UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"ANÁLISIS DE EFICIENCIA DEL INVERSOR PRODUCTO DE LA CONVERSIÓN DE MOTOCICLETA CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A ELÉCTRICO"

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

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible.

AUTORES:

Suárez Andrade Kevin Andrés

Vizcaíno Pozo Jhosua Moisés

DIRECTOR:

Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos, Msc

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 la 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:	Suárez Andrade Kevin Andrés Vizcaíno Pozo Jhosua Moisés

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de eficiencia del inversor producto de la conversión de motocicleta con motor de combustión interna a eléctrico.
AUTOR (ES):	Suárez Andrade Kevin Andrés Vizcaíno Pozo Jhosua Moisés
FECHA: DD/MM/AAAA	26/05/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz
DIRECTOR /ASESOR:	Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc.

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan 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 son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días, del mes de mayo de 2026.

LOS AUTORES:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
KEVIN ANDRES SUAREZ ANDRADE

Kevin Andrés Suárez Andrade

Autor C.C.: 1005423346

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JHOSUA MOISES VIZCAINO POZO

Jhosua Moisés Vizcaíno Pozo

Autor C.C.: 1004705693

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 26 de mayo de 2026.

Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

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

Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc.

Tutor C.C.: 1002415949

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "Análisis de eficiencia del inversor producto de la conversión de motocicleta con motor de combustión interna a eléctrico." Elaborado por Suárez Andrade Kevin Andrés y Vizcaíno Pozo Jhosua Moisés, previo a la obtención del título del 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

Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc.

Tutor C.C.: 1002415949

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
VICTOR JAVIER MONTENEGRO SIMANCAS

Ing. Víctor Javier Montenegro Simancas MSc.

Tutor C.C.: 1717035149

DEDICATORIA

A mi madre, Nancy Pozo, por ser la mujer que me dio la vida, me formó y me acompaña en todos mis pasos. Por su apoyo constante, pues cada uno de mis logros lleva plasmado su esfuerzo y su fe ciega en mí. Por enseñarme que no tengo límites, que todo lo puedo y que todo lo lograré.

Vizcaíno Jhosua

El presente trabajo de grado lo dedico con infinito amor, gratitud y dedicación a: Mis padres, Patricio Suárez y Mónica Andrade, promotores de todos mis logros, orgullo y pilar fundamental de mi vida; a mis hermanos Patricio, Andrea y Bella, a quienes busco motivar con el presente, ya que es el reflejo de que la constancia y dedicación son las herramientas para alcanzar nuestros sueños; a mi compañera de vida Grace Moreno y mi hija Abigail Suárez, que son mi apoyo, orgullo y motivación para cada día ser mejor.

Suárez Kevin

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi abuelo, Jorge Vizcaíno, por brindarme el apoyo necesario para iniciar mi camino en la universidad. Este logro es el fruto del camino que él me ayudó a abrir.

A mis padres, Javier y Nancy, por su apoyo incondicional a lo largo de este camino y por ser la guía constante en el cumplimiento de mis metas.

A mi hermano, Alexander Vizcaíno, por su apoyo incondicional y por haber sido una guía importante en muchos momentos de este camino.

A mi compañera de vida, Monserrath Portilla, quien me apoyó incondicionalmente en cada uno de los retos que surgieron durante mi carrera y por nunca dejar de creer en mí.

A Wilma Guasgua, por abrirme las puertas de su hogar y recibirme como a un hijo más. Gracias por su generosidad y por brindarme siempre un lugar en su mesa durante mis días de estudio; su apoyo fue un aliento vital en este proceso.

A la Universidad Técnica del Norte por brindarme las herramientas necesarias para mi formación profesional y por ser el espacio donde cultivé mis conocimientos.

A mi colega de tesis, Kevin Suárez, por su compromiso en este proyecto y por su valioso compañerismo durante toda la carrera.

Y finalmente, quiero agradecerme a mí mismo por no haber renunciado nunca, por mantener el esfuerzo constante aun cuando el cansancio pesaba y las dudas aparecían, y por tener la convicción de que cada sacrificio valía la pena.

Vizcaíno Jhosua

Agradezco primeramente a DIOS por brindarme la fortaleza y sabiduría para culminar con éxito una etapa importante en mi formación como profesional.

A mis padres, Patricio Suárez y Mónica Andrade, que con su dedicación, constancia, paciencia e inagotable amor me han formado como una persona de bien, que piensa y actúa bajo los valores de la honradez, honestidad, respeto y empatía. Mi más profundo agradecimiento por esa gran labor que han realizado, siendo los principales promotores para poder cumplir todos mis sueños y a quienes dedico todos mis éxitos.

A mis hermanos, Patricio, Andrea y Bella, quienes han sido una motivación constante para lograr mis metas y una fuente constante de apoyo, ya que han confiado y creído en mí, aun cuando tuve dudas.

A mi compañera de vida, Grace Moreno, y a mi hija Abigail Suárez, que han sido una pieza fundamental en mi formación profesional, a su incondicional apoyo y compañía, que me ha enseñado que siempre podemos dar más de nosotros.

A mi colega Jhosua Vizcaíno, ficha clave en la elaboración de la presente investigación, quien más que un compañero considero un gran amigo que ha sido un apoyo incondicional en mi formación como profesional.

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte y a todo el personal docente de la carrera de Ingeniería Automotriz, quienes día a día con su ardua labor nos brindan su conocimiento, y a los gestores, quienes fomentan la educación pública de calidad, ya que abren las puertas y generan oportunidades de superación en la sociedad.

Suárez Kevin

RESUMEN

En la presente investigación se analizó la eficiencia del inversor producto de la conversión de una motocicleta con motor de combustión interna (MCI), a tracción eléctrica, mediante la incorporación de un inversor trifásico basado en una topología de MOSFETs con control PWM, diseñado para el control de un motor trifásico de CA de 72V. El análisis del rendimiento del dispositivo se realizó en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra que se encuentra a 2200 msnm, mediante pruebas en ruta, en condiciones de tráfico real. La metodología se basó en un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo no experimental, mediante el uso de analizadores de energía de CC y CA, en una ruta de circuito cerrado, para garantizar balance energético potencial nulo y segmentado en tres tramos característicos: autopista, rural y urbano. Los resultados obtenidos definen una eficiencia total combinada del 90%. De manera específica, se muestra una eficiencia del 87% en el tramo autopista, del 91% en el tramo rural y del 93% en el tramo urbano. Se concluye que el inversor tiene una relación de eficiencia inversamente proporcional a la demanda, pues, en condiciones de baja exigencia, la eficiencia del dispositivo es mayor debido a la baja exigencia en la conmutación de los MOSFETs y las bajas corrientes a controlar de manera contraria, en condiciones de alta demanda la eficiencia se reduce drásticamente, principalmente por pérdidas en forma de calor debido a las exigencias del modo de conducción, características de la topografía de la vía y las condiciones de tráfico.

Palabras clave: Motocicleta eléctrica, inversor trifásico, MOSFET, eficiencia energética, Ibarra.

ABSTRACT

This research analyzed the efficiency of an inverter used to convert an internal combustion engine (ICE) motorcycle to electric traction. This conversion involved incorporating a three-phase inverter based on a MOSFET topology with PWM control, designed to control a 72 V three-phase AC motor. The device's performance was analyzed in the city of Ibarra, Imbabura province, located at an altitude of 2200 meters above sea level. Testing was conducted on the road under real traffic conditions. The methodology employed a quantitative, descriptive, non-experimental approach, utilizing DC and AC power analyzers. The tests were performed on a closed-loop route, segmented into three characteristic sections—highway, rural, and urban—to ensure a zero potential energy balance. The results showed a combined overall efficiency of 90%. Specifically, the efficiency was 87% on the highway section, 91% on the rural section, and 93% on the urban section. It is concluded that the inverter's efficiency is inversely proportional to demand. Under low-demand conditions, the device's efficiency is higher due to the lower switching requirements of the MOSFETs and the low currents to be controlled. Conversely, under high-demand conditions, efficiency drops drastically, primarily due to heat losses caused by the driving mode requirements, road topography, and traffic conditions.

Keywords: Electric motorcycle, Three-phase inverter, MOSFET, Energy efficiency, Ibarra.

LISTA DE SIGLAS

MCI. Motor de combustión interna.

EV. Electric vehicle (Vehículo eléctrico)

CC. Corriente continua.

CA. Corriente Alterna.

GEI. Gases de Efecto Invernadero.

COV. Compuestos Orgánicos Volatiles.

PM. Material particulado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA v
AGRADECIMIENTO vi
RESUMEN viii
ABSTRACT ix
LISTA DE SIGLAS x
ÍNDICE DE CONTENIDOS xi
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN 1
1.1 Problema de Investigación 1
1.2 Objetivos 2
1.2.1 Objetivo General 2
1.2.2 Objetivos Específicos 3
1.3 Alcance 3
1.4 Justificación 4
1.5 Antecedentes 5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 7
2.1 Vehículos Eléctricos 7
2.1.1 Tipos de Vehículos Eléctricos 8
2.2 Componentes del Vehículo Eléctrico 9
2.2.1 Paquete de Baterías 10
2.2.2 Conjunto Inversor 11
2.2.3 Motor Eléctrico 11
2.3 Ventajas de un Vehículo Eléctrico 12
2.3.1 Eficiencia y Rendimiento 12
2.3.2 Costos de Adquisición y Mantenimiento 13
2.4 Inversor CC/CA 14
2.4.1 Transistores 14
2.4.1.1 Clasificación de los Transistores. 15
2.4.2 Modulación por Ancho de Pulso (PWM) 18
2.4.2.1 Conmutación SPWM Bipolar. 18
2.4.3 Funcionamiento del Inversor 20
2.4.4 Tipos de Inversores 21

2.4.4.1 Por su Topología. 21
2.4.4.2 Por su Forma de Onda. 22
2.5 Balance Energético en el Vehículo 24
2.5.1 Eficiencia Energética en las Motocicletas Eléctricas 24
2.5.2 Dinámica Longitudinal 24
2.5.2.1 Fuerza de Resistencia Aerodinámica (Fa). 25
2.5.2.2 Fuerza de Resistencia a la Rodadura (Frr). 27
2.5.2.3 Fuerza de Resistencia a la Aceleración de Masas (Fm). 29
2.5.2.4 Fuerza de Resistencia a la Pendiente (Fp). 30
2.5.2.5 Potencia de Tracción (Pt). 30
2.5.3 Potencia de un Motor Eléctrico 31
2.5.4 Eficiencia de una Máquina Eléctrica. 31
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS 33
3.1 Definición del Marco Metodológico 33
3.2 Selección del Vehículo 34
3.2.1 Motocicleta Vespa 34
3.2.2 Especificaciones Técnicas 35
3.3 Dimensionamiento del Inversor para el Kit Eléctrico de Potencia 35
3.3.1 Características Deseadas. 36
3.3.2 Dinámica Longitudinal 36
3.3.3 Seleccionar del motor eléctrico y el inversor. 37
3.4 Condiciones de Instalación del Inversor 37
3.4.1 Definición del Espacio Físico en la Motocicleta para el Inversor 37
3.4.2 Requerimientos de Seguridad y Normativa 38
3.4.2.1 Requerimientos para Alta tensión. 38
3.4.2.2 Requerimientos para Baja tensión 39
3.5 Definición de la Ruta de Ensayo 40
3.5.1 Características de la Ruta de Ensayo 40
3.6 Selección de los Equipos Registradores 41
3.6.1 Registrador de la Potencia Eléctrica de Entrada 42
3.6.2 Registrador de la Potencia Eléctrica de Salida 42

3.6.3 GL770 GPS Logger 43
3.7 Instrumentación 44
3.7.1 Potencia Eléctrica de Entrada al Inversor 44
3.7.1.1 Conexión. 45
3.7.1.2 Configuración. 46
3.7.1.3 Calibración. 46
3.7.2 Potencia Eléctrica de Salida del Inversor 46
3.7.2.1 Conexión. 47
3.7.2.2 Configuración. 47
3.7.2.3 Calibración. 48
3.8 Adquisición de Datos en Ruta 48
3.8.1 Pruebas Piloto 48
3.8.2 Análisis de la Prueba Piloto 49
3.8.3 Levantamiento de Datos en Ruta 49
3.9 Procesamiento de Datos. 50
3.10 Extracción de Datos. 50
3.10.1 Extracción de Datos de Potencia de Entrada 50
3.10.2 Extracción de Datos de Potencia de Salida 51
3.10.3 Extracción de Datos Cinemáticos y Geográficos 52
3.11 Tabulación de datos. 53
3.12 Depuración de datos 54
3.13 Análisis de Datos 55
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 56
4.1 Dimensionamiento del Inversor. 56
4.1.1 Cálculos de Dinámica Longitudinal 57
4.1.1.1 Cálculo de la Fuerza de Resistencia Aerodinámica (Fa). 57
4.1.1.2 Cálculo de la Fuerza de Resistencia a la Rodadura (Frr). 58
4.1.1.3 Cálculo de la Fuerza de Resistencia a la Aceleración de Masas (Fm). 59
4.1.1.4 Cálculo de la Fuerza de Resistencia a la Pendiente (Fp). 60
4.1.1.5 Cálculo de la Fuerza Total de Resistencia (Ft). 60

4.1.1.6 Cálculo de la Potencia Mecánica Necesaria (Pn). 60
4.1.2 Selección del Motor 61
4.1.2.1 Relación de Transmisión. 61
4.1.2.2 Cálculo de la Velocidad y Torque Necesario. 63
4.1.2.3 Potencia Mecánica en la Rueda. 63
4.1.3 Selección del Inversor 64
4.1.4 Condiciones de Instalación del Inversor en la Motocicleta 67
4.2 Instalación del Inversor a la Motocicleta 68
4.2.2 Fijación mecánica 68
4.2.3 Conexión Eléctrica del Inversor 69
4.2.4 Conexión Eléctrica de Alta Tensión. 70
4.2.5 Conexión Eléctrica de Baja Tensión. 70
4.2.6 Pruebas de Funcionamiento 71
4.2.7 Conexión de los Equipos Registradores. 72
4.3 Descripción de la Ruta 73
4.3.1 Ruta Completa 73
4.3.1.1 Eficiencia de la ruta completa 75
4.3.2 Tramo Autopista 76
4.3.2.1 Eficiencia Tramo Autopista 78
4.3.3 Tramo Rural 79
4.3.3.1 Eficiencia Tramo Rural 80
4.3.4 Tramo Urbano 81
4.3.4.1 Eficiencia tramo Urbano. 83
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 84
5.1 Conclusiones 84
5.2. Recomendaciones 85
ANEXOS 87
Anexo 1: Script en R para el Cálculo de la Efiencia 87
Anexo 2: Componentes y Conexiones del Sistema Eléctrico 90
Anexo 3: Especificaciones Tecnicas del Motor 91
Anexo 4: Analizador de Energía 92

