



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CONVERSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE COMBUSTION INTERNA A  
MOTOCICLETA ELÉCTRICA PLUG-IN MANTENIENDO LA CADENA DE  
CINEMÁTICA ORIGINAL PARA FACILITAR LA ADAPTACIÓN DEL SISTEMA Y  
REDUCIR LAS EMISIONES CONTAMINANTES EMITIDAS EN EL DISTRITO  
METROPOLITANO DE QUITO.

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

AUTOR: JOHANN SEBASTIAN ROMÁN BARRERA

TUTOR: CARLOS ALBERTO CARRANCO QUIÑÓNEZ

Quito - Ecuador

2024

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Johann Sebastian Román Barrera con documento de identificación N° 1720302353 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 20 de enero del año 2024

Atentamente,



---

Johann Sebastian Román Barrera  
1720302353

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo Johann Sebastian Román Barrera con documento de identificación No.1720302353, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Conversión de una motocicleta de combustión interna a motocicleta eléctrica plug-in manteniendo la cadena de cinemática original para facilitar la adaptación del sistema y reducir las emisiones contaminantes emitidas en el Distrito Metropolitano de Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 20 de enero del año 2024

Atentamente,



---

Johann Sebastian Román Barrera  
1720302353

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Alberto Carranco Quiñónez con documento de identificación N° 1713629564, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CONVERSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE COMBUSTIÓN INTERNA A MOTOCICLETA ELÉCTRICA PLUG-IN MANTENIENDO LA CADENA DE CINEMÁTICA ORIGINAL PARA FACILITAR LA ADAPTACIÓN DEL SISTEMA Y REDUCIR LAS EMISIONES CONTAMINANTES EMITIDAS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, realizado por Johann Sebastian Román Barrera con documento de identificación N° 1720302353, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de enero del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Carlos Alberto Carranco Quiñónez, MsC  
1713629564

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a mis padres, quienes son los responsables fundamentales de la persona que soy ahora. Su amor incondicional, apoyo incansable y sacrificios han sido la piedra angular de mi camino. A lo largo de mi vida, han sido testigos de mis triunfos y desafíos, guiándome con sabiduría y paciencia. Sin duda, este logro no solo es mío, sino también de ellos. Es el mejor regalo que un hijo puede ofrecer a sus padres, un testimonio de su dedicación, esfuerzo y enseñanzas. A través de su ejemplo, han sembrado en mi la semilla del valor, la perseverancia y el aprecio por la vida.

Mi eterno agradecimiento y amor. Este proyecto es su legado, su influencia perdura en cada palabra escrita y en cada lección aprendida. Gracias por ser mi fuente de inspiración constante y por hacer posible este sueño que compartimos como familia.

Johann Sebastian Román Barrera

## **AGRADECIMIENTO**

Mis sinceros agradecimientos a todos aquellos que contribuyeron de alguna manera a la realización de este proyecto. Su apoyo y orientación fueron invaluable. Expreso mi profundo agradecimiento a mi padre Esgar Román y al Ingeniero Carlos Carranco por su asesoría y dedicación durante todo el proceso de investigación. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por la calidad de la educación recibida ha sido fundamental en mi formación académica.

Johann Sebastian Román Barrera

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
PROBLEMA.....	2
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
Marco Teórico.....	7
CAPÍTULO 1.....	15
DISEÑO Y METODOLOGÍA DE CONVERSIÓN .....	15
1.1    Evaluación de la cadena cinemática original.....	15
1.2    Selección de componentes eléctricos.....	16
1.2.1    Subtema 1: Motor BLDC de alta potencia .....	16
1.2.2    Subtema 2: Controlador de motor BLDC.....	17
1.2.3    Subtema 3: Baterías de Níquel metal hidruro.....	19
1.2.4    Subtema 4: Monitor de batería inteligente (BMS) .....	19
1.2.5    Panel digital de instrumentos.....	20
1.2.6    Convertidor 48V a 12V .....	21
1.3    Conexión del sistema de propulsión eléctrica.....	21
1.3.1    Conexión de monitor de batería inteligente (BMS).....	23
1.3.2    Conexión paquetes de baterías Ni-MH.....	24
CAPÍTULO 2.....	25
PROCESO DE CONVERSIÓN.....	25
2.1    Desmontaje de componentes de combustión interna.....	25
2.2    Instalación de componentes eléctricos.....	27
2.2.1    Análisis de ubicación de componentes eléctricos principales.....	27
2.2.2    Adaptación e incorporación en estructura de chasis.....	28
2.3    Integración de la cadena cinemática original.....	30

2.4 Enlace sistema de iluminación y panel digital.....	31
CAPÍTULO 3.....	32
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	32
3.1 Eficiencia del sistema eléctrico .....	32
3.1.1 Test de recorrido.....	32
3.1.2 Autonomía .....	33
3.1.3 Velocidad Máxima .....	34
3.2 Tiempo de carga .....	35
3.3 Viabilidad económica de conversión.....	36
3.4 Impacto en las emisiones contaminantes .....	36
3.4.1 Emisiones durante la conducción .....	36
3.4.2 Contaminación auditiva.....	36
3.4.3 Vida útil y reciclaje.....	37
CONCLUSIONES .....	38
RECOMENDACIONES .....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	41



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Boletín Parque Automotor.....	3
<b>Figura 2:</b> Mezcla Aire – Combustible.....	7
<b>Figura 3:</b> Moto Eléctrica.....	8
<b>Figura 4:</b> Bicicleta eléctrica.....	9
<b>Figura 5:</b> Prototipo Papoose.....	10
<b>Figura 6:</b> Scoot’Elec.....	10
<b>Figura 7:</b> Project Livewire.....	11
<b>Figura 8:</b> Rendimiento de Par motor y Potencia.....	14
<b>Figura 9:</b> Cadena cinemático original.....	15
<b>Figura 10:</b> Motor brushless DC 5KW.....	16
<b>Figura 11:</b> Controlador de Motor 5KW.....	17
<b>Figura 12:</b> Celda de Ni-MH.....	19
<b>Figura 13:</b> Monitor inteligente de batería.....	20
<b>Figura 14:</b> Panel digital de instrumentos.....	20
<b>Figura 15:</b> Esquema de conexión sistema de propulsión eléctrica.....	21
<b>Figura 16:</b> Diagrama de cableado autoalimentado.....	24
<b>Figura 17:</b> Conexión de paquetes de baterías Ni-MH.....	24
<b>Figura 18:</b> Motocicleta modelo Thunder TGN150cc.....	25
<b>Figura 19:</b> Desmontaje de accesorios y latonería.....	26
<b>Figura 20:</b> Desmontaje de motor de combustión.....	27
<b>Figura 21:</b> Estructura de Chasis original.....	28
<b>Figura 22:</b> Estructura de chasis adaptada.....	29
<b>Figura 23:</b> Incorporación de componentes eléctricos.....	29
<b>Figura 24:</b> Integración de la cadena cinemática original.....	31
<b>Figura 25:</b> Test de recorrido.....	32
<b>Figura 26:</b> Curva de voltaje y corriente en tiempo real.....	33
<b>Figura 27:</b> Datos de Velocímetro.....	35

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Especificaciones Motor 5KW .....	16
<b>Tabla 2:</b> Especificaciones Controlador 5KW .....	17
<b>Tabla 3:</b> Indicadores de fallo .....	18
<b>Tabla 4:</b> Indicador de cableado.....	22
<b>Tabla 5:</b> Ubicación de componentes eléctricos principales.....	27
<b>Tabla 6:</b> Tabla de transmisiones.....	30
<b>Tabla 7:</b> Aspectos de batería Ni-MH.....	33
<b>Tabla 8:</b> Aspectos de batería plomo - acido .....	34

## RESUMEN

La creciente preocupación por la contaminación vehicular ha dirigido la atención hacia alternativas de movilidad, especialmente las motocicletas, que experimentan un aumento como medio de transporte para trabajo o uso personal. Aunque son reconocidas debido a su capacidad para utilizar de manera eficiente el combustible, las motocicletas siguen siendo fuentes móviles de contaminación por emisión de gases nocivos. Los contaminantes, como CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, provenientes de diversas partes del vehículo, representan riesgos para la salud, y se prevé que la contaminación del aire sea la principal causa ambiental de muertes prematuras en las próximas décadas.

En Ecuador, el notable crecimiento de la industria de ensamblaje de motocicletas se atribuye en gran medida a la venta de modelos de hasta 150cc, utilizados principalmente con fines laborales. Sin embargo, este aumento en el parque automotor de motocicletas contribuye significativamente a las emisiones de CO<sub>2</sub>. Se destaca que el Distrito Metropolitano de Quito enfrenta un problema creciente de la polución atmosférica y liberación de sustancias gaseosas contaminantes debido al aumento en el uso de vehículos de combustión interna, incluyendo motocicletas.

El proyecto propone abordar esta problemática mediante la conversión de motocicletas de combustión interna a eléctricas, una alternativa que no solo elimina las emisiones contaminantes, sino que también reduce la exposición de la población a riesgos para la salud. La investigación se justifica en términos de impacto ambiental, salud pública, movilidad. Se presenta un análisis detallado de los motores eléctricos, específicamente los motores BLDC sin escobillas, que ofrecen ventajas como mayor eficiencia, menor mantenimiento y mayor vida útil. Se explora también el papel crucial del controlador de motor BLDC en la gestión de la energía eléctrica para el funcionamiento del vehículo. La comparación entre motores eléctricos y de combustión interna resalta las diferencias en rendimiento, mostrando que los motores eléctricos superan en flexibilidad y capacidad de generación de torque a diferentes velocidades. Finalmente, se proporciona un recorrido histórico de la evolución de las motocicletas eléctricas, desde prototipos tempranos hasta modelos recientes.

El proyecto busca, a través de la conversión a motocicletas eléctricas, abordar de manera integral los desafíos ambientales y de salud asociados con el aumento del parque

automotor de motocicletas en Quito, ofreciendo una solución sostenible y contribuyendo a la reducción de emisiones y a la promoción de la movilidad eléctrica en la ciudad.

**Palabras Claves:** Conversión, parque automotor, fuentes móviles, Motores BLDC, controlador, movilidad eléctrica.

## ABSTRACT

The growing concern about vehicle pollution has shifted attention to mobility alternatives, especially motorcycles, which are experiencing an increase as a means of transportation for work or personal use. Although recognized for their fuel efficiency, motorcycles remain mobile sources of pollution due to the emission of harmful gases. Contaminants such as CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and PM<sub>2.5</sub> originating from various parts of the vehicle pose health risks, and air pollution is expected to be the leading environmental cause of premature deaths in the coming decades.

In Ecuador, the significant growth of the motorcycle assembly industry is largely attributed to the sale of models up to 150cc, primarily used for work purposes. However, this increase in the motorcycle fleet significantly contributes to CO<sub>2</sub> emissions. It is noteworthy that the Metropolitan District of Quito is facing a growing problem of air pollution and emissions of pollutants due to the increased use of internal combustion engine vehicles, including motorcycles.

