesler, R. Singh, T. A. Benning, and C. Schweikert, "Silicon carbide based traction inverter cooling in electric vehicle using heat pipes," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 46, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.tsep.2023.102155.

[42] X. Li and R. Wang, "Towards integrated thermal management systems in battery electric vehicles: A review," *eTransportation*, vol. 24, p. 100396, May 2025, doi: 10.1016/j.etran.2025.100396.

[43] M. Asim *et al.*, "Advancements in thermal management solutions for electric vehicle high-power electronics: Innovations, cooling methods, and future perspectives," Mar. 01, 2025, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.est.2025.115344.

[44] I. José and H. Rosales Fernández, "MOTORES ELECTRICOS PARA LA INDUSTRIA."

[45] Q. Liu and G. Chen, "Design of Electric Vehicle Battery Management System," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2614, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2614/1/012001.

[46] "¿Cómo funcionan las baterías de los coches eléctricos?" Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.honda.es/cars/electric/how-do-electric-car-batteries-work.html

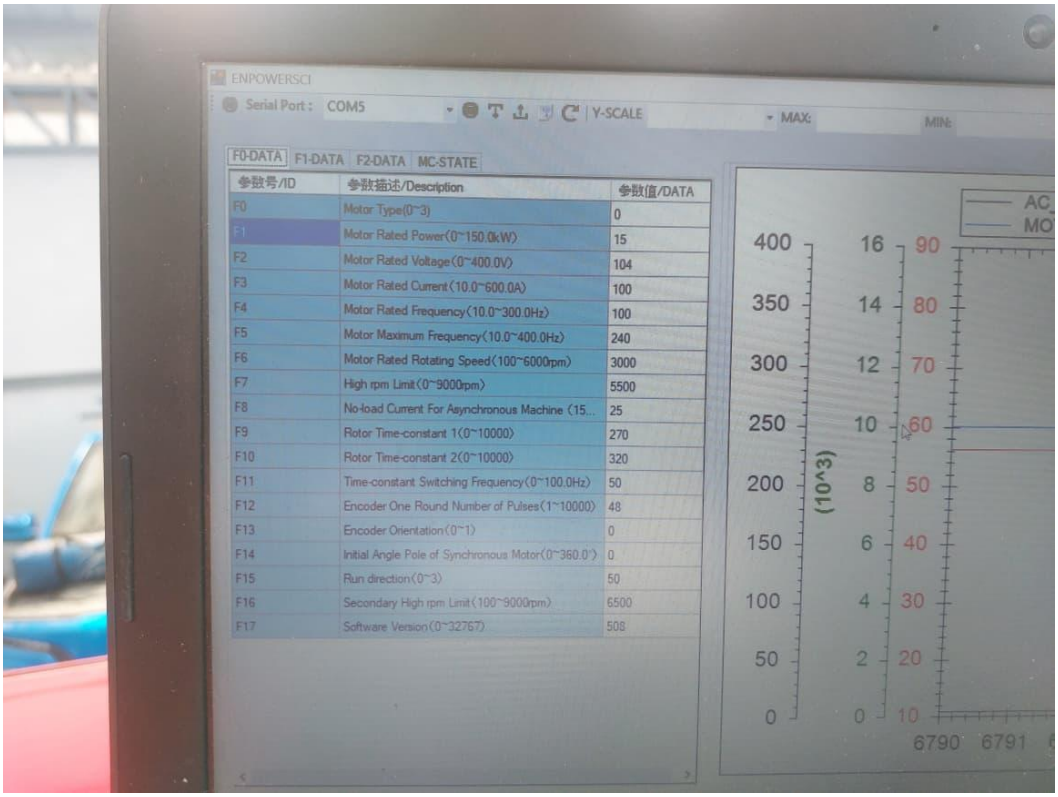
[47] "Conversor e inversor: electrónica básica de los vehículos eléctricos | Editores." Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.editores-srl.com.ar/autor/ricardo_berizzo/20210701_conversor_e_inversor_electronica_basica_de_los_vehiculos_electricos

[48] "Resumen boletines - Instituto Mexicano del Transporte." Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=560&IdBoletin=198

ANEXOS

Anexo I

Programación del vehículo mediante el software Enpowersci



Anexo II

Pantalla digital integrada del vehículo

Anexo III

Pruebas del vehículo en el dinamómetro de chasis

Anexo IV

Graficas en el dinamómetro

Anexo V

Pesaje del vehículo eléctrico convertido