Anexo 5: Data Logger en Base a Arduino uno 93
Anexo 6: Bases para el Montaje del Inversor 94
Anexo 7: Instalación del Inversor 95
Anexo 8: Conexión Eléctrica del Inversor 96
Anexo 9: Motocicleta Ensamblada y Lista para las Pruebas en Ruta 97
Anexo 10: Conexión de Equipos de Registro 98
Anexo 11: Montaje de Equipos Registradores en la Motocicleta 99
Anexo 12: Recolección de Datos en el Tramo Autopista 100
Anexo 13: Verificación del Estado de los Equipos de Registro 101
Anexo 14: Recolección de Datos en el Tramo Rural 102
Anexo 15: Recolección de Datos en el Tramo Urbano 103
REFERENCIAS 104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes aerodinámicos 26
Tabla 2. Coeficientes de resistencia a la rodadura. 28
Tabla 3. Pendiente de Ibarra 28
Tabla 4. Especificaciones técnicas del vehículo 35
Tabla 5. Calibración del equipo registrador para la potencia de entrada. 46
Tabla 6. Datos de potencia de entrada en formato(.xlsx) 51
Tabla 7. Integración de datos 54
Tabla 8. Parámetros establecidos para el dimensionamiento 57
Tabla 9. Parámetros de los motores seleccionados 61
Tabla 10. Características de la ruta completa. 75
Tabla 11. Eficiencia ruta completa**.** 75
Tabla 12. Características del tramo de autopista. 77
Tabla 13. Eficiencia Tramo Autopista**.** 78
Tabla 14. Características del tramo rural. 80
Tabla 15. Eficiencia Tramo Rural**.** 80
Tabla 16. Características del tramo urbano. 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de los vehículos eléctricos 9
Figura 2. Auto eléctrico. 10
Figura 3. Curva de par y potencia de un vehículo eléctrico. 12
Figura 4. Curvas par y potencia. (a) Curva de par MCI vs EV, (b) Curva de potencia MCI vs EV 13
Figura 5. Transistores NPN y PNP 15
Figura 6. Tipos de transistores 15
Figura 7. Capacidades de transistores de potencia 17
Figura 8. Duty cycle 18
Figura 9. SPWM bipolar 19
Figura 10. Inversor puente H 20
Figura 11. Inversor puente H 20
Figura 12. Inversor monofásico 21
Figura 13. Inversor trifásico 22
Figura 14. Inversor onda senoidal modificada 22
Figura 15. Resistencia a la rodadura 27
Figura 16. Vespa Lml Star 34
Figura 17. Capacidad de conducción de corriente permisible de conductores aislados de 0 a 2000 V nominales. 39
Figura 18. Cable 4AWG con terminal de compresión de 1/4. 39
Figura 19. Anatomía de una motocicleta eléctrica. 41
Figura 20. Arduino UNO 42
Figura 21. Metrel Power Q4 plus. 43
Figura 22. Gl770 Gps. 44
Figura 23. Esquema de conexión a la entrada del inversor. 45
Figura 24. Esquema de conexión a la salida del inversor 47
Figura 25. Ruta para la prueba piloto. 49
Figura 26. Datos de potencia de entrada en el software Metrel PowerView 52
Figura 27. Datos del data logger GPS. 53
Figura 28. Solid Works 58
Figura 29. Transmisión de una motocicleta 62
Figura 30. Motor Shinegle 4[kW] 64
Figura 31. Conjunto inversor Shinegle 65
Figura 32. PCB 1 66
Figura 33. PCB 2 66
Figura 34. PCB 3 67
Figura 35. Alojamiento para el inversor. 69
Figura 36. Diagrama eléctrico. 69
Figura 37. Esquema cableado de alta tensión. 70

Figura 38. Programador..... 71
Figura 39. Conexión de los equipos registradores al inversor..... 73
Figura 40. Ruta completa. 74
Figura 41. Comparativa de potencias en la ruta completa..... 76
Figura 42. Tramo autopista..... 77
Figura 43. Comparativa de potencias tramo autopista 78
Figura 44. Tramo rural. 79
Figura 45. Comparativa de potencias tramo rural 81
Figura 46. Tramo urbano..... 82
Figura 47. Comparativa de potencias tramo urbano..... 83

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de Investigación

Actualmente, el cambio climático es un problema al que la industria automotriz aporta negativamente con los vehículos impulsados por Motores de Combustión Interna (MCI), y los gases que estos producen. La contaminación ambiental producto de la combustión de combustibles fósiles a nivel mundial es uno de los problemas más graves para el medio ambiente; por tal motivo, es necesario promover la investigación y desarrollo de vehículos impulsados mediante energías alternativas que ayuden a disminuir la contaminación ambiental. La carrera de Ingeniería Automotriz, preocupada por esta situación en el mundo, pretende impulsar a los estudiantes a investigar, desarrollar y aplicar su conocimiento de la energía eléctrica en el ámbito automotriz (Gavilanes Oleas & Guerrero Cantos, 2019).

Atendiendo a la problemática ambiental que se presenta en ciudades con alta densidad poblacional, se ha identificado al sector transporte como uno de los principales generadores de gases de efecto invernadero (GEI), compuestos orgánicos volátiles (COV) y material particulado (PM) a nivel nacional. Dichos contaminantes, generados por vehículos con (MCI), que abarcan desde motocicletas hasta tractocamiones y generan un deterioro en la calidad del aire, lo que implica daños al medio ambiente y a la salud de la población (Salcedo Jiménez et al., 2022).

Por lo que es necesaria la implementación de nuevas tecnologías como la electrificación de los vehículos, para evitar el uso de combustibles fósiles y la emisión de gases

contaminantes que favorecen al efecto invernadero. Frente a este problema, la industria automotriz ha empezado a promover la electromovilidad y en menor medida a ofrecer kits de conversión, para poder adaptar los vehículos con (MCI) a vehículos eléctricos (EV), los cuales se pueden acoplar a varios modelos y capacidades para no afectar el rendimiento original de los vehículos. Un kit de conversión contiene como elementos principales al motor, inversor y el paquete de baterías.

El problema en realizar la conversión de un vehículo con (MCI) a (EV) radica en cuanto al desempeño y a los resultados, que se obtendrían una vez terminada la conversión, tomando en cuenta la presión atmosférica, la altitud y condiciones topográficas propias de la zona de estudio.

En cuanto, al inversor, este cumple funciones principales que influyen directamente en el desempeño del vehículo, funciones a las cuales pueden afectar las características propias del vehículo y de la región.

En el presente proyecto se plantea calcular la eficiencia del inversor, con la finalidad de determinar la influencia de las condiciones de altura, que puedan afectar en su funcionamiento y evaluar parámetros comparativos de rendimiento de la motocicleta, con un sistema de propulsión (MCI) y (EV).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar la eficiencia de un inversor producto de la conversión de una motocicleta con motor de combustión interna a eléctrico en la ciudad de Ibarra a 2200 msnm.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar e instalar un inversor para la conversión de la motocicleta de motor de combustión interna a eléctrico.
- Evaluar la eficiencia del inversor mediante pruebas reales en ruta.
- Comparar la eficiencia del inversor en diversas condiciones de funcionamiento.

1.3 Alcance

Debido a la actual necesidad de reducir los impactos ambientales ocasionados por el sector automotriz, la industria ha considerado la sustitución de los vehículos con (MCI) a (EV). Este proceso no se ha logrado de manera significativa por diversos factores, como la infraestructura, el desarrollo tecnológico y el proceso de desecho de los vehículos con (MCI). Actualmente, hay un número limitado de kits de electrificación de vehículos, que en su mayoría no están diseñados para cumplir con las demandas topográficas de algunas regiones o con las necesidades del usuario en cuanto a autonomía y rendimiento. Esta investigación tiene como objetivo analizar la eficiencia de un inversor, producto de la conversión de una motocicleta con (MCI) a (EV), en la ciudad de Ibarra, situada a 2200 msnm.

El kit de electrificación se adaptará tomando en cuenta que este deberá proporcionar un rendimiento igual al brindado por el (MCI) original. Este kit además deberá implementar un motor de corriente alterna (CA), debido a su alta eficiencia y a que es una tecnología ampliamente utilizada por el sector automotriz en vehículos híbridos y eléctricos. Este kit se implementará en la estructura de una motocicleta de categoría L3 según la RTE INEN 2656, marca Vespa, modelo LML STAR, año 2001, con un (MCI) de 150 cc y una autonomía de 200 km por tanque, según especificaciones del fabricante.

Las pruebas se las realizará en la Zona 1 del país, en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, a 2200msnm. Se recopilarán datos necesarios para evaluar la eficiencia del inversor mediante pruebas reales en ruta, donde, mediante la comparativa de parámetros, se evaluará la eficiencia del inversor en diferentes condiciones de uso. Se establecerá un circuito cerrado compuesto por un tramo urbano, rural y de autopista. Se obviarán variables de humedad, aerodinámica, resistencia de rodadura y condiciones climatológicas.

1.4 Justificación

El trabajo de titulación propuesto muestra el estudio de la eficiencia de un inversor, resultado de una implementación tecnológica en una motocicleta con MCI, ya que busca convertirla a EV y demostrar por medio de pruebas y datos comparativos, el análisis de la eficiencia del inversor bajo diferentes condiciones de trabajo. La razón del estudio nace de la necesidad de adecuar un kit de electrificación de vehículos para que se desempeñe eficientemente en ciudades de altura, con una topografía irregular, que compromete el desempeño y autonomía de los vehículos actualmente.

Además, se espera que el presente trabajo de titulación sea un aporte teórico y práctico para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz, en cuanto al estudio de la eficiencia de un inversor, puesto que la tecnología que se implementará es similar a la que ocupan la mayoría de los automóviles eléctricos, ya que se implementará un motor de CA en donde el inversor tendrá que transformar la corriente continua (CC) de la batería a CA, para suministrarla al motor y generar movimiento.

Simultáneamente, este proyecto marca el inicio para impulsar a los estudiantes de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte a explorar e incrementar sus conocimientos acerca de la conversión de vehículos con motor de combustión interna a vehículos eléctricos. El propósito de este proyecto es proporcionar una referencia útil para quienes estén interesados en realizar una labor semejante (Gavilanes Oleas & Guerrero Cantos, 2019).

Este estudio expondrá mediante datos contundentes la evidente mejora que representa implementar un kit de electrificación a un vehículo, pues ayudará de manera significativa a la movilidad, reducir la contaminación ambiental y sobre todo a reducir costos en cuanto a la movilización personal.

1.5 Antecedentes

(Salcedo Jiménez et al., 2022) en su trabajo de DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE UNA MOTOCICLETA DOS TIEMPOS CONVERTIDA A ELÉCTRICA PARA EL MEJORAMIENTO DEL TRÁNSITO, LA SEGURIDAD Y LA GESTIÓN VIAL analiza la eficiencia de un kit eléctrico implementado en una motocicleta Yamaha DT-125 1998 mediante pruebas realizadas en distintos circuitos. Demuestra que el kit eléctrico acoplado a la motocicleta satisface los requerimientos para desplazamientos en ciudades, reduciendo el impacto ambiental generado por los vehículos con motor de combustión interna.

El kit de transformación de un vehículo de combustión interna a eléctrico consta de tres elementos principales: motor eléctrico, inversor de CC a CA y el paquete de baterías. (O. Castro 2014). Como menciona (A. Hernández 2020) existen varios motores eléctricos, de

los cuales se ha demostrado que aquellos que trabajan con CA son más eficientes. Por lo cual se hace necesaria la implementación de un inversor para obtener el mejor rendimiento, ya que, como sostienen (F. Udrizard & A. Sebastián 2018), el inversor en un kit de electrificación cumple la principal función de transformar la CC proveniente del paquete de baterías a CA para el correcto funcionamiento del motor.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Vehículos Eléctricos

Un vehículo eléctrico (EV) es aquel que se impulsa mediante uno o varios motores eléctricos que utilizan energía almacenada en las baterías para generar desplazamiento[1]. En los últimos años, el EV ha afirmado su posición como la forma de transporte más ecológica y la principal opción para sustituir al vehículo de combustión interna, pues reduce notablemente la contaminación ambiental por gases residuales de escape y tiene un mayor rendimiento y eficiencia energética.[2]

El EV no es un invento reciente, ya que sus orígenes se remontan a 1828, cuando el ingeniero húngaro Ányos Jedlik creó un prototipo pequeño con un motor eléctrico de su propia invención. Posteriormente, en 1834 [3], Thomas Davenport instaló un motor eléctrico en un vehículo que se desplazaba sobre rieles electrificados. Finalmente, en 1888, el ingeniero alemán Andreas Flocken construyó el primer vehículo eléctrico de cuatro ruedas, equipado con un motor de 0.7 kW y una batería de 100 kg, logrando alcanzar una velocidad de 15 km/h [4].

Los automóviles eléctricos surgieron en 1852, pero inicialmente no usaban baterías recargables. Estas se popularizaron a fines del siglo XIX gracias a Gaston Planté, quien en 1852 desarrolló la batería de plomo-ácido, aunque su producción industrial no era viable. En 1880, Camille Faure mejoró su capacidad de carga con el método “masa activa”, permitiendo su fabricación a gran escala. Esto impulsó al automóvil eléctrico como la opción preferida a inicios del siglo XX [5].

La primera motocicleta fue creada por el estadounidense Sylvester Howard Roper en 1867 y a lo largo de la historia ha ocupado varios sistemas para generar energía y transformarla en movimiento, como el motor a vapor, el motor Otto y el más reciente, el motor eléctrico[6]. La motocicleta, por su parte, es un medio de transporte fiable y económico debido a su gran eficiencia y versatilidad, lo cual la ha llevado a propagarse por todo el mundo[7].

Actualmente, la motocicleta ha dado un salto a la electrificación para mejorar sus características y así reducir emisiones y el consumo de combustibles fósiles; además, la producción en masa ha reducido notablemente el costo de adquisición y en los últimos años es el medio de transporte preferido en varias partes del mundo[8].

2.1.1 Tipos de Vehículos Eléctricos

Los EV se mueven mediante la utilización de motores eléctricos, los cuales obtienen su energía de diversas formas, ya sea mediante un suministro externo de energía eléctrica constante, como en los trenes eléctricos, el almacenamiento de energía eléctrica mediante reacciones químicas en baterías o la producción de energía mediante placas fotovoltaicas aprovechando la energía solar o mediante la quema de combustibles fósiles con un MCI [9]. Según Jesús Trashorras, en su libro Vehículos eléctricos (2019) menciona que los tipos de vehículos eléctricos se basan según el grado de electrificación que estos dispongan y los clasifica de acuerdo con la figura 1 [10].