The project proposes to address this issue by converting internal combustion engine motorcycles to electric ones, an alternative that not only eliminates polluting emissions but also reduces the population's exposure to health risks. The research is justified in terms of environmental impact, public health, and mobility. A detailed analysis of electric motors, specifically brushless DC (BLDC) motors, is presented, highlighting advantages such as higher efficiency, lower maintenance, and longer lifespan. The crucial role of the BLDC motor controller in managing electrical power for vehicle operation is also explored. The comparison between electric motors and internal combustion engines emphasizes differences in performance, showing that electric motors outperform in flexibility and torque generation at different speeds. Finally, a historical overview of the evolution of electric motorcycles, from early prototypes to recent models, is provided. The project aims, through the conversion to electric motorcycles, to comprehensively address the environmental and health challenges associated with the increasing motorcycle fleet in Quito, offering a sustainable solution and contributing to emissions reduction and the promotion of electric mobility in the city.

**Keywords:** Conversion, vehicle fleet, mobile sources, BLDC Motors, controller, electric mobility.

## INTRODUCCIÓN

La conversión de una motocicleta de combustión interna a eléctrica implica un proceso minucioso que aborda varios aspectos esenciales. Inicialmente, se lleva a cabo un análisis detallado de la cadena cinemática original, evaluando la eficacia de componentes como piñones y coronas. La selección de componentes eléctricos se realiza con precaución, dando prioridad a un motor BLDC potente, un controlador eficiente y baterías Ni-MH para asegurar un rendimiento óptimo. La fase final, que es la conexión del sistema de propulsión eléctrica, involucra una disposición precisa de cables y la implementación de un monitor de batería inteligente y un panel digital de instrumentos para un control preciso del sistema. El segundo capítulo detalla el proceso de conversión, resaltando la preservación de componentes originales y los ajustes estructurales necesarios. Se inicia con el desmontaje de la motocicleta recuperada de un depósito de chatarra, abordando desde accesorios hasta el motor de combustión. La instalación de componentes eléctricos se centra en la ubicación estratégica del motor BLDC, el controlador y las baterías Ni-MH, con ajustes en la estructura del chasis para una integración eficiente. El tercer capítulo se enfoca en el análisis de los resultados de las pruebas de recorrido, destacando la eficiencia del sistema eléctrico, la autonomía y la velocidad máxima. Se subraya la reducción de emisiones contaminantes y ruido al operar la motocicleta eléctrica, junto con el enfoque central del proyecto en la reutilización de motocicletas para maximizar la utilidad de componentes y promover la sostenibilidad.

## PROBLEMA

La problemática de la contaminación vehicular ha despertado un marcado interés, y la exploración de alternativas de movilidad ha llevado a que las motocicletas experimenten un crecimiento continuo como un segmento de transporte para trabajo o fines personales. Aunque las motocicletas son conocidas debido a su capacidad para aprovechar de manera eficiente el combustible, no obstante, siguen siendo una fuente móvil de contaminación emisora de gases perjudiciales. Estos contaminantes pueden originarse en diversas partes del vehículo, como el tanque de gasolina, el cárter, el carburador y el tubo de escape.

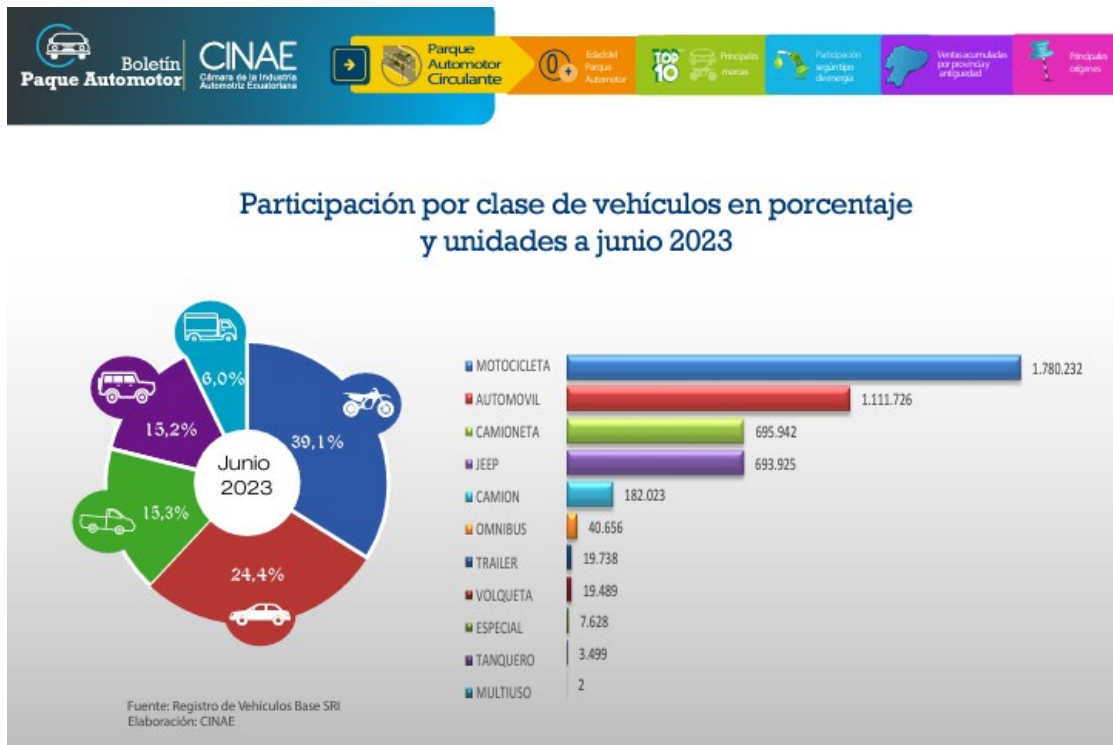
Los vehículos motorizados emiten diversos contaminantes, siendo los más destacados el Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el Dióxido de azufre (NO<sub>2</sub>) y el Material Particulado (PM<sub>10</sub>), así como el PM<sub>2,5</sub>. Investigaciones realizadas en megaciudades han confirmado que el PM<sub>2,5</sub> y el NO<sub>2</sub> son los principales agentes contaminantes asociados con riesgos para la salud. Se proyecta que la contaminación del aire se convierta en la principal causa ambiental de muertes prematuras en las próximas décadas (Hayashi, 2022).

En los últimos años, la industria de ensamblaje de motocicletas en Ecuador ha experimentado un notable crecimiento. Este fenómeno se atribuye al hecho de que más del 80% de las motocicletas vendidas en el país tienen una cilindrada de hasta 150cc, siendo mayormente utilizadas para fines laborales (Hayashi, 2022).

Hasta junio del 2023 se contabilizaron un total de 1,780.232 motocicletas siendo este el 39.1% de la participación por clase de vehículos en el Ecuador. En relación con el segmento más grande de ventas de motocicletas en Ecuador y en el Distrito Metropolitano de Quito, un estudio realizado por la AEADE indica que, según los fabricantes de motocicletas, una motocicleta de 150cc tiene un consumo promedio de combustible estimado de 130 a 164 kilómetros por galón. Además, la prueba dinámica, según los fabricantes, revela emisiones de 1.22 g/km de CO, 0.35 g/km de HC, 0.09 g/km de NO<sub>x</sub> y 65.27 g/km de CO<sub>2</sub> (Hayashi, 2022).



**Figura 1: Boletín Parque Automotor**



Porcentaje y unidades de vehículos 2023, Fuente: CINAIE

En el año 2021, se estima que en el Distrito Metropolitano de Quito hay alrededor de 513.000 vehículos de diversas modalidades, de los cuales el 10% corresponde a motocicletas, totalizando aproximadamente 51,950 motocicletas matriculadas y emisoras de CO<sub>2</sub>. Según los datos de la base de emisiones para la investigación atmosférica global, Ecuador registró una emisión cercana a los 40,700 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el año 2019 (Hayashi, 2022).

Según la Secretaría de Ambiente, la ciudad emite 7'611.216 de toneladas de CO<sub>2</sub> cada año” (La Hora, 2023). En este contexto, es urgente adaptar las motocicletas a la nueva tecnología de motores eléctricos. Las motocicletas eléctricas no solo carecen de emisiones contaminantes al aire, sino que también minimizan la generación de ruido debido al motor de combustión interna. Algunas motocicletas eléctricas se alimentan con energía solar, de ese modo se convierten en una alternativa dual respetuosa con el medio ambiente.

### **Delimitación del problema. –**

El Distrito Metropolitano de Quito se enfrenta a un creciente problema de contaminación del aire y emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero en gran medida atribuible al aumento en el uso de vehículos de combustión interna, incluyendo motocicletas. Este problema no sólo tiene un impacto significativo en la salud de la población, sino que también contribuye al cambio climático y pone en riesgo la sostenibilidad ambiental de la ciudad.

La conversión de motocicletas de combustión interna a motocicletas eléctricas plug-in representa una oportunidad prometedora para mitigar este problema, al reducir de manera drástica las emisiones de gases nocivos. Sin embargo, existe una falta de investigación integral sobre la movilidad técnica, económica y ambiental de esta solución en el contexto del Distrito Metropolitano de Quito. Para lo siguiente se justifica en los siguientes términos:

**Impacto ambiental:** la reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero contribuirá a la mejora de la calidad del aire y el cumplimiento de los compromisos del Ecuador en la lucha contra el cambio climático.

**Salud pública:** la contaminación del aire está relacionada con problemas de salud pública como enfermedades cardiovasculares. La conversión de motocicletas ayudaría a reducir la exposición de la población a contaminantes peligrosos.

**Movilidad sostenible:** fomentar la movilidad eléctrica contribuiría a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y en la diversificación de las opciones de transporte sostenible en la ciudad.

**Viabilidad económica:** evaluar la viabilidad económica de la convención es esencial para comprender si esta tecnología puede ser accesible para los usuarios y si puede generar beneficios económicos a largo plazo.

**Política y regulación:** la investigación también puede ayudar a informar y respaldar posibles políticas y regulaciones gubernamentales que fomenten la adaptación de motocicletas eléctricas en la conversión de vehículos de combustión interna.

Un motor eléctrico puede operar sin necesidad de mantenimiento durante varios años, mientras que los motores de corriente continua (DC) requieren revisión después de recorrer 130.000 kilómetros. Aunque el mantenimiento es mínimo, es necesario reemplazar las baterías cada 3 o 5 años (Spencer, 2019).

Tomando en cuenta estos datos, los costos de mantenimiento para una motocicleta eléctrica no son muy elevados, el tiempo de mantenimiento dependerá mucho del uso, kilometraje de la motocicleta y calidad de componentes que se tengan dentro del vehículo.