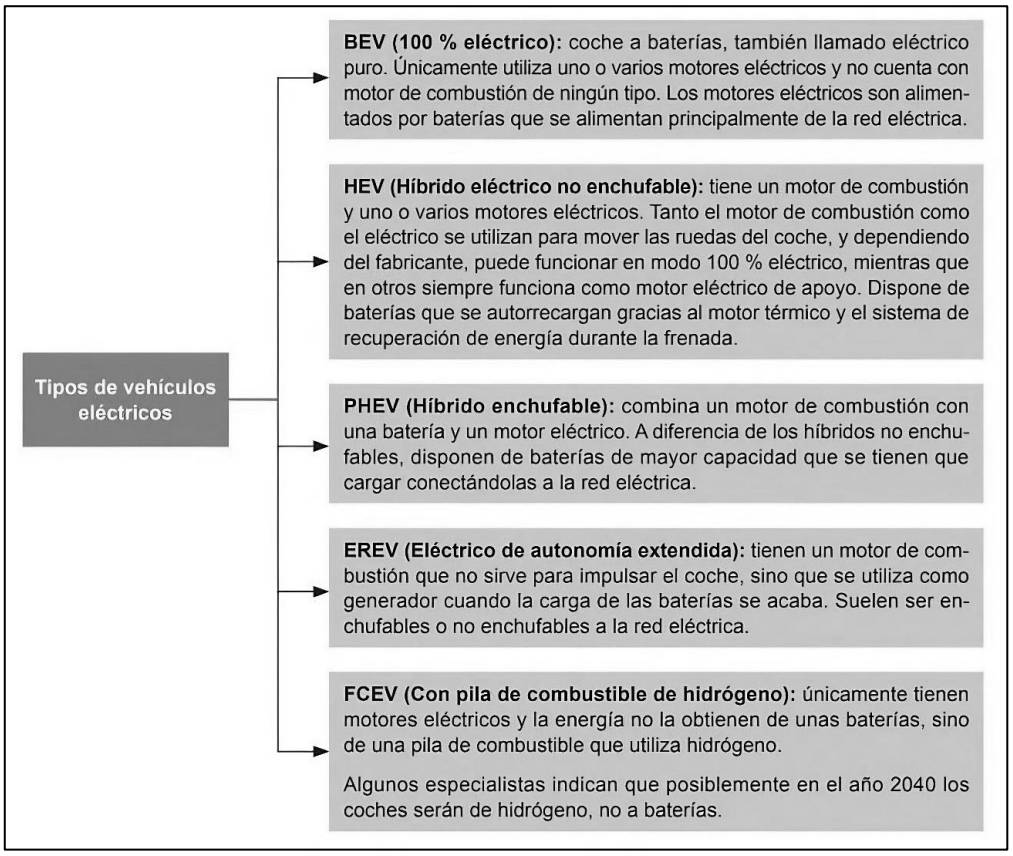


Figura 1. *Tipos de los vehículos eléctricos*

Trashorras (2019).

2.2 Componentes del Vehículo Eléctrico

El vehículo eléctrico puro tiene como principales componentes el paquete de baterías, el inversor de CC a CA que se encuentra dentro del controlador y el motor eléctrico [11]. Este funciona usando la energía acumulada en el paquete de baterías, que envía corriente continua al inversor y la transforma en corriente alterna, la misma que es dosificada por el controlador y posteriormente conducida al motor eléctrico para generar movimiento en el eje de ruedas [12].

Las motocicletas eléctricas pueden funcionar con motores de CA o CC, siendo estos últimos los más empleados debido a su sencillez para el control de la velocidad; sin

embargo, los motores de CA van ganando terreno por su alta eficiencia, pero como desventaja se hace indispensable el uso de un inversor de corriente CC a CA para obtener una onda sinusoidal que suministre la CA al motor para su funcionamiento, como muestra la figura 2.

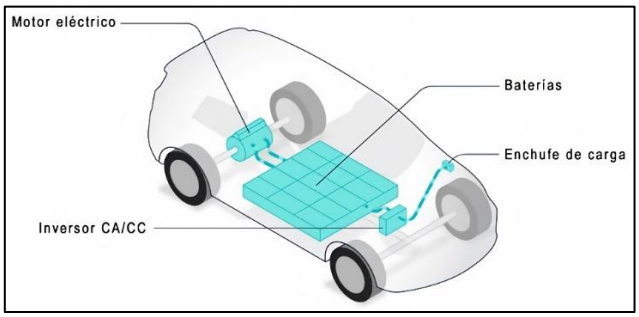


Figura 2. *Auto eléctrico.*

Qore.com (2023).

2.2.1 Paquete de Baterías

Las baterías son las encargadas de almacenar la energía y entregarla al motor para generar energía mecánica. Funcionan con períodos de carga (aprovechamiento de energía eléctrica para almacenar energía química) y descarga (conversión de energía química a energía eléctrica), mediante una reacción química reversible, la cual realiza un intercambio de moléculas entre el electrodo y el electrolito. Además, es importante recalcar que lo que delimita a una batería, es su capacidad y tensión nominal [13]. Para alcanzar la tensión y capacidad deseadas, el paquete de baterías se debe conformar por una combinación de celdas en serie, para aumentar la tensión, y en paralelo, para aumentar la capacidad, tomando en cuenta que todas las celdas combinadas deben poseer las mismas características de tensión, capacidad y grado de descarga para asegurar un balance idóneo, correcto funcionamiento y una mayor vida útil [14].

2.2.2 Conjunto Inversor

El controlador de un vehículo eléctrico, también denominado conjunto inversor, es un circuito electrónico, el cual toma la CC de la batería y la transforma en CA trifásica, mediante el inversor CC/CA incluido que, dependiendo de la señal enviada por el acelerador, este varía la frecuencia para acelerar o desacelerar el motor y en las ocasiones que se requiera puede aumentar el voltaje con la función de booster. En cuanto al frenado regenerativo, el inversor trabaja de manera contraria, en el modo de rectificador, para transformar la CA a CC que sirve para cargar la batería principal. Finalmente, el transformador DC/DC reduce la tensión para poder cargar la batería auxiliar de 12 V y alimentar los sistemas eléctricos de baja tensión[15].

2.2.3 Motor Eléctrico

Es una máquina eléctrica de rotación que utiliza energía eléctrica, ya sea en forma de CC o CA y la transforma en energía mecánica mediante los campos magnéticos de atracción y repulsión que inducen al movimiento entre un imán y un conductor (bobina) por donde circula una corriente [16].

Por su fuente de alimentación, los motores eléctricos se dividen en motores de CC y CA. Los motores CC tienen una construcción más compleja, ya que poseen conmutador y en ocasiones también escobillas; se caracterizan por su alto par de arranque y velocidad variable, misma que se realiza mediante la regulación de la tensión, teniendo un control más sencillo y preciso con una eficiencia general limitada [17].

Por otra parte, los motores CA tienen una construcción más sencilla, sin conmutador ni escobillas; poseen un bajo par de arranque, su capacidad de control es limitada debido a

que el control de la velocidad se realiza mediante la variación de frecuencia de la CA, pero poseen una mayor eficiencia que los motores CC [18].

2.3 Ventajas de un Vehículo Eléctrico

2.3.1 Eficiencia y Rendimiento

Los EV son superiores, porque poseen una mayor capacidad de transformar energía en movimiento, con valores de eficiencia energética del 75% y hasta del 90% frente a los convencionales con MCI, que tienen una eficiencia energética de alrededor del 27% en motores gasolina y hasta 40% en motores diésel [19].

El desempeño del vehículo se encuentra estrechamente relacionado con la capacidad de producir par y potencia, para esto se ha idealizado una curva, la cual indica que el par máximo debería ser entregado a bajo régimen de funcionamiento y este puede reducir según se aumente la velocidad, mientras que la potencia debería tener un incremento pronunciado hasta alcanzar la velocidad base y luego mantenerse hasta alcanzar la máxima velocidad, como se muestra en la figura 3 [20].

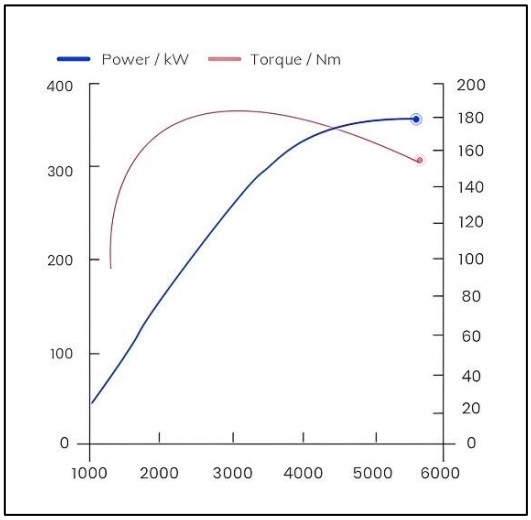


Figura 3. *Curva de par y potencia de un vehículo eléctrico.*

X-Engineer. (2024).

Los motores convencionales de combustión interna generan una curva de par y potencia que no se adapta a este estándar ideal, pues, el par es muy pobre a bajo régimen y no alcanza valores máximos tan altos como el motor eléctrico. En cuanto a potencia la curva creciente inicial es muy parecida a un motor eléctrico sin embargo cuando esta alcanza su límite máximo empieza a decaer precipitadamente, mientras que el motor eléctrico puede mantener este valor máximo durante casi todo su régimen de funcionamiento como se puede apreciar en la figura 4 [21].

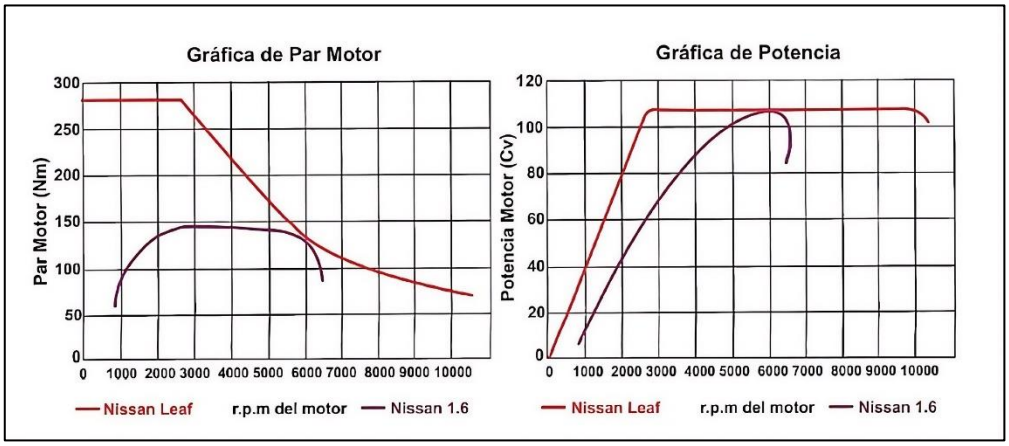


Figura 4. *Curvas par y potencia. (a) Curva de par MCI vs EV, (b) Curva de potencia MCI vs EV*

Catalan (2018).

2.3.2 Costos de Adquisición y Mantenimiento

Un aspecto importante a tener en cuenta es el costo de adquisición y mantenimiento, pues los vehículos eléctricos presentan varias ventajas, como por ejemplo las cuotas fiscales que son menores en relación a un vehículo de combustión interna, los mantenimientos son menores, ya que no requiere de cambios periódicos en los fluidos para lubricación y refrigeración del motor y, finalmente, los desgastes y averías mecánicas son reducidos

porque los elementos en movimiento expuestos a desgaste son pocos en comparación con el MCI [22].

Estas ventajas hacen que el vehículo eléctrico sea una gran opción, pues los beneficios son significativos frente a la competencia y es a donde se ve orientada la tendencia actual en el sector automotriz. Hay una fuerte tendencia de los consumidores a mantenerse con los vehículos impulsados por MCI, pues es una tecnología que durante muchos años ha funcionado de una manera excelente y para el consumidor actual es muy difícil renunciar a su fiabilidad y a la confianza que ha generado con los años en el mercado mundial [23].

2.4 Inversor CC/CA

Los inversores CC/CA de modo conmutado, trabajan utilizando componentes electrónicos, circuitos de conmutación, filtros y métodos de conmutación como el PWM, que logran transformar la CC en una CA, la cual brinda a la salida una simulación de una onda senoidal a la frecuencia y magnitud requerida [24]. Esto permite que la electricidad acumulada como CC sea compatible con dispositivos o elementos que trabajan con CA. Actualmente, la electrónica ha facilitado el avance y desarrollo de los inversores, ampliando el ámbito de aplicaciones en sectores como el industrial, comercial y residencial, logrando altas eficiencias y desempeños en el manejo de la electrónica de potencia [25].

2.4.1 Transistores

Los transistores son dispositivos semiconductores activados por corriente o por tensión, dependiendo del tipo. Poseen dos funciones: la primera como interruptor, que se activa proporcionando a la base una tensión de saturación mínima indicada por el fabricante, y la segunda función es de amplificador, que se logra polarizando el transistor por medio

de la base. Poseen tres terminales. Internamente, están formados por un semiconductor y recubiertos por una carcasa de resina [26].

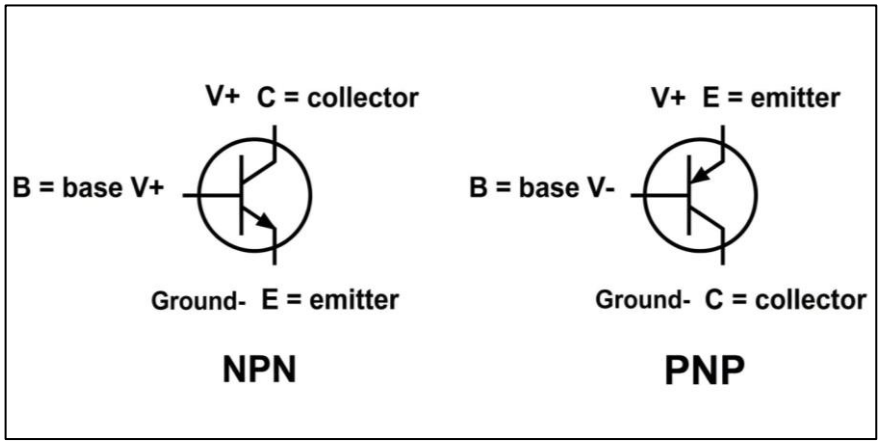


Figura 5. *Transistores NPN y PNP*

LeDuc (2017)

2.4.1.1 Clasificación de los Transistores.

Los transistores se clasifican principalmente en tres grupos: transistores de unión bipolar, transistores de efecto campo y transistores bipolares de puerta aislada.

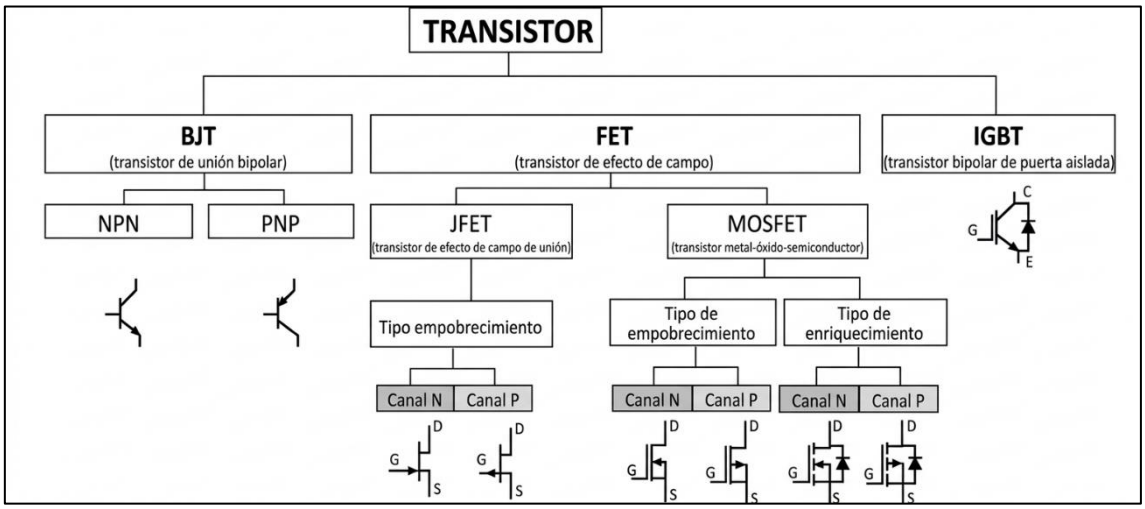


Figura 6. *Tipos de transistores*

LearnChanelTV.com (2015).

Transistores de unión bipolar (BJT).

Los transistores BJT tienen tres terminales denominados emisor, colector y base. Estos están formados por un cristal de silicio o germanio, el cual posee tres secciones de semiconductor tipo N y P, dando lugar a los transistores NPN que se controlan con corriente positiva por medio de la base y los PNP que se controlan por corriente negativa, en donde pueden conducir los electrones o los espacios libres en los semiconductores. Los cuales son controlados por corriente y pueden manejar tensiones de alrededor de 1500 V, 750 A y conmutar a velocidades de hasta 10 kHz, dependiendo de las especificaciones del fabricante [27].

Transistores de efecto campo (FET)

Los transistores FET tienen tres terminales denominados: drenador, fuente y puerta; se controlan por medio de la puerta con una tensión mínima, lo cual, ayuda al momento de trabajar con varios transistores. Se clasifican en JFET y MOSFET, siendo estos últimos Los más usados. En este tipo de transistores únicamente pueden conducir los electrones o los espacios libres, dando lugar a los transistores Fet de canal N que se activan con una tensión positiva y los de canal P que se activan con una tensión negativa. Estos son más baratos de fabricar y su sencilla construcción hace que se puedan miniaturizar más que los BJT [28].

Transistores de efecto campo metal-oxido semiconductor (MOSFET)

Los transistores MOSFET generalmente son más usados como interruptores de alta velocidad. Se dividen en dos grupos: los de empobrecimiento, que son un interruptor normalmente abierto; esto indica que existirá un flujo de corriente entre el drenador y la fuente, hasta que una tensión en la puerta lo active y cambie a cerrado, interrumpiendo el flujo, y los de enriquecimiento, que funcionan como un interruptor normalmente cerrado

que, cuando se activa, permite el paso de la corriente entre el drenador y la fuente. Siendo estos últimos los más usados. Además, como grandes ventajas presentan un nulo consumo de corriente para su control, son muy estables, no se recalientan y pueden soportar corrientes de alrededor de 1000 V y 200 A, a velocidades de conmutación de hasta 1000 kHz [29].

Transistores bipolares de puerta aislada (IGBT)

Los transistores IGBT reúnen las características de los transistores BJT, ya que pueden conducir altas intensidades de corriente, pero a su vez son controlados mediante tensión como los transistores FET, logrando conducir tensiones de hasta 2000 V e intensidades de 500 A con velocidades de conmutación de 100 kHz. Cabe recalcar que dentro de sus desventajas radica el alto costo y alta temperatura de trabajo cuando conducen altas intensidades, especialmente para la electrónica de potencia [30].

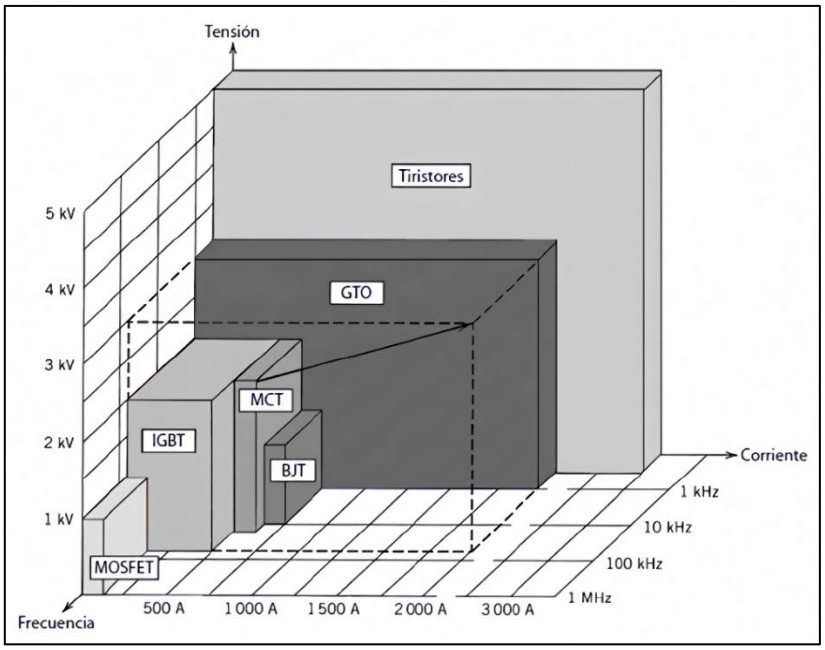


Figura 7. *Capacidades de transistores de potencia*

Electrónica de potencia (2009).

2.4.2 Modulación por Ancho de Pulso (PWM)

El PWM es una técnica utilizada para controlar la tensión y la frecuencia mediante la variación de la duración de los pulsos de voltaje (ciclo de trabajo) en un periodo. Logrando así obtener a la salida una tensión proporcional al porcentaje del ciclo de trabajo y a la frecuencia deseada, mediante el control en la apertura y cierre de los transistores, variando su velocidad de conmutación [31].

El ciclo de trabajo es el porcentaje de tiempo que el interruptor se encuentra cerrado referente al periodo, obteniendo a la salida un voltaje proporcional al porcentaje del ciclo de trabajo, como se muestra en la figura 8, por ejemplo: si la entrada de tensión es de 10 V y el ciclo de trabajo es 50%, a la salida se tendrá una tensión promedio de 5 V y si el periodo dura 5 ms se obtendrá una frecuencia de 200 Hz ya que es el número de veces que la señal varía entre 10 V y 0 V en un segundo [32].

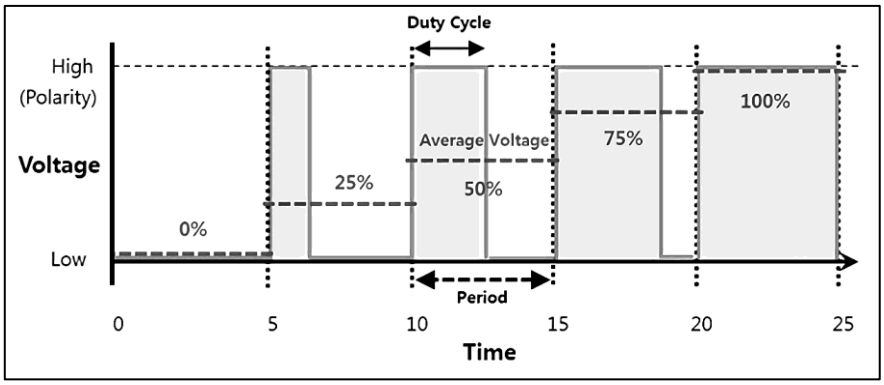


Figura 8. *Duty cycle*

uPesi (2022)

2.4.2.1 Conmutación SPWM Bipolar.

El SPWM bipolar, denominado así por oscilar entre valores (+Vin/2) y (-Vin/2), siendo (Vin) la tensión total de entrada. Es el método más utilizado en inversores para generar a la salida una onda senoidal de amplitud y frecuencia variable, debido a que es altamente

eficiente y relativamente básico en su funcionamiento, ofreciendo una reducción en los armónicos de orden bajo y facilitando el filtrado [33].

Para obtener a la salida una onda de forma senoidal, es necesario generar una serie de pulsos variables, los cuales controlarán el cierre y apertura de los diversos transistores del inversor. Estos pulsos se obtienen a partir de la comparación de una señal de modulación de forma senoidal y una señal triangular repetitiva, la cual, debe ser de una magnitud pico mayor y una frecuencia superior a la señal de control en al menos 9 veces; esta además debe ser un número entero impar, como se muestra en la figura 9 [34].

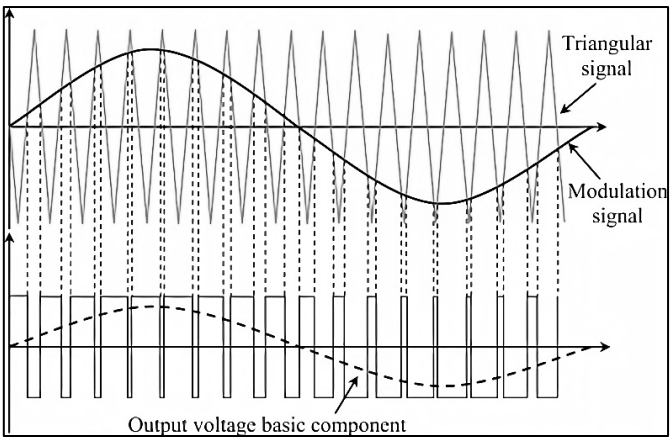


Figura 9. SPWM bipolar
Solar hybrid sistem (2021)

Mediante la comparación entre la señal de modulación y la señal triangular, se determina que existen dos periodos de funcionamiento, descritos en las ecuaciones a continuación, en donde se activarán y desactivarán los transistores en parejas de manera precisa. Es importante tener en cuenta que nunca se deben activar las parejas de transistores al mismo tiempo, pues generarían un cortocircuito en el sistema [35].

$$Señal\ modulación\ > Señal\ triangular\ ;\ S1y\ S4\ (On)\ y\ S2\ y\ S3\ (off)$$

$$Señal\ modulación\ < Señal\ triangular\ ;\ S1y\ S4\ (On)\ y\ S2\ y\ S3\ (off)$$

2.4.3 Funcionamiento del Inversor

En la figura 10 se ilustra un inversor básico de puente H convencional, compuesto por un arreglo de 4 transistores, una entrada de tensión Vin con un Punto positivo (P) y negativo y la salida de tensión por los puntos A y B [36].

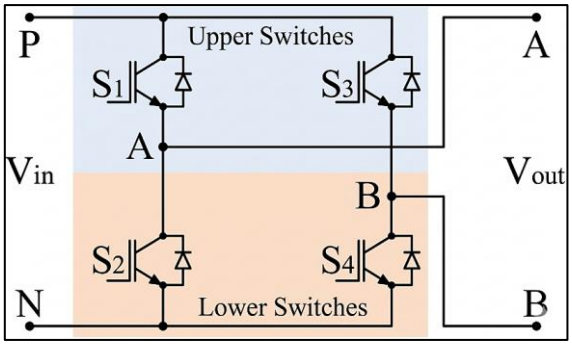


Figura 10. *Inversor puente H*

Conventional H bridge (2021)

Cuando la señal de modulación sea mayor que la señal triangular, S1 y S4 se encuentran encendidos y S2 y S3 apagados, energizando positivamente a la salida y obteniendo un voltaje +Vin/2 a la salida, como se muestra en la figura 11a, mientras que cuando la señal de modulación sea menor que la señal triangular, S1 y S4 están apagados y S2 y S3 encendidos, energizando negativamente a la carga y obteniendo -Vin/2 a la salida, como se ilustra en la figura 11b [37].

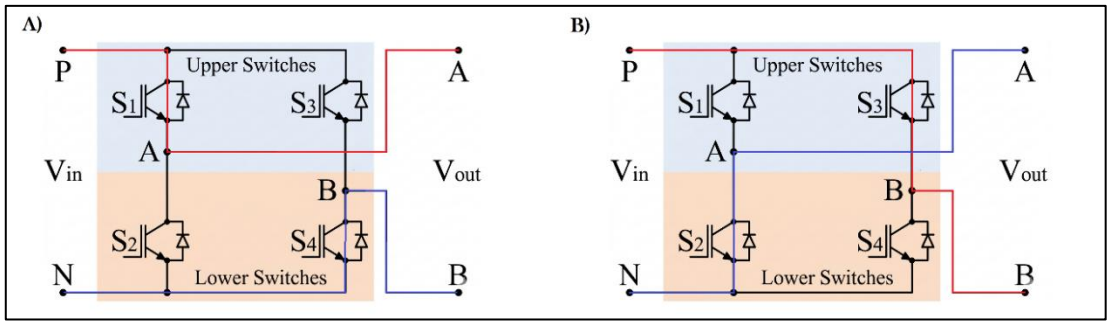


Figura 11. *Inversor puente H*

Conventional H bridge (2021)

Con las tensiones de salida de +Vin/2 y -Vin/2 y basándose en el ciclo de trabajo, en un periodo se obtendrá una señal a la salida similar a la graficada en la Figura 9.b.

2.4.4 Tipos de Inversores

Los inversores son dispositivos cruciales en la transformación de energía eléctrica; se clasifican en diversas categorías, considerando las más relevantes la clasificación según su topología y forma de onda de salida. Cada categoría presenta configuraciones y parámetros específicos que determinan su aplicación y funcionalidad [38].

2.4.4.1 Por su Topología.

Inversor monofásico

A la entrada del inversor monofásico se encuentra un voltaje en CC y la función principal de este inversor es obtener a la salida, un voltaje en CA que sea simétrico, con la dimensión y frecuencia requeridas. Este proceso se lleva a cabo a través de PWM, lo que a su vez provoca interrupciones en el ciclo de señal en cero. El uso de PWM permite controlar diversos parámetros de la señal de salida, acoplándose a los requerimientos específicos de la aplicación para la cual se requiere el inversor. [39].

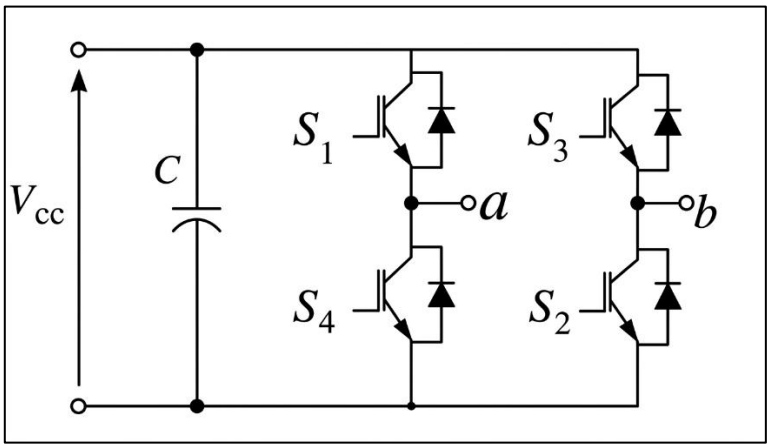


Figura 12. *Inversor monofásico*

Pietro (2016)

Inversor trifásico

El inversor trifásico trabaja mediante la combinación de tres inversores monofásicos, cuyas señales de control están desplazadas 120° entre sí, dando lugar a un sistema trifásico. La configuración tradicional empleada es un puente, como se ilustra en la figura 13, donde los interruptores pueden ser sustituidos por elementos semiconductores de potencia tales como tiristores, transistores, mosfets, GTO's o IGBT's [40].