Desde una perspectiva medioambiental y presupuestaria, al realizar esta conversión, se pueden eliminar numerosos componentes de repuesto periódico asociados a un motor de combustión interna. Elementos como el aceite del motor y de la transmisión (en el caso de motocicletas automáticas), fabricados también a partir de derivados del petróleo, no solo generan contaminación durante su producción, sino que, al ser desechados de manera poco regulada a nivel nacional, podrían estar sujetos a procesos de eliminación aún más perjudiciales, incluso utilizándose como componentes para el procesamiento de narcóticos (González et al., 2010).

### **Objetivo General.**

Convertir una motocicleta de combustión interna a motocicleta eléctrica plug-in manteniendo la cadena de cinemática original para facilitar la adaptación del sistema y reducir las emisiones contaminantes emitidas en el Distrito Metropolitano de Quito.

### **Objetivos Específicos.**

- Evaluar el estado actual de las emisiones de gases contaminantes causadas por la motocicleta de combustión interna en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Implementar un sistema de conversión personalizado que permita la adaptación de una motocicleta de combustión interna a eléctrica plug-in preservando la cadena de cinemática.
- Evaluar la viabilidad económica de la conversión, considerando los costos de implementación.
- Medir el impacto ambiental de la conversión en términos de reducción de emisiones, comparando la motocicleta eléctrica con la de combustión interna.

## Marco Teórico

### Motores de combustión interna – Gases liberados por motocicletas

Las emisiones originadas por motocicletas resultan del funcionamiento del motor de combustión interna, siendo este la unidad generadora de trabajo para transporte liviano y con una autonomía considerable debido a la capacidad de volumen en su tanque de combustible. Este motor ha posibilitado alcanzar velocidades elevadas en vehículos tan compactos como las motocicletas. El motor de gasolina opera como una máquina térmica que convierte la energía química contenida en el combustible en energía mecánica., generalmente destinada a propulsar un eje (M. González, 2019).

Como se puede visualizar en la Figura 2, se muestra el proceso donde en la cámara de combustión se mezcla el combustible con aire distribuido a lo largo del volumen del cilindro. Cuando la mezcla (aire-combustible) es comprimida, el combustible reacciona con el oxígeno del aire, provocando una explosión que eleva la presión y temperatura del gas. Este gas se expande, empujando el pistón con la fuerza suficiente para desplazarlo hacia abajo y realizar trabajo (M. González, 2019).

**Figura 2:** Mezcla Aire – Combustible



Funcionamiento de un motor de combustión interna, Fuente: Juan Sánchez

Todos los gases liberados en este proceso son expulsados por el tubo de escape que se encuentra conectado al motor. En motocicletas se puede catalogar dos tipos de motores, dos y cuatro tiempos, cada uno se diferencia por su ciclo para realizar el trabajo. Los motores de cuatro tiempos son motores que emiten una cantidad menor de NOx y CO2 a comparación de los motores de dos tiempos, esto se debe a su mayor exactitud en la dosificación del combustible inyectado (Celoni, 2007).

### **Moto eléctrica**

Una motocicleta eléctrica es un tipo de vehículo de dos ruedas que funciona con un motor eléctrico que es reemplazado por un motor convencional que utiliza gasolina o diésel. Estas motos eléctricas están diseñadas para utilizar baterías recargables como fuente de energía en lugar del tradicional tanque de combustible.

Al prescindir del uso de gasolina, la principal ventaja de las motocicletas eléctricas radica en la ausencia de emisiones malignas, como los óxidos de nitrógeno (NOx) o partículas finas PM10, gases que afectan a la atmósfera en entornos urbanos. Además, estas motocicletas no cuentan con un tubo de escape por ende no emiten dióxido de carbono (CO2), un gas asociado al efecto invernadero (Twenergy, 2019).

**Figura 3: Moto Eléctrica**



Moto Get Naked N230-NT, Fuente: MOV -E

Las motocicletas eléctricas emplean baterías recargables como su fuente de energía, siendo la capacidad de la batería medida en kilovatios-hora (kWh). La autonomía de la moto está considerablemente influenciada por la capacidad de la batería y el estilo de conducción del usuario.

El cargador es un dispositivo externo, semejante a los utilizados para cargar las baterías de los teléfonos celulares. Este cargador incluye un cable que puede conectarse a un enchufe de pared para obtener corriente. Un indicador de carga completa se manifiesta mediante un

foco que cambia a color verde, mientras que el color rojo indica que la carga no ha alcanzado el 100% (Martínez, 2017).

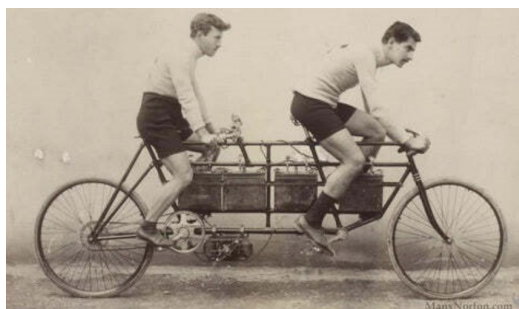
La duración requerida para cargar la batería puede variar dependiendo de la situación tecnológica de carga y la capacidad de la batería en sí. Algunas motocicletas eléctricas admiten carga rápida, permitiendo obtener una cantidad significativa de energía en un periodo corto. La autonomía de una motocicleta eléctrica se define como la cantidad de terreno que puede cubrir con una única carga. Este dato es esencial para evaluar la idoneidad del vehículo en relación con tus necesidades y considerar la infraestructura de carga disponible. A pesar de que el costo inicial de adquisición de una motocicleta eléctrica puede ser más elevado, los costos operativos tienden a ser menores. La electricidad suele ser más asequible que la gasolina, y las motocicletas eléctricas tienen menos componentes móviles que podrían necesitar mantenimiento. La presencia de estaciones de carga para motocicletas eléctricas constituye un factor crucial. Conocer la infraestructura de carga tanto en tu área local como en las rutas que planeas recorrer es de gran importancia.

### **Evolución de las motos eléctricas**

Las motocicletas eléctricas han estado presentes por más de cien años. En 1895, la compañía británica Humber dio a conocer una motocicleta eléctrica. A pesar de que esta moto no logró un éxito comercial significativo, estableció los cimientos para posteriores avances en la tecnología de vehículos eléctricos (e-mobility, 2023).

En 1897, apenas dos años después, en la exposición denominada Stanley Cycle Show, hizo su debut la primera bicicleta eléctrica alimentada por baterías, presentando el motor ubicado en la parte frontal de la rueda trasera. Este innovador vehículo sentó las bases de lo que eventualmente se reconocería como una moto eléctrica (e-mobility, 2023).

**Figura 4:** Bicicleta eléctrica



Alimentada por baterías, Fuente: ManxNorton.com

En 1919, el fabricante Ramsones, Sims & Jefferies presentó una motocicleta eléctrica como prototipo, aunque no logró superar la fase de prueba. Más tarde, en 1936, los hermanos Limelette fundaron Socovel, una empresa dedicada a las motocicletas eléctricas, pero decidieron discontinuar la producción en 1948 después de fabricar solo 400 unidades. A principios de la década de 1940, Earle Williams realizó con éxito la conversión de una motocicleta convencional a una versión eléctrica. Pasaron más de dos décadas antes de que se alcanzara otro hito: en 1967, Indian Motorcycle desarrolló el prototipo Papoose bajo la supervisión de Floyd Clymer, y en 1973, Mike Corbin estableció el primer récord de velocidad para una motocicleta eléctrica, alcanzando los 162 km/h (e-mobility, 2023).

**Figura 5:** Prototipo Papoose



Récord de velocidad de moto eléctrica de 162 km/h, Fuente: Motoscoot

**Figura 6:** Scoot'Elec





Primera moto eléctrica producida en masa. Fuente: PeugeotMotocyclesES

En el año 2000, Killacycle logró un nuevo récord de velocidad al alcanzar los 245 km/h. Siete años más tarde, A123 Li-Ion superó esta marca al llegar a los 270 km/h. En 2008, Orlando Tony Parker desarrolló la Electra Green, y al año siguiente se llevó a cabo la primera carrera de motocross eléctricas, llamada 24 Hours of Electricross. En 2010, la ElectroCat se convirtió en la primera motocicleta eléctrica en llegar a la cima del Pico Pikes, estableciendo un récord en la prestigiosa competición Pikes Peak International Hill Climb. Cuatro años después, Harley-Davidson lanzó al mercado la Project Livewire, una de sus más recientes motocicletas eléctricas (e-mobility, 2023).

**Figura 7:** Project Livewire



La moto eléctrica más reciente en el 2014, Fuente: Harley-Davidson

Los primeros motores sin escobillas de corriente continua de gran tamaño (50 CV o más) fueron concebidos por Robert E. Lordo en Powertec a finales de la década de 1980. En la actualidad, prácticamente todos los principales fabricantes de automóviles fabrican motores de corriente continua sin escobillas en distintos tamaños de potencia, que van desde 1/2 CV hasta 300 CV, alcanzando los 500 CV en octubre de 1992 (García & Guerra, 2012).

Los motores Brushless DC (BLDC) transforman la energía eléctrica en movimiento mecánico sin el uso de escobillas para la conmutación de corriente.

Está compuesto por un estator trifásico convencional y un rotor que posee una superficie magnética encargada de generar el flujo magnético. Por lo tanto, se requiere que el eje esté fabricado con un material de alta permeabilidad relativa, evitando así la necesidad de recurrir a materiales magnéticos presentes en los motores con imanes permanentes (Moralejo, 2010).

- **Funcionamiento**

En lugar de escobillas, los motores brushless utilizan un controlador electrónico para gestionar la conmutación de la corriente en los diferentes bobinados del motor. La conmutación electrónica permite un funcionamiento más eficiente y duradero en comparación con los motores de corriente continua con escobillas.

- **Ventajas**

Mayor eficiencia: La ausencia de fricción de las escobillas y la conmutación electrónica suelen hacer que los motores brushless sean más eficientes.

Menos mantenimiento: Al no tener escobillas, no hay desgaste mecánico, lo que reduce la necesidad de mantenimiento.

Mayor vida útil: La falta de fricción contribuye a una mayor vida útil en comparación con los motores de escobillas.

Eficiente disipación térmica: El motor es capaz de manejar y disipar eficazmente el calor generado durante su funcionamiento. Es esencial para prevenir el sobrecalentamiento y garantizar un rendimiento continuo y fiable a lo largo del tiempo.

Gran capacidad para resistir sobrecargas: El motor brushless DC puede soportar condiciones de carga que exceden sus especificaciones nominales sin experimentar daños significativos. Esto proporciona un margen de seguridad adicional y mejora la durabilidad del motor en situaciones de uso intensivo o en condiciones variables.

Elevada potencia y relación torque/inercia: El motor puede generar una considerable potencia de salida y tiene una relación eficiente entre el torque (fuerza rotacional) producido y su inercia (resistencia al cambio en la velocidad de rotación). Esto es beneficioso para aplicaciones que requieren un rendimiento robusto y dinámico.

- **Inconvenientes**

Elevado precio.

Variación en el par motor.

Riesgo de desmagnetización de los imanes.