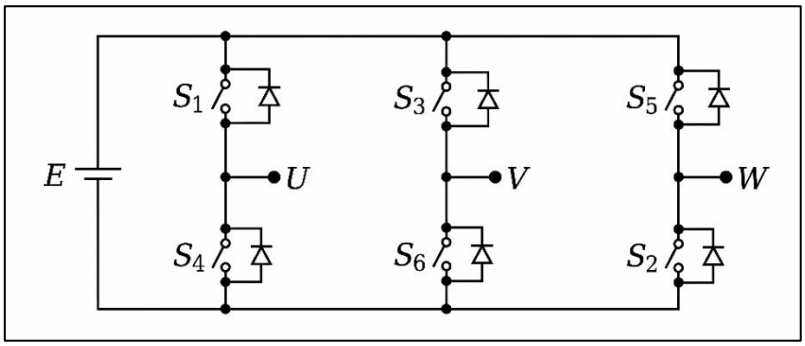


Figura 13. *Inversor trifásico*

Espinoza (2000)

2.4.4.2 Por su Forma de Onda.

Los inversores, por su forma de onda, generalmente se clasifican en tres tipos, como se detalla en la figura 14.

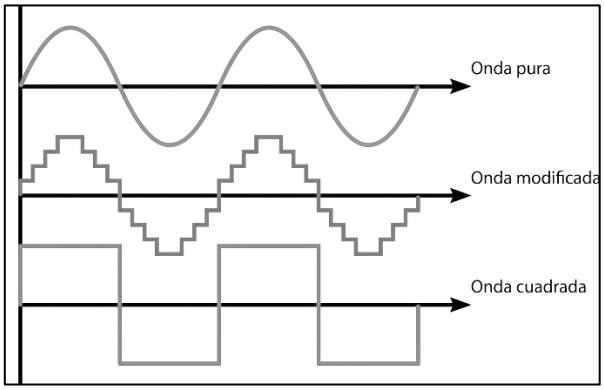


Figura 14. *Inversor onda senoidal modificada*

Gómez (2017).

Inversores de onda cuadrada

Se refiere a la onda cuadrada como una forma de CA que cambia su valor entre dos extremos, evitando obtener valores intermedios, en comparación a las fluctuaciones senoidales y de forma triangular. Principalmente, es utilizado para producir pulsos de electricidad manipulados como señales binarias (1 y 0) que permiten una manipulación sencilla. El espectro de frecuencias de una fluctuación cuadrada se basa en armónicos nones, y se extiende a frecuencias más altas según los flancos se vuelven más abruptos. Las capacidades y autoinductancias dañinas logran muchas veces alterar la señal, descartando elementos de alta frecuencia, ocasionando que la fluctuación cuadrada se degrade y adquiera una forma más redondeada [41].

Inversores de onda senoidal modificada

En la figura 14 se observa la señal generada por un inversor de onda senoidal modificada. Este modelo se destaca por su economía, dado que no produce una onda senoidal auténtica, sino una señal similar mediante el uso de señales cuadradas. Este tipo de onda posibilita el trabajo de dispositivos electrónicos convencionales, como iluminación, carga de dispositivos, entre otros [42].

Inversores de onda senoidal pura

A partir de una onda senoidal modificada con una baja presencia de armónicos de baja frecuencia y una alta definición referente a la señal fundamental, se puede realizar el filtrado, logrando así eliminar la mayoría de los armónicos de alta frecuencia y generar una señal senoidal pura. El filtrado se lo realiza mediante el uso de un filtro LC, compuesto por una bobina que se opone a los rápidos cambios de corriente, atenuando

los armónicos de alta frecuencia, y un capacitor que absorbe las variaciones de voltaje, dejando así una onda de baja distorsión armónica [43].

2.5 Balance Energético en el Vehículo

2.5.1 Eficiencia Energética en las Motocicletas Eléctricas

Una alternativa para reducir el impacto del sector del transporte, particularmente en las zonas urbanas, es reducir la demanda de energía intensiva de transporte y promover alternativas que puedan proporcionar un transporte más económico, menos ruidoso y más alternativa sostenible que un viaje diario en automóvil. El uso de bicicletas o motocicletas permite a las personas viajar más tiempo, más rápido y con menos esfuerzo que caminar, al mismo tiempo que tiene un bajo impacto en el medio ambiente, convirtiéndolos así en modos de transporte eficientes para la movilidad urbana. Las motocicletas eléctricas son idóneas para conducir por la ciudad y también por la carretera, por lo que su consumo depende de muchas variables como modo de conducción/velocidad, el modelo/marca del motor, y las características del terreno. En definitiva, una moto eléctrica consume un 70% menos, por cada 100 km, comparado con una moto tradicional. Si se lo compara con un coche, el consumo de una moto eléctrica representa un 90% [44].

2.5.2 Dinámica Longitudinal

La dinámica longitudinal permite calcular las fuerzas y resistencias que actúan a lo largo de su eje longitudinal. Este análisis es fundamental para diseñar y dimensionar el tren motriz, ya que ayuda a establecer las necesidades del vehículo en diversas condiciones de funcionamiento. A continuación, se presentan los parámetros y sus respectivas ecuaciones que ilustran cómo diversos factores influyen en el movimiento del vehículo[45].

La dinámica longitudinal de un automóvil define las fuerzas externas que actúan sobre su movimiento en línea recta. Estas fuerzas, interrelacionadas entre sí, dependen de variables como la gravedad, la resistencia del aire, la propulsión y las fuerzas que se oponen al avance[46].

La fuerza total se define como la sumatoria de las fuerzas que actúan sobre el vehículo.

$$FT = Fa + Frr + Fm + Fp$$

Ecuación 1.

2.5.2.1 Fuerza de Resistencia Aerodinámica (Fa).

La resistencia aerodinámica se genera en el instante en el que un objeto en movimiento, como un vehículo, se desplaza a través del aire, el cual ejerce una fuerza opuesta al desplazamiento. El coeficiente de resistencia aerodinámica (Cx) refleja el nivel de eficiencia aerodinámica de un cuerpo. Dicho coeficiente varía dependiendo de varios parámetros, como son el área y forma del vehículo, la superficie y la velocidad de desplazamiento[47].

$$Fa = \frac{1}{2}\rho * Cx * Af * V^2$$

Ecuación 2

Donde:

Fa = Resistencia aerodinámica (N)

ρ = Densidad del aire (kg/m^3)

Cx = Coeficiente de resistencia aerodinámica

Af = Área frontal (m^2)

V = Velocidad (m/s)

Densidad del aire

La densidad del aire es un factor determinante en el cálculo de la resistencia aerodinámica, dado que esta fuerza es directamente proporcional a dicha densidad. Para el presente proyecto, se determinó la densidad del aire en la ciudad de Ibarra mediante la herramienta de cómputo científico Omnicalculator, la cual arrojó un valor de 0,915 kg/m³.

Dado que la obtención de este resultado requiere los valores de altitud, temperatura, presión atmosférica y humedad relativa, se encontró que:

La ciudad de San Miguel de Ibarra, capital de Imbabura, se ubica a 115 km al noreste de Quito y a 125 km al sur de Tulcán. Está a 2.225 metros de altitud y disfruta de un clima seco y templado, con temperaturas anuales que suelen estar entre los 13 °C y los 24 °C, para los cálculos se ocupó el valor más alto de temperatura[48].

De acuerdo con un estudio realizado en la ciudad de Ibarra, la humedad relativa registrada es del 78%, mientras que la presión atmosférica es de 77,23 kPa. [49].

Coeficiente de resistencia aerodinámica

El coeficiente de resistencia aerodinámica en un valor adimensional que indica la resistencia que presenta un objeto para moverse a través del aire. Se recopilaron varios datos referenciales que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. *Coeficientes aerodinámicos*

Coeficiente de resistencia al aire (Cx)	
Cabriolet abierto	0,5 - 0,7
Familiar	0,5 - 0,6
Tres volúmenes	0,4 - 0,55
Forma K	0,23
Camiones	0,8 - 1,5
Motos	0,6 - 0,7
Autobuses	0,6 - 0,7

(Bosch, 2008)

2.5.2.2 Fuerza de Resistencia a la Rodadura (Frr).

La resistencia a la rodadura se asocia con la resistencia opositora generada por la deformación que ocurre entre el neumático y la superficie sobre la que se desplaza. Se produce cuando un cuerpo se desliza sobre otro, provocando una deformación, pudiendo esta no tener valores altos. Esto es debido a las grandes presiones que se localizan en los puntos de contacto del cuerpo y la superficie[50].

$$Frr = Cos(\alpha) * frr * m * g \qquad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Frr = Fuerza de resistencia a la rodadura (N).

frr = coeficiente de resistencia a la rodadura (adimensional).

m = masa del vehículo (kg).

g = gravedad (m/s^2).

$\propto$ = pendiente (rad).

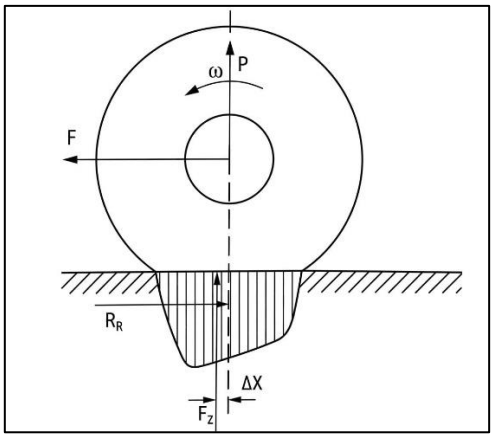


Figura 15. *Resistencia a la rodadura*

Aparicio (2001)

Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Es un valor adimensional, el cual indica la dificultad para rodar de un neumático en base a distintas superficies, como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. *Coeficientes de resistencia a la rodadura.*

C_{rr}	u_r	Descripción
0,0010 a 0,0024	0.5 mm	Ruedas de ferrocarril de acero sobre rieles de acero
0.0010 a 0.0015	0,1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0,0025		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-maratón
0,005		Ríeles estándar de tranvía
0,0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares
0,010 a 0,015		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0,030 a 0,035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0,3		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre arena

(Piro, 2014)

Pendiente.

Según el estudio de (Cevallos, 2017) en la ciudad de Ibarra se registró que la mayor pendiente corresponde a Azaya con un valor de 20% a una altura entre 2248-2268 msnm [51]. No obstante, se identificaron pendientes significativas en otros sectores característicos en la topografía de la ciudad de estudio, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. *Pendiente de Ibarra*

Localización	msnm	c (m)	b (m)	% pendiente
Arcángel	2360	13	99,15	13,11
	2373			
	2240			

Atahualpa	2244	4	99,92	4,00
Azaya	2248 2268	20	97,98	20,41
Caranqui	2290 2300	10	99,50	10,05
Imbaya	2065 2073	8	99,68	8,03
El retorno – Plaza de Toros "La Candelaria"	2293 2304	11	99,39	11,07
El Tejar	2361 2379	18	98,37	18,30
La florida	2208 2213	5	99,87	5,01
Milagro	2199 2204	5	99,87	5,01
Olivo – Panamericana y Av. 17 de Julio	2320 2335	15	98,87	15,17
Olivo –Av. Carchi	2180 2187	7	99,75	7,02
San Antonio de Ibarra	2344 2356	12	99,28	12,09
San Cristóbal	2630 2648	18	98,37	18,30
San Francisco	2339 2351	12	99,28	12,09
19 de enero	2482 2500	18	98,37	18,30

(Cevallos, 2017)

2.5.2.3 Fuerza de Resistencia a la Aceleración de Masas (Fm).

El automóvil experimenta una fuerza generada por su aceleración lineal, la cual se representa de la siguiente forma:

$$Fm = m * a$$ Ecuación 4

Donde:

m = masa del vehículo (kg).

a = aceleración (m/s^2).

2.5.2.4 Fuerza de Resistencia a la Pendiente (Fp).

Cuando el automóvil se desplaza por una pendiente, su movimiento se ve afectado por la fuerza de la gravedad, la cual se expresa de la siguiente forma:

$$Fp = Sin(\alpha) * m * g$$ Ecuación 5

Donde:

m = masa del vehículo (kg).

g = gravedad (m/s^2).

α = pendiente (rad).

2.5.2.5 Potencia de Tracción (Pt).

La potencia de un vehículo se refiere a la rapidez con la que se aplica el torque, siendo el motor el encargado de generar esta fuerza. Una forma sencilla de evaluar qué tan potente es un vehículo consiste en medir el tiempo que tarda en acelerar de 0 a 100 km/h [52].

La potencia se representa como el producto entre el torque y la velocidad angular, expresada en radianes por segundo, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Pt = T * w \qquad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

T = Torque (Nm).

w = Velocidad angular (rad/s).

2.5.3 Potencia de un Motor Eléctrico

La potencia en el eje del motor debe ser suficiente para proveer la potencia necesaria en el punto de contacto con la vía, el camino o el cable (potencia de tracción), considerando todas las pérdidas en la transmisión. Partiendo de la potencia de tracción requerida, es posible calcular la potencia nominal en kW que debe tener el motor eléctrico [53].

$$PMotor = Ptrac / (\eta transmisión * \eta motor * \eta controlador) \qquad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

P_{trac} = Potencia de tracción (W)

$\eta_{transmisión}$ = Eficiencia de transmisión

η_{motor} = Eficiencia del motor

$\eta_{controlador}$ = Eficiencia del controlador

2.5.4 Eficiencia de una Máquina Eléctrica.

La eficiencia de una máquina eléctrica hace referencia a la relación entre la energía útil aprovechada y la energía total consumida; esta se puede calcular mediante la siguiente ecuación [54]:

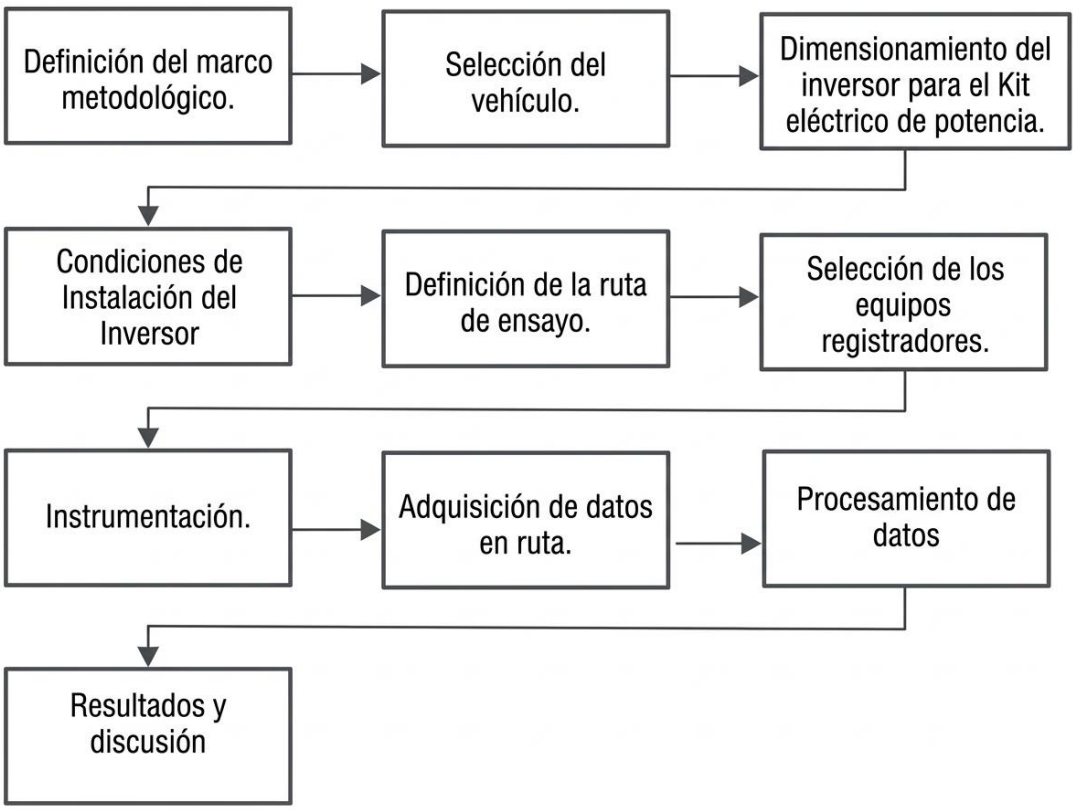
$$\eta = \frac{P_{Salida}}{P_{Entrada}} * 100 \qquad \text{Ecuación 8}$$

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Definición del Marco Metodológico

En el presente capítulo se describen de manera detallada los procesos metodológicos y los materiales empleados para cumplir con los objetivos planteados, tomando en cuenta que se adoptó un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo con un diseño no experimental, ya que los datos se los recolectaron en un solo momento sin manipular las variables relacionadas. Se detalla la etapa de dimensionamiento del kit eléctrico de potencia y la instalación del inversor de CC a CA trifásica, así como la campaña experimental para la recolección y procesamiento de datos, para concluir con el análisis de la eficiencia del inversor.