### **Controlador de Motor BLDC**

Un controlador es un dispositivo automatizado que gestiona, convierte o facilita el transporte de energía eléctrica al recopilar la energía almacenada en la batería y dirigirla al motor para iniciar el funcionamiento del vehículo (Colimba, 2023).

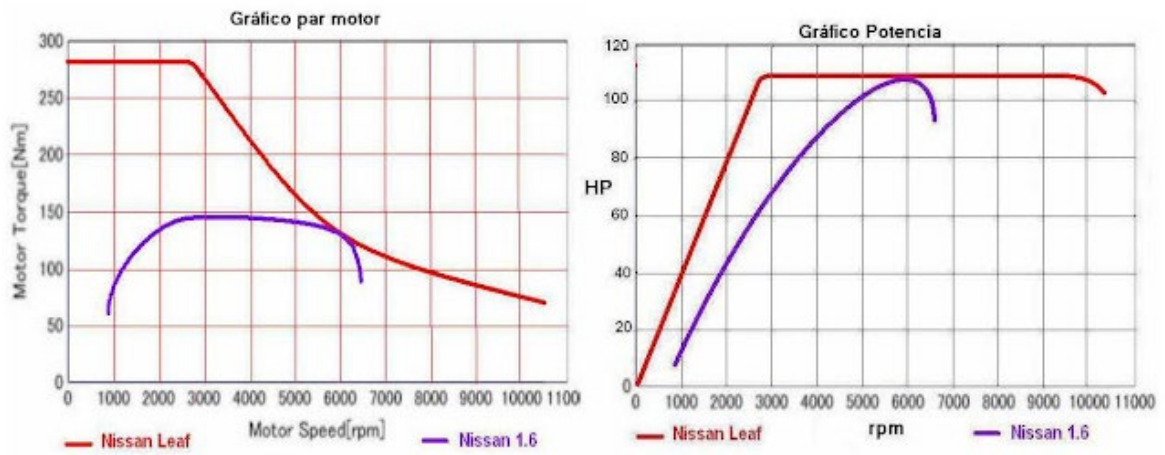
El propósito del controlador es limitar el arranque del motor eléctrico, ya que este proceso demanda una gran cantidad de electricidad. Estos controladores, siempre que la fuente lo permita, están diseñados para ser utilizados en diversos tipos de vehículos de transporte. Son programables, de fácil instalación, eficientes y asequibles. Entre las aplicaciones habituales se encuentran los carritos de golf y los vehículos comerciales pequeños (Colimba, 2023).

### **Comparación entre motor eléctrico y motor de combustión interna**

Ambos tipos de motores, el eléctrico y el de combustión interna, son fundamentales en la industria del transporte y la maquinaria. Sin embargo, difieren significativamente en su funcionamiento y características. Nissan lleva a cabo una evaluación comparativa de rendimiento en términos de par motor y potencia entre estos dos tipos de motores, manteniendo el rango de estos dos términos.

En lo que respecta al torque, según se observa en la figura 8, el motor de combustión muestra limitaciones al no poder operar por debajo de las 700 rpm, en contraste, el motor eléctrico exhibe un rango de funcionamiento desde 0 rpm hasta los 10,000 rpm. Esta disparidad en los rangos de rendimiento destaca la marcada diferencia de magnitudes entre ambos motores. Es evidente que el motor eléctrico supera al motor de combustión en flexibilidad y capacidad para generar torque en un espectro más amplio de velocidades (Mobility Portal Latinoamerica, 2020).

**Figura 8:** Rendimiento de Par motor y Potencia



Comparación de motor Nissan Leaf vs motor Nissan 1.6, Fuente: Foro coches eléctricos

# CAPÍTULO 1

## DISEÑO Y METODOLOGÍA DE CONVERSIÓN

La transformación de una motocicleta de combustión interna a eléctrica implica un proceso detallado que aborda aspectos clave. En primera instancia, se realiza un minucioso análisis de la cadena cinemática original, evaluando la eficacia de componentes como piñones y coronas. Posteriormente, se lleva a cabo una cuidadosa elección de componentes eléctricos, priorizando un motor BLDC potente, un controlador eficiente y baterías Ni-MH para un rendimiento óptimo. La conexión del sistema de propulsión eléctrica constituye la fase final, donde se establecen las interconexiones entre batería, motor y otros componentes eléctricos. Esta etapa no solo implica una disposición precisa de cables, sino también la implementación de un monitor de batería inteligente y un panel digital de instrumentos para un control preciso del sistema.

### 1.1 Evaluación de la cadena cinemática original

Se evalúa el uso de la cadena cinemática original de primera instancia para llevar a cabo el tipo de motor eléctrico que va a reemplazar al motor convencional a gasolina en esta conversión. Con el fin de reutilizar los componentes de la motocicleta de combustión interna, se identifica ciertas ventajas en base al uso de la cadena cinemática original y el motor BLDC tipo central.

La cadena transmite la energía del motor a la rueda trasera a través de ruedas dentadas. Estas ruedas dentadas se denominan piñón y corona, son las encargadas de ejercer el movimiento de transmisión. El piñón está enlazado a la rueda trasera mediante varillajes, en contraste, la corona está vinculada a la transmisión por medio de un eje.

**Figura 9:** Cadena cinemático original



Cadena oxidada debido al deterioro de la motocicleta, Fuente: Johann Román

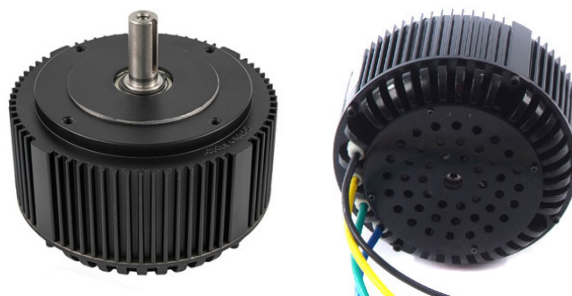
El uso de la cadena permite ajustar la relación de transmisión al cambiar el tamaño de las ruedas dentadas brindando versatilidad para adaptarse a diferentes necesidades de rendimiento y velocidad. Es por eso por lo que se ve en la necesidad de mantener el sistema de transmisión original del modelo de motocicleta Thunder TGN150 y optar por un motor central para mantener la distribución del peso. A diferencia de un motor HUB (motor que se encuentra integrado a la rueda), el motor central puede manejar cargas más pesadas sin comprometer su rendimiento, además, es capaz de adaptarse a diversas condiciones y terrenos gracias al uso del mismo sistema de transmisión de una motocicleta convencional.

## 1.2 Selección de componentes eléctricos

### 1.2.1 Subtema 1: Motor BLDC de alta potencia

Motor central que se caracteriza por tener un diseño compacto, resistente al agua, con ventilación de auto enfriamiento, funcional a la intemperie, ideal para la aplicación de esta motocicleta eléctrica.

**Figura 10:** Motor brushless DC 5KW



Motor refrigerado por aire, Fuente: Golden Motor

**Tabla 1:** Especificaciones Motor 5KW

Modelo:	HPM5000B
Voltaje:	48V
Potencia Nominal:	3KW-7.5KW
Eficiencia:	91%
Resistencia de fase (miliohmios):	6.2/48V

Inducción de fase (100 KHZ):	68uH/48V
Velocidad:	2000-6000 rpm
Peso:	11 kg
Carcasa:	Aluminio
Longitud (altura):	126 mm
Diámetro:	206 mm

Parámetros detallados, Fuente: Golden Motor

### 1.2.2 Subtema 2: Controlador de motor BLDC

El controlador de la serie VEC está especialmente diseñado para motores de CC sin escobillas de alta potencia, siendo el modelo de controlador que acompaña al motor de acuerdo con los parámetros de voltaje y potencia (48V / 5KW). Diseño compacto, programable vía software dependiendo a las necesidades de uso para esta motocicleta eléctrica. Mediante una solución de control avanzada, el sistema puede lograr los siguientes rendimientos: control de par máximo, control de potencia, control de circuito cerrado de velocidad, funciones de protección y frenado regenerativo.

**Figura 11:** Controlador de Motor 5KW



Controlador programable para motores de alta potencia, Fuente: Golden Motor

**Tabla 2:** Especificaciones Controlador 5KW

Modelo	VEC300
Voltaje	48V ~ 96V
Corriente nominal de BUS CC	30A ~ 200A

Potencia de salida nominal	1000W ~ 10000W
Modo de control de motor	FOC
Corriente	20 ~ 40mA
Límite de velocidad	Controlado por motor y configuración
Método de conducción	Control de par directo

Parámetros detallados, Fuente: Golden Motor

Además, este controlador tiene incorporado un led indicador de funcionamiento y estado de fallo. Una vez que el controlador detecta el fallo este se protege para no afectar el motor eléctrico.

**Tabla 3:** Indicadores de fallo

System Protection Characteristics		LED Blinking Times
Over-voltage protection	Battery voltage is higher than default value	1
Under-voltage protection	Battery voltage is lower than default value	2
Motor over-current protection	Motor phase is short-circuit or phase to ground is short-circuit	3
Motor over-heat protection	Motor temperature is higher than default value	13
Stalling protection	Motor stalling time is over default value	4
HALL protection	HALL input is abnormal	5
MOSFET protection	MOSFET self-checking is abnormal	6
Phase winding disconnect protection	One of the motor phase is disconnection	7
Self-checking error protection	System internal power-on self-checking is abnormal	10
Controller over-heat protection	When controller operation temperature is higher than default value	11
Throttle protection	Throttle input is abnormal	12
Communication Characteristics		
UART communication	UART interface: parameter configuration and working state monitoring	
CAN communication	CAN interface: parameter configuration and working state monitoring	
Bluetooth communication	Bluetooth wireless interface: parameter configuration and working state monitoring	
LED indicator light	Indicate current working state or fault state	

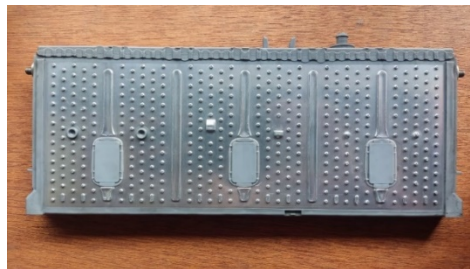
Características de protección del sistema y comunicación, Fuente: Golden Motor



### 1.2.3 Subtema 3: Baterías de Níquel metal hidruro

Las baterías desempeñan un papel crucial como fuente de energía limpia en el sistema de propulsión de la motocicleta eléctrica. La elección de utilizar baterías de níquel-metal hidruro se basa en el conocimiento específico del voltaje de operación del motor eléctrico. Estas baterías son ampliamente utilizadas en vehículos híbridos debido a su bajo impacto ambiental, y ofrecen un control más preciso del voltaje y la temperatura. Este enfoque se adopta con el objetivo de optimizar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de propulsión (Lindao & Intriago, 2022).