3.2 Selección del Vehículo

3.2.1 Motocicleta Vespa

La motocicleta de estudio seleccionada fue la Vespa LML Star Deluxe, año 2001, de procedencia india, clasificada como un scooter clásico con diseño retro; es conocida por su economía de combustible y bajas emisiones. Dispone de varias motorizaciones de combustión interna, tanto de 4 como de 2 tiempos, en cilindradas de 125, 150 y 200 cc. Existen versiones con transmisión automática y manual. Posee un chasis compacto en el cual se alojan sus diversos componentes, entre ellos el motor, que a su vez aloja el soporte del neumático posterior.



Figura 16. *Vespa Lml Star*

(Autoría propia)

3.2.2 Especificaciones Técnicas

Los parámetros que se muestran en la tabla 4 son una recopilación de las especificaciones que ofrece el fabricante en el manual de usuario. Es necesario considerar que dichos valores son teóricos y pueden variar de los datos reales, dependiendo de las condiciones externas y modos de conducción.

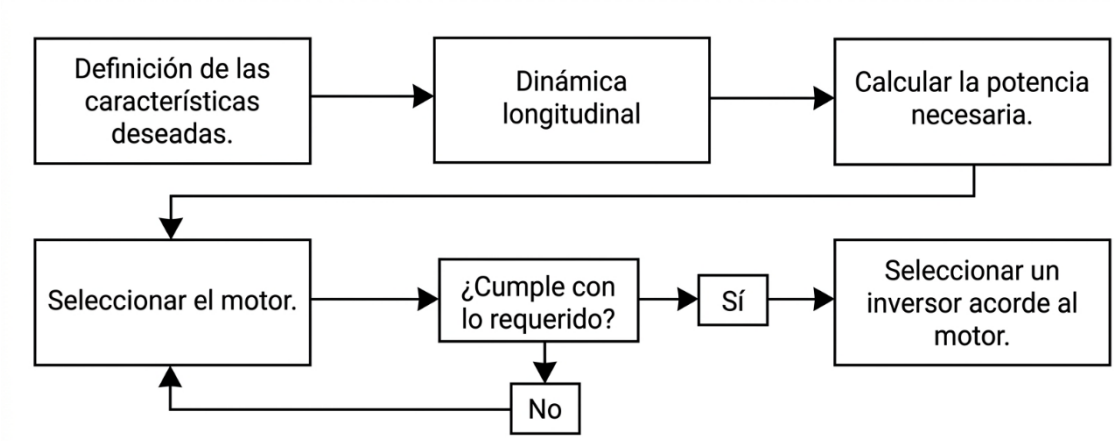
Tabla 4. *Especificaciones técnicas del vehículo*

Característica	Parámetro	Unidad
Modelo	Vespa Lml Star 150 E	-
Año	2001	-
Peso	110	kg
Largo – Ancho – Alto	1.76 – 0,69 – 1.11	m
Capacidad de pasajeros	2	-
Tipo de motor	Motor 2 tiempos	-
Tipo de combustible	Mezcla Gasolina - Aceite	-
Cilindrada	150	cc
Potencia	6 a 5500	kW a rpm
Par máximo	11,2 a 5000	Nm a rpm
Velocidad máxima	90	km / h
Capacidad del tanque	8	l
Consumo	3 / 100	l / km
Pendiente Max superable	40 por 100	m

(Vespa Lml Star, 2001)

3.3 Dimensionamiento del Inversor para el Kit Eléctrico de Potencia

Para el correcto dimensionamiento del kit de propulsión eléctrico, se necesitó seguir un proceso metódico mediante la evaluación de las características propias de la motocicleta, así como, las características deseadas una vez finalizada la conversión; además, se analizaron las fuerzas de resistencia que afectan al movimiento. A continuación, se detalló el proceso a seguir.



3.3.1 Características Deseadas

Para el presente proyecto, la tecnología que se implementó para el motor eléctrico es de CA trifásica, debido a su gran eficiencia y a que servirá de base para posteriores estudios, pues, esta tecnología es implementada en la mayoría de los vehículos eléctricos en la actualidad. En cuanto al rendimiento, se desea alcanzar una velocidad de 100 km/h y una autonomía de 80 km por carga. Debido a que con estas características la motocicleta puede desempeñarse de una manera correcta y satisfacer las necesidades básicas de transporte en la zona urbana y rural de la ciudad de Ibarra, como se estableció en la definición de la ruta de ensayo, apartado 3.5.

3.3.2 Dinámica Longitudinal

El análisis de dinámica longitudinal proporciona mediante cálculos la fuerza necesaria que la motocicleta debe vencer para alcanzar la velocidad deseada. Dicho cálculo se lo realizará empleando las ecuaciones de dinámica longitudinal del apartado 2.5.2. Para aplicar las fórmulas, se realizará una recopilación de los parámetros necesarios basados en la forma y características del vehículo, así como de las condiciones propias del entorno

en el cual se realizarán las pruebas de ensayo; dichos parámetros y magnitudes se detallan en la sección 4.1.

3.3.3 Seleccionar del motor eléctrico y el inversor.

Una vez calculada la potencia necesaria, se puede proceder a la selección del motor, tomando en cuenta que este debe ser un motor de CA trifásico. Mediante la búsqueda de diferentes fabricantes, se evaluarán los motores disponibles en el mercado y se seleccionarán los más aptos para el proceso de conversión de la motocicleta, tomando en cuenta parámetros fundamentales como el torque, revoluciones, corriente y tensión necesaria para su funcionamiento.

Una vez definido el motor eléctrico que se utilizará, se procederá a la selección del conjunto inversor, mismo que deberá poseer una etapa inversora trifásica de CC a CA con una arquitectura que coincida con el motor y además pueda gestionar el control de este.

3.4 Condiciones de Instalación del Inversor

3.4.1 Definición del Espacio Físico en la Motocicleta para el Inversor

Tomando en cuenta las consideraciones importantes mencionadas anteriormente, se define que la zona óptima para ubicar el inversor es en la parte posterior de motocicleta, debajo del asiento del piloto, en el antiguo alojamiento del tanque de combustible. Para lo cual se debe desmontar el tanque de combustible y adaptar el espacio para el inversor. En este lugar se tendrá una zona ventilada, libre de agua y humedad, cercana al motor y de fácil acceso en caso de necesitar manipular el elemento. Adicionalmente, la longitud del cableado trifásico de alta tensión al motor será muy corta.

3.4.2 Requerimientos de Seguridad y Normativa

La integración del sistema de potencia empezó con la definición de criterios para el uso de los conductores eléctricos, separando de manera rigurosa los circuitos de alta y baja tensión con el fin de proteger tanto al equipo como al usuario. En el sistema de alta tensión que conecta la batería, el inversor y el motor, se emplean cables con aislamiento reforzado y una sección transversal adecuada, capaz de soportar las corrientes nominales y transitorias sin comprometer los límites térmicos. En contraste, el cableado de baja tensión se reserva para la lógica de control, las señales de los sensores y el sistema de iluminación, utilizando conductores de menor calibre. Esta diferenciación asegura el cumplimiento de las normas de seguridad vehicular y reduce el riesgo de incidentes eléctricos.

3.4.2.1 Requerimientos para Alta tensión

El cableado necesario para transmitir una corriente de 72 V y máximo 100 A según la normativa estadounidense NEC (National Electrical Code) establece que, para un amperaje de 65 A es necesario un cable 6 AWG, sin embargo, por el factor de seguridad que debe ser del 125%, se recomienda usar el cable 4 AWG de cobre con un área de la sección transversal de 21,15 mm^2 mismo que se detalla en la figura 17. Este cable se utilizará para el positivo y negativo de la batería, como para las tres fases de CA.

Tamaño nominal	Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)						Tamaño nominal
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
mm²	TIPOS TW* TWD* CCE TWD-UV	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS, THWN*, XHHW*, TT	TIPOS RHH*, RHW-2,THHN*, THHW*, THHW-LS, THW-2*, XHHW*, XHHW-2,	TIPOS UF*	TIPOS RHW*, XHHW*, BM-AL	TIPOS RHW-2, XHHW, XHHW-2, DRS	AWGkcmil
	Cobre			Aluminio			
0,8235	---	---	14	---	---	---	18
1,307	---	---	18	---	---	---	16
2,082	20*	20*	25*	---	---	---	14
3,307	25*	25*	30*	---	---	---	12
5,26	30	35*	40*	---	---	---	10
8,367	40	50	55	---	---	---	8
13,3	55	65	75	40	50	60	6
21,15	70	85	95	55	65	75	4
26,67	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,41	110	130	150	85	100	115	1

Figura 17. *Capacidad de conducción de corriente permisible de conductores aislados de 0 a 2000 V nominales.*

(National Electrical Code).

Para las conexiones de los cables se utilizarán terminales de compresión de cobre de ¼ prensadas al conductor, como se muestra en la figura 18, que posteriormente se atornillarán a los terminales del inversor.



Figura 18. *Cable 4 AWG con terminal de compresión de 1/4.*

(Autoría propia)

3.4.2.2 Requerimientos para Baja tensión

Los circuitos de baja tensión se manejan a una tensión de 12 V y una corriente máxima de 5 A, tomando en cuenta que el sistema de iluminación utiliza tecnología LED, la cual se caracteriza por tener un consumo energético reducido. Para este nivel de tensión, se

seleccionó cableado calibre 16 AWG, de acuerdo con el estándar SAE J1128, que establece los requisitos para conductores utilizados en sistemas eléctricos vehiculares con tensiones nominales de hasta 60 V DC, así como los criterios de ensayo mecánico y eléctrico correspondientes[55]. En cuanto a los instrumentos de control y los sistemas de comunicación, se emplea el cableado original provisto por el fabricante, asegurando la compatibilidad eléctrica, la confiabilidad en la operación y el cumplimiento de las especificaciones técnicas del sistema.

3.5 Definición de la Ruta de Ensayo

En esta sección se detalla aspectos clave con los cuales se definió la ruta de ensayo para el análisis de eficiencia del inversor de la motocicleta del presente estudio. Estas características permiten asegurar la validación y repetitividad de los datos obtenidos en ruta. A continuación, se proporciona información específica sobre la ruta completa y particularidades de cada uno de los tramos delimitados.

3.5.1 Características de la Ruta de Ensayo

Para evaluar la eficiencia, se usó la ruta propuesta por Paillacho y Tequis en [56], seleccionada por estar diseñada específicamente para vehículos eléctricos. Sin embargo, el recorrido fue ajustado para convertirlo en un circuito cerrado, para poder asegurar que el balance energético potencial sea nulo, es decir, que la energía consumida en los ascensos sea compensada con la energía no consumida en los descensos, fijando como punto de inicio el sitio donde se llevaron a cabo las modificaciones estructurales y las transformaciones del vehículo. Además, la ruta se dividió en tres tramos: Autopista, rural y urbano.

La segmentación de la ruta se da para realizar un análisis más detallado de los diferentes modos de conducción que la vía y el tráfico característico de cada tramo demandan, conociendo que en la autopista se adoptara un modo de conducción agresivo de alta demanda con bruscas aceleraciones en ascensos pronunciados y paradas prolongadas por la presencia de semáforos, mientras que en el entorno urbano se genera un modo de conducción menos demandante por las bajas velocidades de circulación y tráfico intenso, finalmente el tramo rural demanda una aceleración más moderada y constante caracterizada por las reducidas variaciones en la velocidad promedio y las nulas paradas en cero por la carencia de semáforos o tráfico abundante.

3.6 Selección de los Equipos Registradores

Para el análisis de eficiencia del inversor, es importante conocer el diagrama de flujo de la potencia eléctrica que se desea medir considerando que se tendrá dos puntos de interés. El primero es entre la batería y el inversor, donde se registró la potencia eléctrica de entrada, medida en CC y el segundo punto de interés es entre el inversor y el motor, donde se analizó la potencia eléctrica de salida de CA trifásica, como se muestra en la figura 19.



Figura 19. *Anatomía de una motocicleta eléctrica.*

Autoría Propia (2026).

3.6.1 Registrador de la Potencia Eléctrica de Entrada

Considerando que a la entrada del inversor se tiene una CC que proviene de la batería, se necesitó utilizar el data logger en base a Arduino uno que se creó en simultáneo para el proyecto de titulación sobre el análisis de eficiencia de un motor eléctrico (Picuasi y Ramos, 2026), que es capaz de medir y almacenar los datos de tensión y corriente segundo a segundo para posteriormente calcular la potencia eléctrica de entrada al inversor.

Como base del registrador se utilizará un Arduino Uno figura 20, que es una placa con el microcontrolador ATmega328P, que permitirá evaluar variables físicas mediante periféricos de entrada y, posteriormente, entregará como salidas los datos registrados en formato VCS para el análisis requerido de la potencia eléctrica de entrada al inversor.



Figura 20. Arduino UNO.

Arduino store (2020).

Los periféricos de entrada necesarios son, el sensor de corriente de la marca Allegro modelo ACS758, capaz de medir una intensidad de CC de hasta 150 A, y un circuito divisor de voltaje para 84 V, que es la tensión máxima de la batería cuando se encuentra cargada al 100 %. Adicionalmente, el equipo se encuentra programado mediante Arduino para registrar los datos a una frecuencia de 1 s.

3.6.2 Registrador de la Potencia Eléctrica de Salida

La potencia de salida CA trifásica que entrega el inversor al motor se mide mediante el uso de un analizador de calidad de energía trifásico, que ayudará a obtener datos precisos y registrarlos a una frecuencia de muestreo de 1s.