**Figura 12:** Celda de Ni-MH



Celda liviana utilizada en vehículos híbridos como Toyota Prius, Fuente: Johann Román

La celda de Ni-MH que son utilizadas en el modelo de vehículo Toyota Prius, integran 6 células con voltaje de 1,2 voltios en cada una, con un voltaje total por celda de 7,2V y 6,5 Amp/h (Lindao & Intriago, 2022).

### 1.2.4 Subtema 4: Monitor de batería inteligente (BMS)

Un sistema de gestión de batería es indispensable para asegurar el funcionamiento y eficiencia del conjunto de baterías. Este monitor funciona como el cerebro de la batería, supervisando su desempeño, gestionando los ciclos de carga y descarga y resguardándola contra diversas amenazas. La importancia de este módulo radica en maximizar la vida útil de la batería, optimizar el rendimiento y elevar la seguridad de la motocicleta eléctrica.

**Figura 13:** Monitor inteligente de batería



Medidor de voltaje y corriente multifunción (100A – 120V), Fuente: WonVon – Amazon

Además, se ha seleccionado este monitor ya que tiene funciones necesarias para el cuidado del sistema eléctrico de la motocicleta: potencia en tiempo real, datos de curva, temperatura de celdas, consumo de energía, resistencia y duración de trabajo. Gracias a este módulo vamos a poder monitorear la autonomía de la batería.

### 1.2.5 Panel digital de instrumentos

La inclusión de un panel de instrumentos digital en esta motocicleta eléctrica es de suma importancia debido al cambio del motor de combustión interna a un motor eléctrico. En contraste con las motocicletas convencionales que emplean un velocímetro conectado mecánicamente a la caja de cambios a través de una cadena, en las motocicletas eléctricas esta conexión directa no está presente.

En su lugar, el panel digital utiliza un sensor de velocidad (VSS) que utiliza un magneto para contar las vueltas de la rueda. Este sensor registra la información necesaria para calcular con precisión la velocidad de la motocicleta y presenta este dato de manera clara en la pantalla digital del panel de instrumentos. Este método no solo suple la falta de un velocímetro mecánico directo, sino que también aprovecha la tecnología digital para brindar una medición de velocidad más precisa y confiable, contribuyendo así a una experiencia de conducción moderna y eficiente.

**Figura 14:** Panel digital de instrumentos



Panel universal con diferentes funciones, Fuente: Whaletail - Amazon

### 1.2.6 Convertidor 48V a 12V

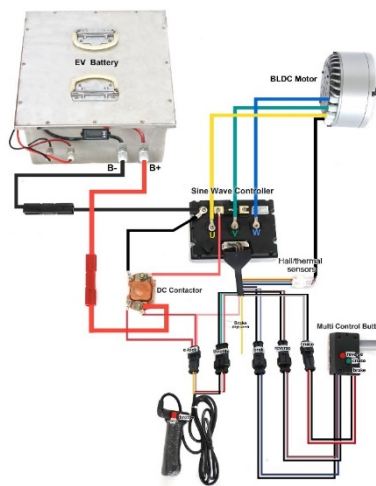
Un convertidor de 48V a 12V se vuelve esencial en la motocicleta eléctrica para recargar la batería secundaria de 12V y proporcionar energía a los accesorios conectados a esta batería adicional, considerando que la batería principal es de 48V. La conexión implica utilizar la salida del convertidor, transformando la corriente de 48V a 12V, para alimentar de manera independiente el sistema eléctrico de 12V de la motocicleta. Este sistema eléctrico de menor voltaje actúa de manera análoga a un alternador en vehículos convencionales, sirviendo como fuente de energía para accesorios de baja tensión.

La elección de un convertidor de alta calidad es crucial, asegurándose de que tenga la capacidad necesaria para suministrar la corriente requerida a la batería secundaria y garantizando un suministro de energía estable y eficiente. Además, este componente desempeña un papel fundamental en mantener la carga y el rendimiento óptimo de la batería secundaria, lo que contribuye al funcionamiento integral y fiable de los accesorios eléctricos en la motocicleta.

### 1.3 Conexión del sistema de propulsión eléctrica

El correcto funcionamiento de los componentes eléctricos depende mucho de la conexión que se realice para el accionamiento de la motocicleta eléctrica. Con esa finalidad, se nos proporcionó un esquema de conexión donde se detalla cada uno de los cables en el sistema de propulsión eléctrica.

**Figura 15:** Esquema de conexión sistema de propulsión eléctrica



## Componentes eléctricos principales para su accionamiento, Fuente: Golden Motor

Entre todos los componentes principales, el controlador en la parte central del sistema actuando como mediador entre la batería y el motor eléctrico. Es por eso como el cableado del motor y la batería van conectados a los bornes correspondiente en el controlador. Al acelerar, la unidad de control transmite la energía almacenada de la batería al motor eléctrico, dando inicio al movimiento (Blog Youin, 2022), las líneas de la batería pasan al controlador y de este, al ser conectadas las fases del motor U, V, W, transmite su funcionamiento. El motor eléctrico transmite su comportamiento mediante un sensor hall incorporado dentro de su carcasa, va conectado al socket del controlador. El accionamiento del acelerador, freno, reversa, crucero, cerradura electrónica son sockets que están enlazados al ramal de cableado del controlador. El uso del contactor de arranque radica en prevenir corrientes eléctricas excesivas y manejar de forma segura la transferencia de energía entre la batería y el motor.

El sistema de propulsión eléctrica al ser instalado en el chasis de una motocicleta se ve en la necesidad de mantener su accionamiento original, es decir, no será colocado la función de control crucero ni reversa debido a que puede aumentar la complejidad afectando la maniobrabilidad y estabilidad. Este enfoque se debe a que las motocicletas no están diseñadas para realizar maniobras de retroceso con facilidad. El control crucero automático podría comprometer la capacidad del conductor para responder rápidamente a eventos inesperados en la vía.

**Tabla 4:** Indicador de cableado

Batería	Rojo – Positivo B+	
	Negro – Negativo B-	
Motor eléctrico	Amarillo – U	
	Verde – V	
	Azul - W	
	Terminal Sensor Hall	Amarillo – Hall A
		Verde – Hall B
		Azul – Hall C
		Rojo – Positivo

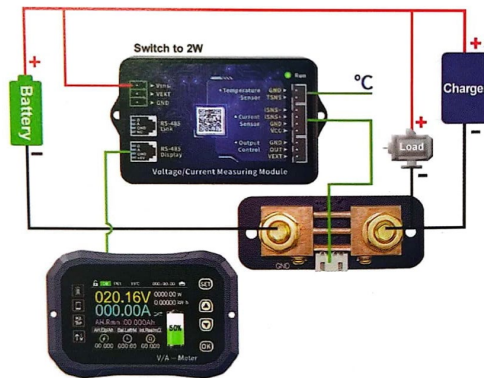
		Blanco – Temperatura
		Negro/café - Negativo
Controlador	Cerradura electrónica	Rosado
		Rojo B+
	Acelerador	Negro – Negativo GND
		Verde/Blanco – Señal 0-5V
		Rojo/Blanco – Positivo +5V
	Freno	Negro – Negativo GND
		Azul/Blanco – Positivo +5V
	Reversa	Negro – Negativo
		Café – Positivo
	Crucero	Negro – Negativo
		Gris – Positivo
Freno (Alto nivel)	Amarillo +12V	

Detalle de cableado sistema de propulsión eléctrica, Fuente: Johann Román

### 1.3.1 Conexión de monitor de batería inteligente (BMS)

Para que el monitor de batería inteligente detecte los parámetros de la batería, se tiene una derivación de cobre pura de 100A para su conexión. El polo negativo de la batería está conectado al tornillo izquierdo de la placa en el muestreador, y el polo negativo del cargador y de carga están conectados al tornillo derecho del muestreador. Durante el proceso de carga, el color del símbolo de dirección actual es rojo y el valor de capacidad restante aumenta. Al descargar, el color del símbolo de dirección actual es azul cielo y el valor de capacidad restante disminuye.

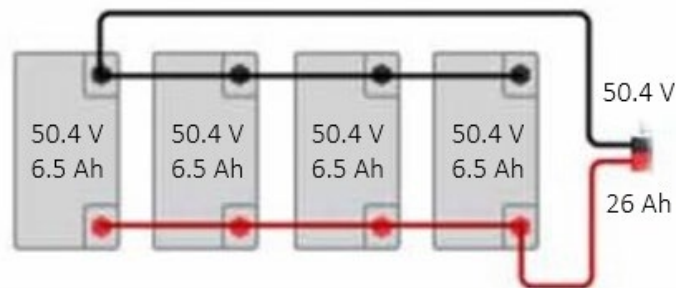
**Figura 16:** Diagrama de cableado autoalimentado



Monitor esencial para monitorear el comportamiento de la batería, Fuente: WonVon

### 1.3.2 Conexión paquetes de baterías Ni-MH

**Figura 17:** Conexión de paquetes de baterías Ni-MH



Conexión en paralelo, Fuente: Monsolar

Unir los paquetes de baterías en paralelo implica conectar los terminales positivos de todos los paquetes entre sí y realizar el mismo procedimiento con los terminales negativos. Este proceso conlleva a un aumento en la capacidad total de la batería, manteniendo constante el voltaje. La conexión en paralelo ofrece una mayor capacidad de almacenamiento de energía sin alterar la tensión. Cuando las baterías están conectadas de esta manera, la tensión total del sistema es equivalente a la de un solo paquete, pero la capacidad total se suma. Este tipo de conexión nos resulta beneficioso debido a que se requiere un mayor tiempo de funcionamiento en la motocicleta eléctrica obteniendo un amperaje total de 26Ah, con un voltaje de 48V para el accionamiento del sistema eléctrico.

Cabe recalcar que cada paquete está conformado por 7 celdas conectadas en serie para cumplir con el voltaje adecuado por el sistema eléctrico como se puede ver en la Figura 23.

## CAPÍTULO 2

### PROCESO DE CONVERSIÓN

El segundo capítulo de este proyecto detalla el proceso de conversión de una motocicleta de combustión interna a eléctrica, destacando la preservación de componentes originales y la adaptación estructural necesaria. Se inicia con el desmontaje de la motocicleta recuperada de un depósito de chatarra, abordando desde accesorios hasta el motor de combustión. La instalación de componentes eléctricos se enfoca en la ubicación estratégica del motor BLDC, el controlador y las baterías Ni-MH, con ajustes en la estructura del chasis para una integración eficiente. Se explora la integración de la cadena cinemática original y el enlace del sistema de iluminación y el panel digital, destacando la adopción de componentes LED para reducir el consumo de la batería. Este capítulo proporciona una visión integral del proceso de conversión, resaltando la adaptación estructural y la cuidadosa integración de componentes eléctricos para lograr una motocicleta funcional y eficiente desde una perspectiva eléctrica.

#### 2.1 Desmontaje de componentes de combustión interna

La conversión se lleva a cabo en una motocicleta de bajo cilindraje como es la Thunder TGM150cc, recuperada de un depósito de chatarra donde parcialmente entra en un campo de contaminación para el entorno humano. Cabe recalcar que no cuenta con una batería de 12V y llaves de encendido para su funcionamiento.