El equipo Metrel Power Q4 plus, es un analizador de calidad de energía que se utiliza para realizar auditorías completas en sistemas eléctricos trifásicos y monofásicos. Este equipo mide parámetros como potencia, armónicos, transitorios y eventos de tensión.



Figura 21. *Metrel Power Q4 plus.*

Metrel.es (2024).

El equipo dispone de 3 pinzas amperimétricas para medir la corriente trifásica, así como 4 terminales que miden la tensión eléctrica con un negativo compartido, como se muestra en la sección 3.7.2. Con estos datos, el equipo realiza el cálculo de la potencia eléctrica trifásica AC a la frecuencia de muestreo requerida. Los datos se recopilarán mediante el software Power View incorporado por el fabricante.

3.6.3 GL770 GPS Logger

El GL770 es un registrador de datos GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) que utiliza tecnología GPS y GLONASS para registrar rutas y localizaciones. Es un dispositivo portátil de gran capacidad para evaluar y almacenar datos;su frecuencia es de 5 Hz, adecuada para altas velocidades, y su batería es recargable. Se lo utilizo

principalmente para medir la distancia, velocidad, tiempo y altitud, con una frecuencia de 1 s, así como para validar la ruta de ensayo y la toma de datos en ruta.



Figura 22. *Gl770 Gps.*

Transystem 770 (2023).

3.7 Instrumentación

Por medio de la instrumentación de los equipos registradores seleccionados para el presente proyecto de investigación, se busca transformar el fenómeno físico de la electricidad en magnitudes físicas calibradas y verificables, mismas que se recolectaron en forma de datos en formato VSC para el posterior procesado y análisis. El proceso fue crucial para la investigación, pues los datos recolectados deben ser confiables, verificables y precisos para un correcto análisis; en esta sección se detallaron los pasos necesarios para obtener los datos requeridos.

La magnitud física de interés es la potencia eléctrica que se mide en kW tanto a la entrada como a la salida del inversor, para realizar el posterior análisis de eficiencia del elemento en condiciones reales de funcionamiento.

3.7.1 Potencia Eléctrica de Entrada al Inversor

La potencia eléctrica de CC entregada por la batería al inversor, fue calculada mediante el equipo de medición basado en Arduino que medirá la tensión y la corriente. El equipo

se encuentra previamente calibrado para medir hasta 84 V a 100 A y recopilar los datos a una frecuencia de muestreo de 1 s en formato CSV.

3.7.1.1 Conexión.

El equipo posee 2 terminales provenientes del divisor de voltaje identificados como B+ y B- específicos para medir la tensión eléctrica, se conectan en paralelo a los pines positivo y negativo respectivamente que llegan al inversor desde la batería.

La corriente se mide a través del sensor Allegro modelo ACS758 que posee dos terminales para medir el amperaje, estos pines denominados por el fabricante IP+ e IP- se deben conectar en serie en la línea positiva que va desde la batería al inversor, siendo el pin IP+ el que va conectado en dirección de la batería e IP- que va en dirección al inversor.

La conexión a la entrada del inversor se detalla en la figura 23, mediante un esquema básico.

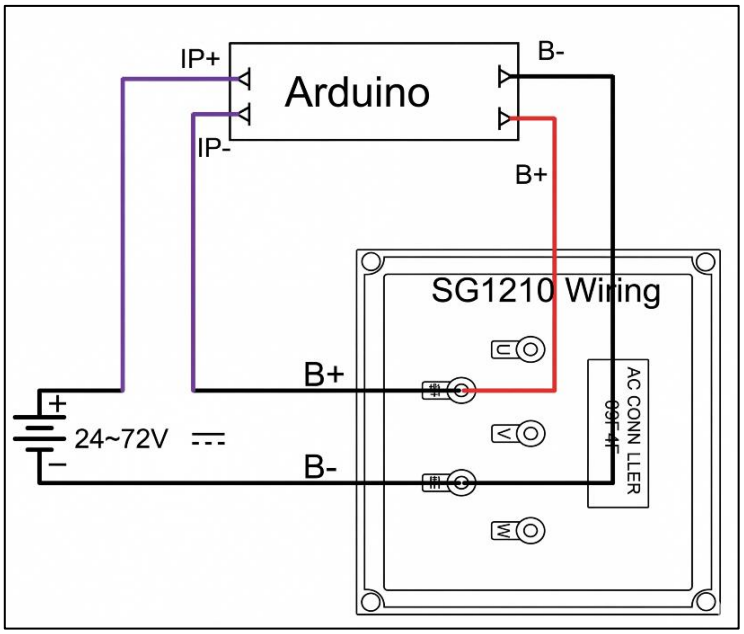


Figura 23. *Esquema de conexión a la entrada del inversor.*

(Autoría propia).

3.7.1.2 Configuración.

El equipo se encuentra previamente configurado mediante el código de Arduino, con una frecuencia de muestreo de 1 s que almacenará datos de tensión en V y corriente en A. El equipo puede medir una tensión máxima de 84 V, y mínima de 64 V, mientras que la corriente puede ser censada hasta un máximo de 100 A. El código de programación se detalla en el anexo 1.

3.7.1.3 Calibración.

Para corroborar que los datos censados por el equipo son reales y tienen un margen de error máximo del 4%, se utilizó un multímetro para comparar la tensión y una pinza amperimétrica para la corriente.

Una vez realizadas mediciones con el motor sometido a bajas y altas revoluciones, se analizan los datos tanto del equipo de Arduino, como de los equipos auxiliares para la comparación de magnitudes y se concluye que la corriente está dentro del rango permisible de error. Sin embargo, la tensión tiene un error de aproximadamente el 10%, con lo que requiere de una recalibración desde el código. Una vez modificado el código, se realizan nuevamente las pruebas, obteniendo los datos detallados en la tabla 5.

Tabla 5. *Calibración del equipo registrador para la potencia de entrada.*

Magnitud	**Arduino**		**Pinza amperimétrica / Multímetro**	
	1000 (rpm)	4000 (rpm)	1000 (rpm)	4000 (rpm)
Tensión [V]	84	84	84,5	84,5
Corriente [A]	7,5	40,1	7,2	39,3

3.7.2 Potencia Eléctrica de Salida del Inversor

La potencia eléctrica CA trifásica a la salida del inversor se la medirá mediante el uso del equipo Metrel Power Q4 Plus, mismo que es capaz de analizar redes trifásicas y recopilar

datos con un equipo portátil, ideal para pruebas en ruta. Se calculará la potencia efectiva en A, a 1s de frecuencia.

3.7.2.1 Conexión.

La conexión es relativamente básica, pues se deben conectar las tres pinzas amperimétricas, a cada una de las salidas del inversor, así como también los terminales que miden la tensión. Es importante mencionar que las pinzas I1, I2 e I3 deben ir con su respectivo terminal de tensión T1, T2 y T3 según las especificaciones del fabricante. El terminal de negativo no es necesario conectarlo, ya que el equipo calculará la tensión entre fases. La conexión se detalla en la figura 24.

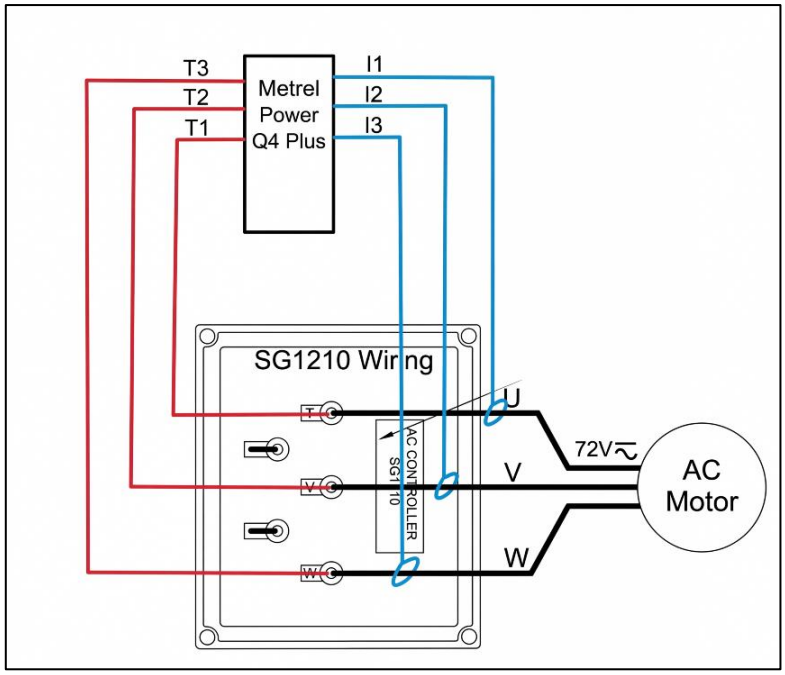


Figura 24. *Esquema de conexión a la salida del inversor.*

(Autoría propia).

3.7.2.2 Configuración.

Para la configuración es necesario ir al menú y activar la selección automática de pinzas y el equipo detectará las pinzas modelo Smart Clap, con una conexión tipo H3;

adicionalmente,se configurará la frecuencia de muestreo a 1 s y que almacene únicamente datos de potencia efectiva.

3.7.2.3 Calibración.

El equipo se encuentra previamente calibrado y homologado, por lo cual se puede estar seguros de la veracidad de los datos que se muestran en pantalla y posteriormente recopilados.

3.8 Adquisición de Datos en Ruta

La adquisición de datos en ruta es un paso vital en el presente proyecto, pues constituye el pilar fundamental para el análisis de la eficiencia del inversor. Con la validación de la ruta, que agrupa zonas y condiciones muy características del sector, así como la instrumentación, configuración y calibración de los equipos, forman parte de un proceso metódico robusto que generará una toma de datos confiables y precisos para un correcto análisis.

3.8.1 Pruebas Piloto

Previo al levantamiento de datos definitivo, se realizó una prueba piloto en la cual se busca detectar y confirmar la integridad de la cadena de medición, así como también la correcta fijación de los sensores, la autonomía de los equipos registradores y la existencia de ruido electromagnético que pueda afectar a las mediciones tomadas en ruta producto de las condiciones de tráfico real.

Este ensayo se lo realizo en un tramo corto de autopista por la E35 y el centro de la ciudad de Ibarra, con una distancia total de 10 km y una duración de 20 minutos, como se detalla en la figura 25.

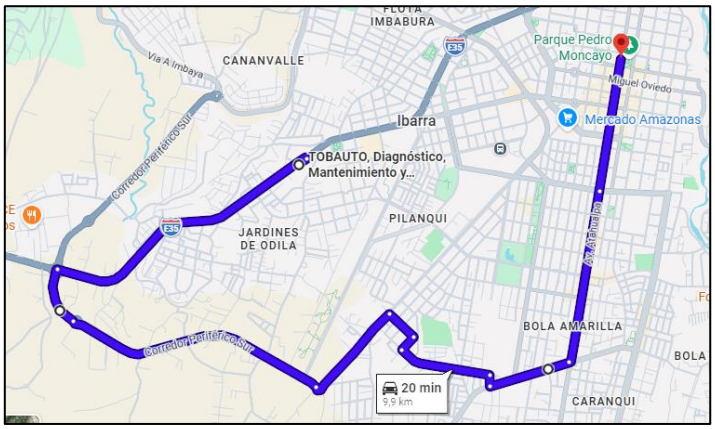


Figura 25. Ruta para la prueba piloto.

(Autoría propia).

3.8.2 Análisis de la Prueba Piloto

La prueba piloto arrojó muy buenos resultados debido a la inexistencia de ruido electromagnético en los datos recopilados, así como la integridad y legitimidad de los mismos; de igual manera, se observó que los equipos se encuentran ubicados de manera estratégica para la correcta toma de datos durante todo el recorrido. Sin embargo, existen dos factores a resaltar: primero, que el equipo Arduino tiene una capacidad limitada de almacenamiento y en ocasiones tiende a perder la capacidad de recopilar los datos; es por eso que, se adaptó un led indicador que muestre el correcto funcionamiento del registrador y, adicionalmente, se tomó la decisión de recopilar y extraer los datos una vez terminado cada tramo de la ruta. Segundo, se observaron algunos valores fuera de rango generados por golpes generados por la calzada en la motocicleta, generalmente en el tramo urbano; estos datos se los tratará mediante un proceso de interpolación lineal en la etapa de procesamiento y depuración de datos.

3.8.3 Levantamiento de Datos en Ruta

Con las consideraciones anteriormente mencionadas, se procede al levantamiento de datos en ruta, reiterando que, una vez terminado cada tramo, se extraerán y verificarán los datos registrados tanto por el Arduino como por el Metrel y se reanudará la toma de datos del siguiente tramo. Además, se realizará una única toma de datos en la ruta definida, pues con la validación de la ruta, se asegura que los datos obtenidos se deben a las características propias de la ruta y no a agentes alternos como tráfico fortuito o condiciones climatológicas adversas.

3.9 Procesamiento de Datos

Los datos obtenidos en la memoria SD del Arduino, en el analizador de energía Metrel Power Q4 Plus y el GL770 GPS Logger se almacenan en un formato archivo (CSV), un formato fácil de procesar. Se usará el software específico de cada fabricante para la observación de los distintos registros. Posteriormente, se exportaron las diferentes bases de datos a Microsoft Excel para el manejo, depurado y análisis de datos.

3.10 Extracción de Datos

La etapa de extracción de datos inició con la instalación del software específico de cada uno de los equipos registradores. A continuación, se procede con la conexión de forma física de los equipos a la estación de trabajo, permitiendo la previsualización y descarga de archivos en el formato de origen.