**Figura 18:** Motocicleta modelo Thunder TGN150cc



Moto a combustión sacada de la chatarra, Fuente: Johann Román

Este modelo en particular es utilizado como transporte de mensajería, para el desmontaje de los componentes de combustión interna se empezó por desarmar asiento y latonería

(tanque de combustible, parrilla para objetos, protectores de guardabarros) haciendo más accesible el poder llevar a la parte central donde se encuentra el motor.

Antes de desmontar el motor, sacamos todo el cableado del sistema de iluminación y accesorios, sistema de encendido y sistema de generación y rectificación, desconectando los sockets del arnés eléctrico y retirando del chasis. Se desmonta cada uno de los accesorios como llavín de ignición, panel de instrumentos, faro principal, stop trasero, direccionales y mandos de control. Adicional a eso, cadena de transmisión, apoya pies, conducto de líquido de frenos, cable de embrague y frenos.

**Figura 19:** Desmontaje de accesorios y latonería



Chasis de motocicleta al descubierto, Fuente: Johann Román

Finalmente, separando el sistema de ingreso de aire y la toma de salida de gases del motor se procede a quitar los pernos de sujeción entre el motor de combustión y el chasis.



**Figura 20:** Desmontaje de motor de combustión



Estructura de chasis Thunder TGN150cc, Fuente: Johann Román

## 2.2 Instalación de componentes eléctricos

### 2.2.1 Análisis de ubicación de componentes eléctricos principales

Analizar la ubicación de los componentes eléctricos en una motocicleta es esencial para garantizar un rendimiento óptimo del sistema eléctrico y la seguridad del vehículo. La distribución estratégica de los componentes tiene en cuenta factores como la accesibilidad, la protección contra elementos externos, la disipación de calor y la prevención de interferencias electromagnéticas. Aquí hay un análisis general de la ubicación de algunos componentes eléctricos principales.

**Tabla 5:** Posición de los elementos eléctricos clave

Componente eléctrico	Ubicación	Justificación
Motor BLDC	Posición central inferior del chasis.	Mantener la posición del motor de combustión interna reemplazado para el equilibrio de peso de la motocicleta.
Controlador de motor BLDC	Posición central superior del chasis, sustituyendo el tanque de combustible.	Cuidar el controlador de la intemperie – salpicaduras.
Paquetes de celdas Ni-MH	Posición delantera del motor BLDC.	Cubrir el espacio que deja el motor de combustión interna, reemplaza la

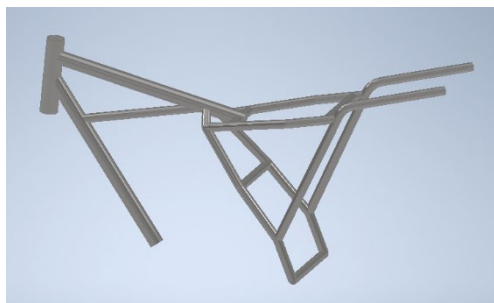
		posición de un radiador y ayuda a la ventilación de las baterías.
Monitor de batería inteligente (BMS)	Posición superior del chasis, junto al controlador.	Mejorar la visualización del monitor en una parte central de la motocicleta.

Análisis de los componentes de acuerdo con su ubicación y justificación, Fuente: Johann Román

### 2.2.2 Adaptación e incorporación en estructura de chasis

Al sustituir el sistema de combustión por el sistema eléctrico en la motocicleta, es fundamental realizar ajustes en la estructura del chasis para acomodar de manera adecuada los componentes eléctricos esenciales. Este proceso de adaptación se lleva a cabo en función de la evaluación previa de la ubicación ideal de dichos componentes, garantizando así una integración eficiente y coherente con el nuevo sistema eléctrico.

**Figura 21:** Estructura de Chasis original



Chasis de motocicleta Thunder TGN 150 cc, Fuente: Johann Román

Se realizaron ajustes en los soportes del chasis, tomando como referencia la estructura original, para acomodar el motor eléctrico. Se utilizó una de las bases donde anteriormente se sujetaba el motor de combustión. Así mismo, se distribuyeron las bases de la batería en tres bloques en la parte central del chasis con el objetivo de optimizar el espacio liberado al reemplazar el motor de combustión. Es importante destacar que el tamaño del motor de combustión es tres veces mayor que el motor eléctrico.

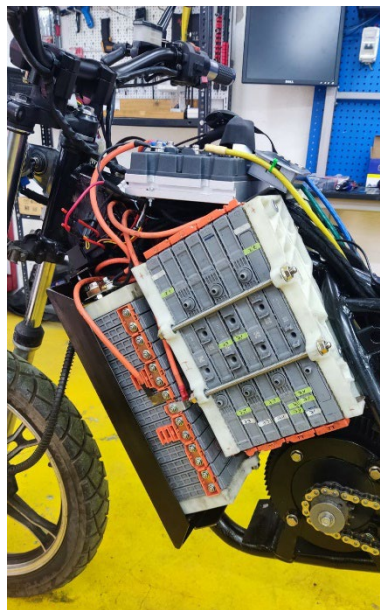
**Figura 22:** Estructura de chasis adaptada



Chasis de motocicleta adaptado para funcionamiento eléctrico, Fuente: Johann Román

Se tomaron las medidas del motor eléctrico de acuerdo con el Anexo 6 para la elaboración de las bases. La batería conformada por celdas de Ni-MH se distribuye en tres bloques, uno en la parte central del chasis de vista frontal y dos bloques laterales de vista izquierda y derecha. De esta forma se consideran las bases para la incorporación de las baterías en el chasis.

**Figura 23:** Incorporación de componentes eléctricos



Conexiones determinadas según el diagrama, Fuente: Johann Román

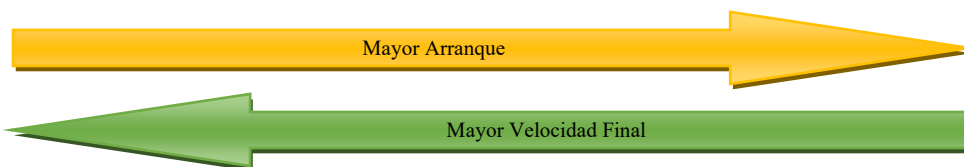
Como una comparativa de autonomía se realiza una prueba con baterías plomo ácido. Se mantienen las mismas bases de la batería que se fue diseñado y se incorpora los bloques de estas baterías mediante una jaula de protección como se visualiza en el Anexo 7. Cada batería de tiene un voltaje de 12 voltios y 20 amperios y se mantiene la conexión de baterías antes mencionada.

### 2.3 Integración de la cadena cinemática original

Se mantiene los engranajes originales de transmisión para la integración de la cadena cinemática, con una numeración de 15T para el piñón y 42T para la corona. Se tiene un factor resultante de 2,80 original de la motocicleta de combustión interna, cuando menor es el factor se tiene mayor velocidad final y menor arranque. La cadena original de la motocicleta fue reemplazada al encontrarse oxidada manteniendo la misma numeración de cadena de transmisión 428H de 142L eslabones.

**Tabla 6:** Tabla de transmisiones

CORONAS														
PIÑONES		35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
	8		4,38	4,50	4,63	4,75	4,88	5,00	5,13	5,25	5,38	5,50	5,63	5,75
9		3,89	4,00	4,11	4,22	4,33	4,44	4,56	4,67	4,78	4,89	5,00	5,11	5,22
10		3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,10	4,20	4,30	4,40	4,50	4,60	4,70
11		3,18	3,27	3,36	3,45	3,55	3,64	3,73	3,82	3,91	4,00	4,09	4,18	4,27
12		2,92	3,00	3,08	3,17	3,25	3,33	3,42	3,50	3,58	3,67	3,75	3,83	3,92
13		2,69	2,77	2,85	2,92	3,00	3,08	3,15	3,23	3,31	3,38	3,46	3,54	3,62
14		2,50	2,57	2,64	2,71	2,79	2,86	2,93	3,00	3,07	3,14	3,21	3,29	3,36
15		2,33	2,40	2,47	2,53	2,60	2,67	2,73	2,80	2,87	2,93	3,00	3,07	3,13
16		2,19	2,25	2,31	2,38	2,44	2,50	2,56	2,63	2,69	2,75	2,81	2,88	2,94
17		2,06	2,12	2,18	2,24	2,29	2,35	2,41	2,47	2,53	2,59	2,65	2,71	2,76
18		1,94	2,00	2,06	2,11	2,17	2,22	2,28	2,33	2,39	2,44	2,50	2,56	2,61



Relación piñón/corona, Fuente: Catalano

Una vez instalado el motor eléctrico en la base, se llevó a cabo la alineación entre el piñón y la corona utilizando separadores colocados antes y después del piñón en el eje del motor. Se realizó un proceso de temple en la cadena de transmisión para asegurar su correcto desempeño.

**Figura 24:** Integración de la cadena cinemática original



Cadena de aleación de acero de alta resistencia, Fuente: Johann Román

#### **2.4 Enlace sistema de iluminación y panel digital**

Dentro del sistema de iluminación de la motocicleta de combustión se tiene como referencia que el foco principal consume 35W, se optó por reemplazar los componentes de iluminación por led para reducir la capacidad de consumo de la batería de 12V. Se mantiene los sockets de conexión y cableado original de la motocicleta tanto para los componentes de iluminación, mandos y panel digital, de tal forma que facilite el enlace del sistema de iluminación. El panel digital incorpora un sensor de velocidad, se instaló en la rueda trasera para determinar la velocidad mediante un banco estático que sujeta el eje trasero. Como se puede visualizar Anexo 8 y 9.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

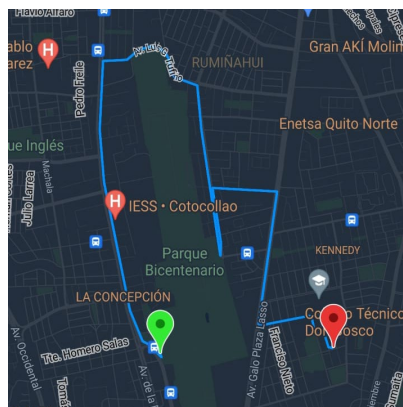
En el tercer capítulo de este proyecto de conversión de motocicleta de combustión a eléctrica, se realiza un análisis detallado de los resultados obtenidos en pruebas de recorrido, evaluando aspectos como la eficiencia del sistema eléctrico, autonomía y velocidad máxima. Se destaca la notable reducción de emisiones contaminantes y contaminación auditiva al operar la motocicleta eléctrica, utilizando un motor alimentado por baterías. Además, se enfatiza el enfoque central del proyecto en la reutilización de motocicletas, incluso aquellas en proceso de reciclaje, para maximizar la utilidad de componentes como las baterías. Este enfoque contribuye a la sostenibilidad del proyecto al reducir la necesidad de fabricación de nuevas baterías y al aprovechar recursos existentes, promoviendo así prácticas amigables con el medio ambiente.

### 3.1 Eficiencia del sistema eléctrico

#### 3.1.1 Test de recorrido

La motocicleta eléctrica realiza un test de recorrido para determinar varios factores que se presentaran en los siguientes apartados. El punto de salida es en la entrada principal del parque Bicentenario Av. Rio Amazonas tomando un trayecto rodeando el parque por la Av. La Prensa siguiendo por la Av. Luis Tufiño en sentido al sector de la Rumiñahui. El test de recorrido termino en el colegio Técnico Don Bosco con una distancia recorrida de 7.36 kilómetros.

**Figura 25:** Test de recorrido



Recorrido realizado en el norte de Quito, Fuente: Velocímetro GPS

Durante el test de recorrido se tomó en cuenta rectas, bajadas y pendientes para la determinación de la autonomía. El comportamiento del consumo de corriente y voltaje varía dependiendo de esos factores.

**Figura 26:** Curva de voltaje y corriente en tiempo real



Comportamiento durante el test de recorrido, Fuente: App KG

### 3.1.2 Autonomía

Se realiza dos test de recorrido manteniendo el mismo trayecto, utilizando dos tipos de baterías como una comparativa para la autonomía.

- Con baterías Níquel metal hidruro

**Tabla 7:** Aspectos de batería Ni-MH

Aspectos de batería	Inicio	Final
Batería Ni-MH	54.6V	45.19V
Estado de batería	55%	30%
Amperaje	14.47A	7.8A

Condiciones de uso de la batería durante el test de recorrido, Fuente: Johann Román

La trayectoria que se completo tuvo una duración de 24.30 minutos, con este dato determinamos la autonomía tomando en cuenta que el estado de carga no se encontraba en el 100%. El controlador entra en un estado de protección al detectar un amperaje menor a 8A en la batería.

$$V_{promedio} = \frac{\text{distancia recorrida en km}}{\text{tiempo de recorrido en h}} \quad (1)$$

$$V_{promedio} = \frac{7.36 \text{ km}}{0.405 \text{ h}} = 18.17 \text{ km/h}$$

- Con baterías Plomo acido

El uso de estas baterías se debe al alto amperaje que posee llegando a tener un amperaje total de 40A.

**Tabla 8:** Aspectos de batería plomo - acido

Aspectos de batería	Inicio	Final
Batería Plomo – acido	50V	40.59V
Estado de batería	100%	82.5%
Amperaje	40A	33A

Condiciones de uso de la batería durante el test de recorrido, Fuente: Johann Román

Se realiza la misma trayectoria con una duración de 24.37 minutos, con este dato determinamos la autonomía tomando en cuenta que el estado de carga se encontraba en el 100%.

$$V_{promedio} = \frac{7.36 \text{ km}}{0.406 \text{ h}}$$

$$V_{promedio} = 18.12 \text{ km/h}$$

Al terminar el trayecto se tiene un 82.5% de estado de carga restante. Tomando en cuenta que, si el amperaje es menor a 8A se bloquea el accionamiento de la motocicleta por protección determinada del controlador teniendo así un amperaje restante de 25A y una distancia por recorrer de 27.58 km.

### 3.1.3 Velocidad Máxima

Durante el desarrollo de las pruebas de recorrido, la motocicleta alcanzo una velocidad máxima de 70 km/h y una velocidad promedio de 18 km/h antes ya calculada en la ecuación (1).



**Figura 27:** Datos de Velocímetro



Uso de aplicación GPS para toma de datos, Fuente: Velocímetro GPS

### 3.2 Tiempo de carga

Se toma en cuenta el uso de las baterías de plomo ácido para la determinación de tiempo de carga de la motocicleta eléctrica. Se utiliza un cargador de 48V 20Ah con una entrada de 110V AC 50/60Hz, 2A y una salida de 88V DC 2.6-3A.

**Figura 28:** Cargador



Cargador específico para batería de ácido, Fuente: Johann Román

El tiempo de carga que se estima, según el consumo que se realizó en el test de recorrido que fue un 20%, se utiliza la siguiente ecuación (Jumbo & Reyes, 2012).

$$Carga (hora) = Ah (batería) * \frac{\% de carga restante}{Ah que entrega en cargador} * 1.25 \quad (2)$$

$$Carga (hora) = 40Ah * \frac{20\%}{2.8Ah} * 1.25$$

$$Carga (hora) = 3.57 horas$$

Para calcular el costo de carga (20% de carga) se toma en cuenta el precio del kilovatio hora actual que es \$0.104 centavos y los Kwh consumidos 3.1786.

$$\text{Costo de carga} = \text{Kwh consumidos} * \text{Costo de Kwh} \quad (3)$$

$$\text{Costo de carga} = 3.1786 \text{ Kwh} * \$0.104$$

$$\text{Costo de carga} = \$0.33$$

### **3.3 Viabilidad económica de conversión**

Al ser una conversión para uso personal, se modificó según el gusto de consumidor dando así un costo más elevado al reemplazar la iluminación de la motocicleta de combustión.

- Sistema de propulsión eléctrica: \$1300
- Componentes de iluminación: \$200
- Mano de obra: \$600
- Baterías Ni-MH donadas por un laboratorio de mantenimiento de baterías híbridas
- Baterías plomo ácido reutilizadas de otra moto eléctrica (precio estimado \$480)

Esta conversión que tiene el propósito de reducir emisiones contaminantes tiene un costo referencial de \$2500. El costo puede fluctuar según las especificaciones del motor y controlador que se desee adquirir.

### **3.4 Impacto en las emisiones contaminantes**

Con el objetivo de reducir emisiones contaminantes, en esta conversión de motocicleta de combustión a eléctrica se destaca un impacto ambiental menor en términos de emisiones directas.

#### **3.4.1 Emisiones durante la conducción**

Al operar mediante un motor eléctrico alimentado por baterías, no produce emisiones directas durante la conducción. Esta característica fundamental implica que no se liberan gases contaminantes típicos de los vehículos de combustión interna, tales como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas finas, contribuyendo así a un ambiente más limpio y reduciendo el impacto negativo en la calidad del aire.

#### **3.4.2 Contaminación auditiva**

Al reemplazar el motor de combustión por el eléctrico es notable la disminución de ruido generado, esto se debe a la ausencia de sonidos provenientes del escape y del motor en tiempo de funcionamiento. Juega un papel crucial en la reducción de la contaminación sonora, tanto en áreas urbanas como en entornos en general. La disminución del ruido vinculada a las motocicletas eléctricas tiene el potencial de mejorar la calidad de vida en entornos urbanos.

### **3.4.3 Vida útil y reciclaje**

El propósito central de este proyecto es incorporar la reutilización de motocicletas, ya sea que estén en pleno funcionamiento o en proceso de reciclaje. Este enfoque es esencial para llevar a cabo una conversión que reduzca la cantidad de estos vehículos y les brinde una segunda vida útil, minimizando así la contaminación ambiental.

Aunque el proceso de conversión puede impactar el uso de baterías debido a su fabricación, es importante destacar que se busca maximizar su utilidad. En este proyecto, se han obtenido baterías de Níquel-Metal Hidruro, las cuales son comúnmente utilizadas en vehículos híbridos. Estas baterías fueron generosamente donadas por un laboratorio especializado en el mantenimiento de baterías. Aunque no cumplen con el voltaje requerido para el funcionamiento estándar de un vehículo, sí son adecuadas para propulsar una motocicleta eléctrica, permitiendo así una nueva aplicación para estos componentes. Este enfoque contribuye a la sostenibilidad del proyecto al reutilizar recursos existentes y reducir la necesidad de fabricación de nuevas baterías, al tiempo que se aprovechan aquellas que, aunque no son adecuadas para su uso original, pueden desempeñar un papel valioso en este contexto específico.

## CONCLUSIONES

- Según el estudio realizado de emisiones producidas por el tubo de escape de motocicletas de combustión con un cilindraje de 150 cc, se emite 1.22 g/km de monóxido de carbono, 0.35 g/km de hidrocarburos, 0.09 g/km de óxidos de nitrógeno y 65.27 g/km de dióxido de carbono.
- La implementación de un sistema de conversión en una motocicleta de combustión interna a eléctrica ha generado una opción de movilidad innovadora. Este enfoque no solo brinda una segunda vida útil a motocicletas que de otro modo serían inutilizables, permitiendo la reutilización de sus componentes, sino que también representa un paso significativo hacia la preservación del medio ambiente.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas después de la conversión, se logró una eficiencia operativa que resulta adecuada para el uso en el entorno urbano de Quito. Es importante tener en cuenta que la autonomía variará según el tipo de batería utilizada. Con baterías de Ni-MH (48V 26A), se alcanza una distancia de 19 km, mientras que con baterías de plomo ácido (48V 40A), la distancia se extiende a 34 km. En ambas configuraciones, la velocidad promedio es de 18 km/h, alcanzando una velocidad máxima de 70 km. Estos datos respaldan la viabilidad de la conversión en términos de rendimiento y adaptabilidad a las necesidades de movilidad en la ciudad.
- En términos de disminución de emisiones, se llegó a la conclusión que la motocicleta eléctrica genera menos contaminación en comparación con una motocicleta de combustión, reduciendo las emisiones tanto por el escape como la contaminación sonora al sustituir el motor, elementos perjudiciales para el medio ambiente. Aunque aún no es posible alcanzar emisiones cero con una motocicleta eléctrica, debido a ciertos componentes esenciales para su funcionamiento, como los neumáticos y las pastillas de freno, que emiten material particulado, la conversión es un método viable para reducir la contaminación en el distrito metropolitano de Quito.
- La factibilidad financiera de transformar una motocicleta de combustión a eléctrica implica un costo de 2500 USD. Es importante destacar que la personalización según las

preferencias del consumidor tiende a aumentar el precio, pero al conservar todos los componentes originales, se lograría una disminución del costo de alrededor de 300 USD. Además, aspectos como las especificaciones del motor y el controlador, que varían según el uso previsto de la motocicleta eléctrica, pueden influir en el precio final.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar el sistema de transmisión a las necesidades del consumidor para mejorar las condiciones de arranque y velocidad final.
- Instalar un sistema de freno regenerativo que proporcione una carga prolongada al uso diario de la motocicleta eléctrica.
- Requerir del cablePI-400/VEC para una reprogramación del controlador en caso de utilizar un motor de otras características que no son adecuadas para el sistema.
- Optar por la incorporación de baterías de litio, ya que proporcionan una mayor capacidad de resistencia a la descarga, permiten cargas extremadamente rápidas, no requieren mantenimiento y son notablemente ligeras.
- Implementar un sistema de carga rápida que facilite el tiempo y uso de la motocicleta eléctrica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Blog Youin. (2022, November 3). *Qué es la controladora de una bici o patinete eléctrico*. Youin Bullshit Technology.
- Celoni, S. (2007). *Motores de Combustion Interna*.
- Colimba, J. (2023). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BATERÍAS PARA MOTO ELÉCTRICA ECUATORIANA* [Universidad Internacional SEK]. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5047>
- e-mobility. (2023, April 4). *La historia de las motos eléctricas: desde el siglo XIX hasta nuestros días*. <https://www.e-mobility.cl/articulos/la-historia-de-las-motos-electricas-desde-el-siglo-xix-hasta-nuestros-dias>
- García, J., & Guerra, J. (2012). *Estudio de motores eléctricos para su uso en motocicletas*. [Universidad Carlos III de Madrid]. <http://hdl.handle.net/10016/15476>
- Gonzalez, M. (2019). *Estimación de emisiones atmosféricas producidas por las motos y el transporte público en Cartagena - Colombia*. 17–18. <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/2105#page=1>
- Gonzalez, S., Ramos, A., Mendez, F., Gonzalez, J., Cortés, J., & Méndez, A. (2010). *PROYECTO DE CONVERSIÓN DE UN AUTOMOVIL DE COMBUSTIÓN INTERNA EN ELÉCTRICO*. <http://hdl.handle/net/10553/4219>
- Hayashi, F. (2022). *ANALISIS DEL NIVEL DE CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA EMISION DE GASES DE ESCAPE DE LAS MOTOCICLETAS EN LA CIUDAD DE QUITO* [Universidad Internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/5468/1/UIDE-Q-TMA-2022-6.pdf>
- Jumbo, D., & Reyes, P. (2012). *Implementación de un motor eléctrico sobre el chasis de una motocicleta Yamaha TTR125* [Universidad Politecnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2915>

- La Hora. (2023, May 9). 7 millones de toneladas de CO2 emite Quito al año. *La Mayor Parte de Gases de Efecto Invernadero Vienen Del Sector Transporte*. <https://www.lahora.com.ec/pais/7-millones-de-toneladas-de-co2-emite-quito-al-ano/#:~:text=POLUCI%C3%93N,.,invernadero%20vienen%20del%20sector%20transporte>.
- Lindao, E., & Intriago, H. (2022). *DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA NIVELACIÓN DE CARGA DE BATERIAS DE NÍQUEL METAL – HIDRURO UTILIZADAS EN HEV DE MAYOR CONSUMO EN EL ECUADOR*. [Universidad Politecnica Salesiana ]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23650/1/UPS-GT003990.pdf>
- Martinez, J. (2017). *IMPORTACIÓN DE MOTOS ELÉCTRICAS DESDE CHINA* [Universidad de las Americas ]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7926>
- Mobility Portal Latinoamerica. (2020, June 8). *Motores eléctricos vs a combustión. Nuevo informe de Amech compara los puntos más importantes*. <https://mobilityportal.lat/motores-electricos-vs-a-combustion-quien-gana-nuevo-informe-de-amech-compara-los-puntos-mas-importantes/>
- Moralejo, D. (2010). *Diseño de una rueda motriz con motor integrado en el eje para uso en motocicletas eléctricas* [Universidad Carlos III de Madrid]. <http://hdl.handle.net/10016/10839>
- Spencer, D. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE FRENO REGENERATIVO PARA MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA SIN ESCOBILLAS CON IMANES PERMANENTES PARA MOTO ELÉCTRICA* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173225>
- Twenergy. (2019, December 4). *Las motos eléctricas y sus ventajas*. <https://twenergy.com/coches-electricos/el-aceleron-de-las-motos-electricas/#>



## ANEXOS.

### Anexo 1: Edad de motocicletas 2023



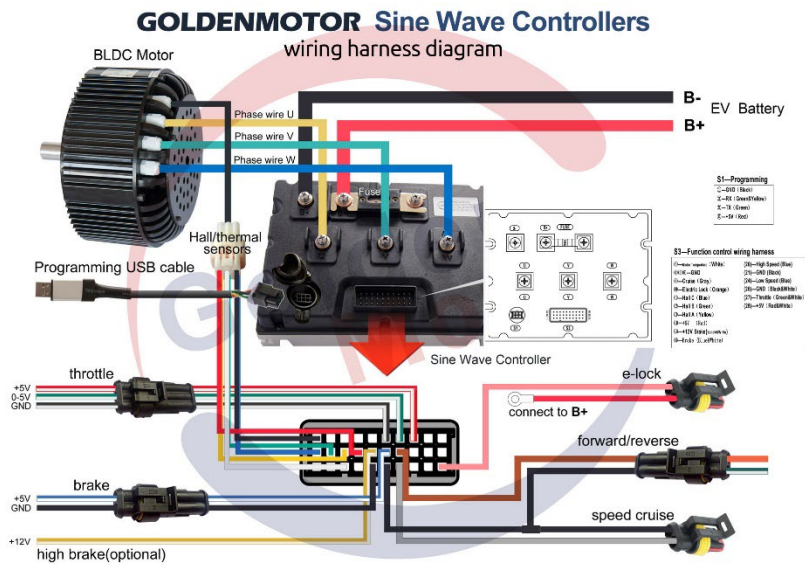
Datos recolectados por la CINAIE, Fuente: Registro de vehículos base SRI

### Anexo 2: Tipo de energía en motocicletas



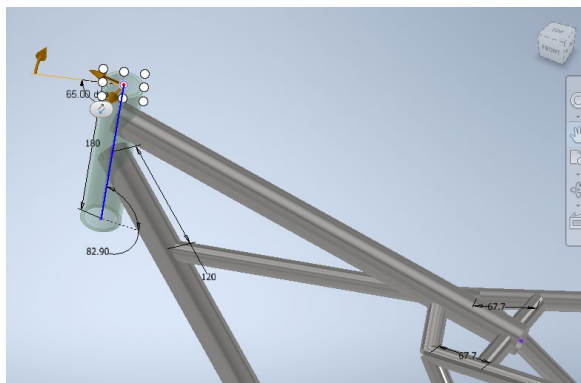
Datos recolectados por la CINAIE, Fuente: Registro de vehículos base SRI

### Anexo 3: Diagrama de conexión



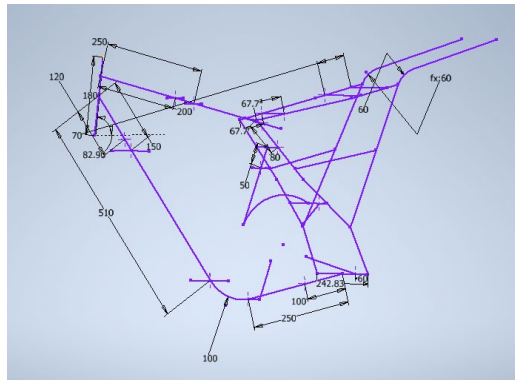
Distribución del cableado de conexión, Fuente: Golden Motor

### Anexo 4: Diseño de chasis original



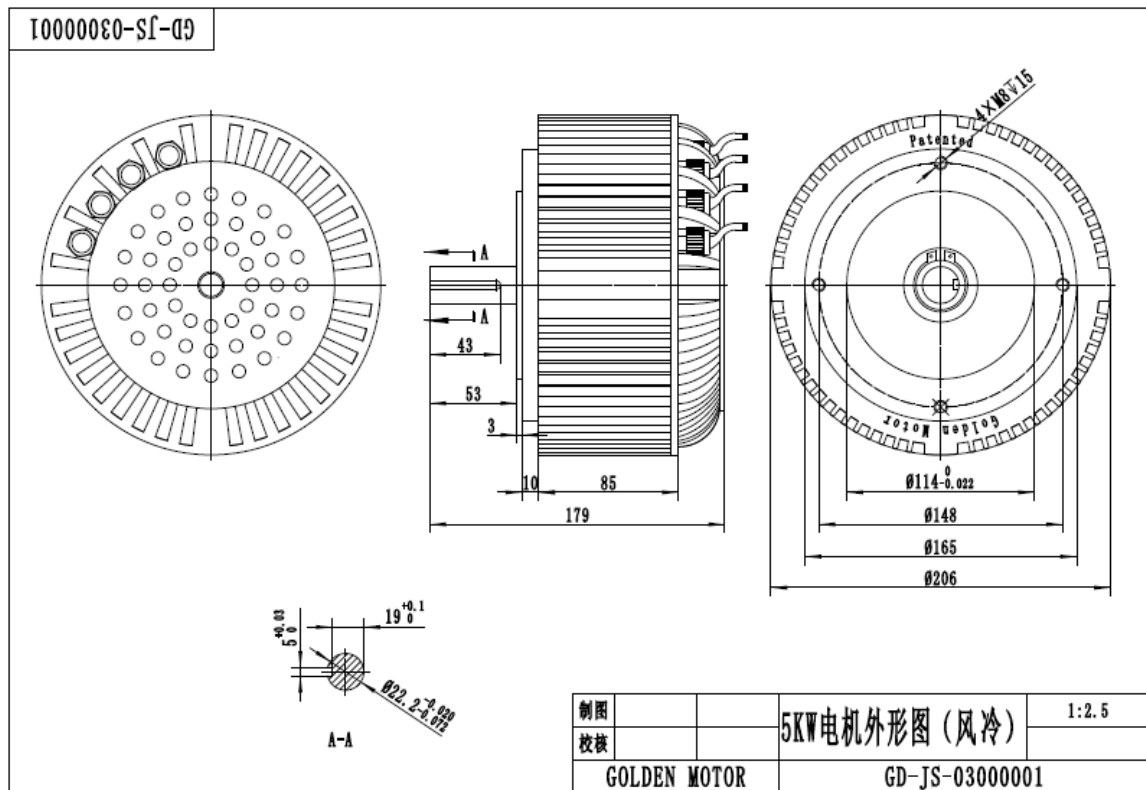
Chasis de motocicleta Thunder TGN 150cc, Fuente: Inventor

### Anexo 5: Diseño de chasis adaptado



Chasis adaptado para incorporación de componentes, Fuente: Inventor

## Anexo 6: Medidas de Motor eléctrico



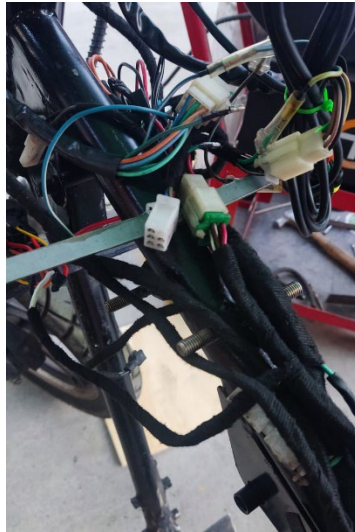
Medidas necesarias para el diseño de la base del motor, Fuente: Golden Motor

## Anexo 7: Jaula de seguridad batería ácido-plomo



Incorporación de batería ácido-plomo como segunda prueba, Fuente: Johann Román

### **Anexo 8:** Arnés de cableado original



Se mantiene cableado y sockets originales para facilitar la conexión, Fuente: Johann Román

### **Anexo 9:** Sensor de velocidad



Sensor con luz led roja para visualizar el funcionamiento cuando pasa los imanes, Fuente: Johann Román