3.10.1 Extracción de Datos de Potencia de Entrada

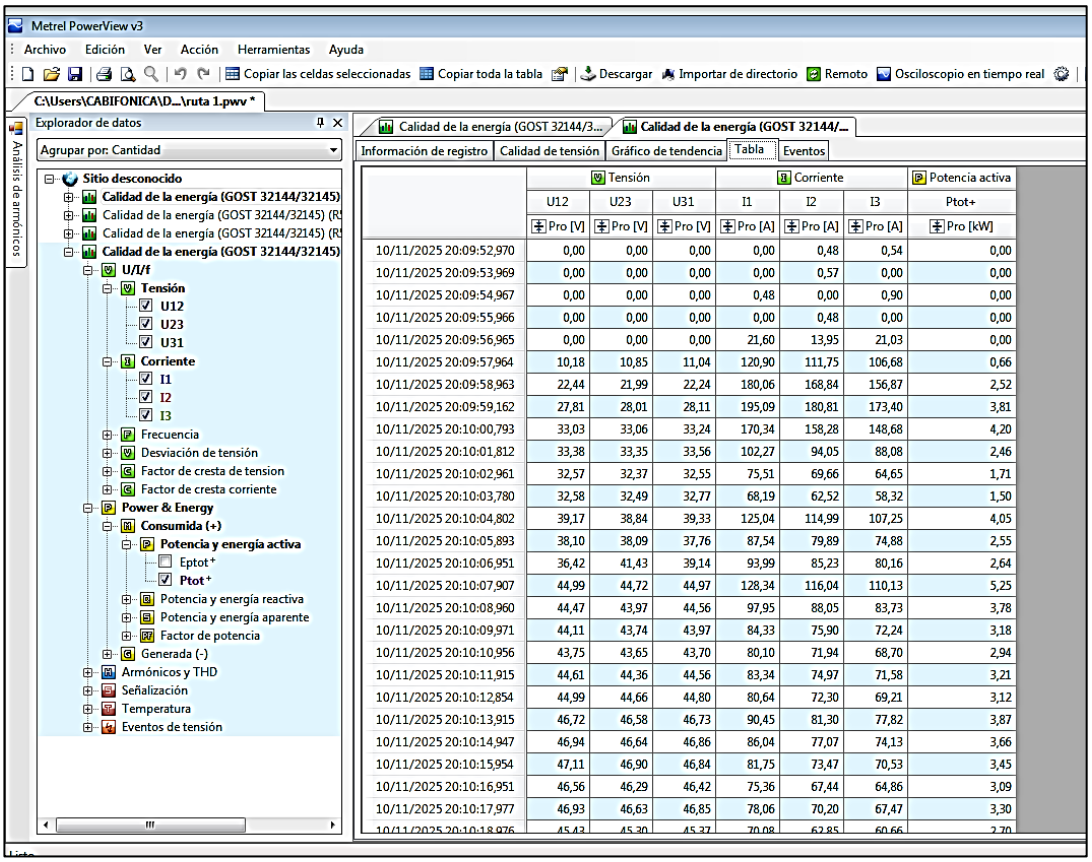
La extracción de datos de potencia de entrada se realizó mediante la conexión directa de la memoria SD del Arduino al computador, misma que almacena los registros de tensión y corriente de los ensayos realizados en ruta, en formato (CSV). Consecutivamente, se exportaron los registros a (.xlsx) como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. *Datos de potencia de entrada en formato(.xlsx)*

Tiempo (s)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia (kW)
1	0.00	85.36	0
2	0.00	84.9	0
3	0.00	84.9	0
4	0.92	84.9	0.78
5	3.49	84.9	2.96
6	6.61	84.9	5.61
7	2.53	84.9	2.15
8	4.72	84.9	4.01
9	1.57	84.9	1.33
10	4.19	84.9	3.56
11	5.15	84.9	4.37
12	2.04	84.9	1.73
13	3.99	84.9	3.39
14	4.13	84.9	3.51
15	2.04	84.9	1.73

3.10.2 Extracción de Datos de Potencia de Salida

El proceso de adquisición de datos de potencia de salida inició con la instalación del software Metrel PowerView. Consecutivamente, se estableció la conexión física del analizador de energía Metrel Power Q4 Plus al computador; se usó un cable de datos con interfaz USB tipo B en el extremo del analizador de energía y USB tipo A del lado de la PC. Esta configuración permite el reconocimiento del equipo y la extracción de valores de corriente y voltaje de cada una de las fases y de la potencia de salida segundo a segundo. Finalmente, los datos almacenados se observaron en la interfaz nativa del software, como se muestra en la figura 26, y se exportaron en formato (CSV). Para facilitar el manejo y filtrado de datos, se procedió a la conversión a archivos (.xlsx).



	Tensión			Corriente			Potencia activa
	U12	U23	U31	I1	I2	I3	Ptot+
	Pro [V]	Pro [V]	Pro [V]	Pro [A]	Pro [A]	Pro [A]	Pro [kW]
10/11/2025 20:09:52,970	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,54	0,00
10/11/2025 20:09:53,969	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00	0,00
10/11/2025 20:09:54,967	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,90	0,00
10/11/2025 20:09:55,966	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00
10/11/2025 20:09:56,965	0,00	0,00	0,00	21,60	13,95	21,03	0,00
10/11/2025 20:09:57,964	10,18	10,85	11,04	120,90	111,75	106,68	0,66
10/11/2025 20:09:58,963	22,44	21,99	22,24	180,06	168,84	156,87	2,52
10/11/2025 20:09:59,162	27,81	28,01	28,11	195,09	180,81	173,40	3,81
10/11/2025 20:10:00,793	33,03	33,06	33,24	170,34	158,28	148,68	4,20
10/11/2025 20:10:01,812	33,38	33,35	33,56	102,27	94,05	88,08	2,46
10/11/2025 20:10:02,961	32,57	32,37	32,55	75,51	69,66	64,65	1,71
10/11/2025 20:10:03,780	32,58	32,49	32,77	68,19	62,52	58,32	1,50
10/11/2025 20:10:04,802	39,17	38,84	39,33	125,04	114,99	107,25	4,05
10/11/2025 20:10:05,893	38,10	38,09	37,76	87,54	79,89	74,88	2,55
10/11/2025 20:10:06,951	36,42	41,43	39,14	93,99	85,23	80,16	2,64
10/11/2025 20:10:07,907	44,99	44,72	44,97	128,34	116,04	110,13	5,25
10/11/2025 20:10:08,960	44,47	43,97	44,56	97,95	88,05	83,73	3,78
10/11/2025 20:10:09,971	44,11	43,74	43,97	84,33	75,90	72,24	3,18
10/11/2025 20:10:10,956	43,75	43,65	43,70	80,10	71,94	68,70	2,94
10/11/2025 20:10:11,915	44,61	44,36	44,56	83,34	74,97	71,58	3,21
10/11/2025 20:10:12,854	44,99	44,66	44,80	80,64	72,30	69,21	3,12
10/11/2025 20:10:13,915	46,72	46,58	46,73	90,45	81,30	77,82	3,87
10/11/2025 20:10:14,947	46,94	46,64	46,86	86,04	77,07	74,13	3,66
10/11/2025 20:10:15,954	47,11	46,90	46,84	81,75	73,47	70,53	3,45
10/11/2025 20:10:16,951	46,56	46,29	46,42	75,36	67,44	64,86	3,09
10/11/2025 20:10:17,977	46,93	46,63	46,85	78,06	70,20	67,47	3,30
10/11/2025 20:10:18,976	45,43	45,30	45,37	70,08	62,85	60,66	2,70

Figura 26. *Datos de potencia de entrada en el software Metrel PowerView*

(Autoría propia).

3.10.3 Extracción de Datos Cinemáticos y Geográficos

La extracción de datos de velocidad y altura comenzó con la instalación del software TSI LogView. A continuación, se estableció la conexión física del Datalogger GPS al computador; se usó un cable USB tipo A en ambos extremos. Esta conexión permitió el reconocimiento del equipo y la visualización de los datos almacenados. Finalmente, se exportaron y transformaron los datos a un formato (.xlsx).

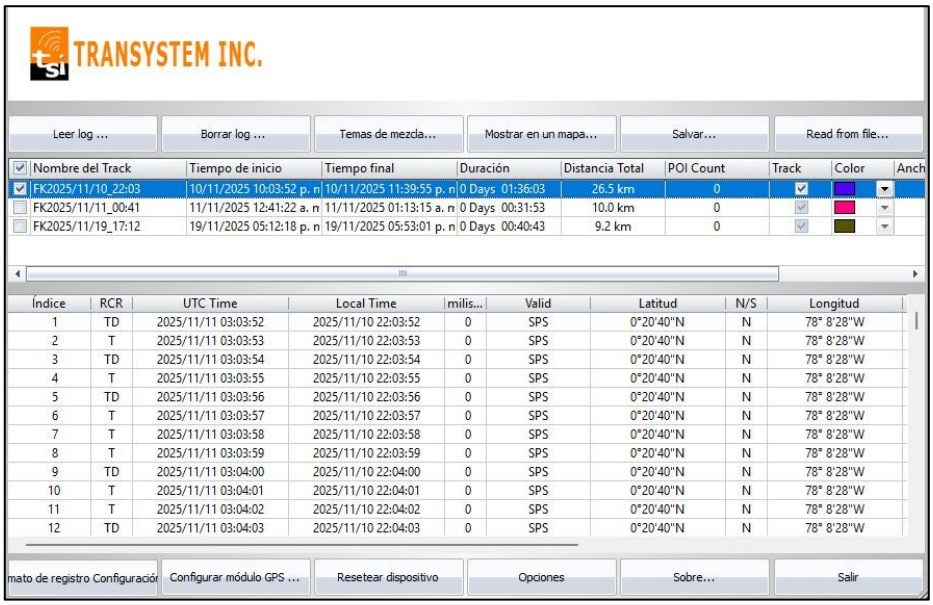


Figura 27. *Datos del data logger GPS.*

(Propia autoría).

3.11 Tabulación de datos.

La tabulación de los datos comenzó con la integración de los registros exportados en formato (CSV) en hojas de trabajo de Microsoft Excel (.xlsx). A partir de ello, se elaboró una tabla de datos en la que se ubicaron de forma ordenada los valores de potencia de entrada y salida junto con los valores de velocidad y altitud. Esta organización hizo posible establecer una estructura de columnas homogénea, optimizando así el manejo de la amplia cantidad de datos recopilados con una frecuencia de muestreo segundo a segundo.

A continuación, se ordenaron los distintos valores obtenidos del Arduino, del analizador de energía Metrel Power Q4 Plus y del GPS Logger en una única tabla principal. Este proceso de integración se realizó utilizando el tiempo como referencia común, asegurando la precisión entre el desempeño energético del sistema y las condiciones geográficas del

trayecto. Finalmente, se obtuvo una base de datos organizada como se muestra en la tabla 7, preparada para las etapas posteriores de depuración y análisis.

Tabla 7. *Integración de datos*

Hora (UTC)	U12 (V)	U23 (V)	U31 (V)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	Pout (kW)	Pin (kW)	V (km/h)
08:10.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:11.9	0	0	0	8.94	10.38	7.5	0	0	0
08:12.9	7.99	8.33	8.67	96.99	90.24	85.77	0.39	0.45	0
08:13.9	15.33	15.52	15.99	110.88	101.76	99.09	0.96	1.1	0.056
08:14.5	8.87	8.82	8.71	37.26	35.37	34.32	0.15	0.17	0.519
08:15.6	19.92	19.37	20.52	100.41	92.43	88.83	1.17	1.36	0.926
08:16.5	17.83	20.54	16.15	66.36	61.23	58.89	0.63	0.73	0.426

3.12 Depuración de datos

Una vez finalizada la tabulación de datos, se procedió con la etapa de depuración de datos, cuyo propósito principal fue asegurar la integridad y exactitud de los valores recolectados. Esta fase se basó en la identificación y manejo de valores atípicos, la eliminación de valores erróneos y la corrección de datos con posibles inconsistencias generadas principalmente por el ruido y las vibraciones durante la ruta. Se hizo énfasis en la sincronización del tiempo para garantizar que los picos de potencia correspondan exactamente con las velocidades y alturas registradas.

Durante el proceso de depuración, se usaron criterios de exclusión de valores para corregir inconsistencias en los registros de datos. Se inició eliminando los valores fuera de rango y las lecturas incongruentes, como valores negativos, picos de magnitud desproporcionales y errores instantáneos de censado. Del mismo modo, para asegurar la continuidad en los registros, se usó una técnica de interpolación lineal, promediando el

dato inmediato superior y el posterior. Esta intervención permitió corregir la falta de información sin alterar la tendencia general de los registros.

3.13 Análisis de Datos

El estudio de los datos comienza con el cálculo de la eficiencia energética (η), la cual se clasifica según el tipo de entorno, permitiendo distinguir tres zonas: urbana, rural y autopista. Para obtener la eficiencia energética, se calculó la relación entre la potencia de salida (Pout) y la potencia de entrada (Pin), multiplicada por cien, para conocer el desempeño del inversor en distintos regímenes de carga y modos de operación. Además, se usó la media aritmética, con el fin de determinar un dato representativo de la eficiencia energética en los diferentes escenarios. El valor promedio agiliza la comparación del funcionamiento del inversor en cada uno de los entornos, permitiendo localizar las situaciones en las que el equipo muestra una mayor o menor eficiencia energética.

A continuación, se llevará a cabo la estimación de la eficiencia global a lo largo de la totalidad del recorrido, con la finalidad de analizar la influencia que ejercen la geografía y las condiciones operativas sobre el rendimiento del inversor. Este estudio contemplará las variaciones en la topografía del trayecto, los cambios en la velocidad de desplazamiento y las fluctuaciones en la demanda de potencia propias de un ciclo de conducción mixto y bajo condiciones de tráfico real, incluyendo eventos como detenciones, aceleraciones y desaceleraciones características del entorno vial. La determinación de un valor de eficiencia total permitirá comprender el comportamiento del inversor en circunstancias de uso cotidiano, así como comparar su desempeño bajo distintos escenarios de trabajo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos durante la investigación, que permiten una comparación e interpretación de los datos de potencia registrados por Arduino, el analizador de energía Metrel Power Q4 Plus y el GL770 GPS Logger en la motocicleta. El estudio inició con un dimensionamiento detallado de la dinámica longitudinal de la motocicleta convertida y sus requerimientos, que abarca tanto la potencia del motor requerida para mover la motocicleta como el inversor para controlar el funcionamiento del motor.

A continuación, se adecuó el espacio e instaló el inversor en el chasis de la motocicleta, considerando la orientación de las aspas para aprovechar la circulación de aire y su enfriamiento. Del mismo modo, se dispusieron las conexiones eléctricas para facilitar el acople de los diferentes equipos de medición. Consecutivamente, se realizó la conexión de los equipos necesarios, donde se registró tanto la potencia de entrada como la de salida, con el objetivo de evaluar la eficiencia y el comportamiento en diversas condiciones. Posteriormente, se obtuvieron los datos de potencia para cada tramo de la ruta, registrando el suministro de la batería y la salida del inversor. Finalmente, se analizaron y compararon los resultados entre las distintas secciones del trayecto.

4.1 Dimensionamiento del Inversor

El dimensionamiento del inversor se lo realizó mediante el proceso metodológico detallado en la sección 3.3 donde se definen la serie de pasos y métodos a seguir. Una vez definidas las características deseadas en la motocicleta, sección 3.3.1, se realizaron los

cálculos de dinámica longitudinal para encontrar la potencia necesaria que debe generar el motor; posteriormente, se seleccionó un inversor adecuado para el motor eléctrico requerido.

4.1.1 Cálculos de Dinámica Longitudinal

Para el cálculo de dinámica longitudinal, mediante un proceso de recopilación, se adjuntaron magnitudes referenciales a las características de la zona de estudio para aplicar en las diferentes ecuaciones; esta recopilación se la detalla a continuación en la tabla 8.

Tabla 8. *Parámetros establecidos para el dimensionamiento*

	Parámetro	**Unidad**
Densidad del aire	0,915	kg / m^3
Coeficiente de resistencia aerodinámica	0,7	-
Área frontal	0,48	m^2
Velocidad	27.7	m / s
Angulo de inclinación	0.57	°
Coeficiente de fricción a la rodadura	0,012	-
Masa	200kg	kg
Gravedad	9,8	m / s^2
Aceleración	1	m / s^2

4.1.1.1 Cálculo de la Fuerza de Resistencia Aerodinámica (Fa).

Para el cálculo se recopiló el valor de la densidad del aire y del coeficiente aerodinámico de la tabla 8, así como la velocidad máxima deseada expresada en m/s y el cálculo del área frontal presentado a continuación en la figura 28, realizado en el software especializado SolidWorks para el diseño, mediante una fotografía base tomada de la parte frontal de la motocicleta con su conductor a bordo.

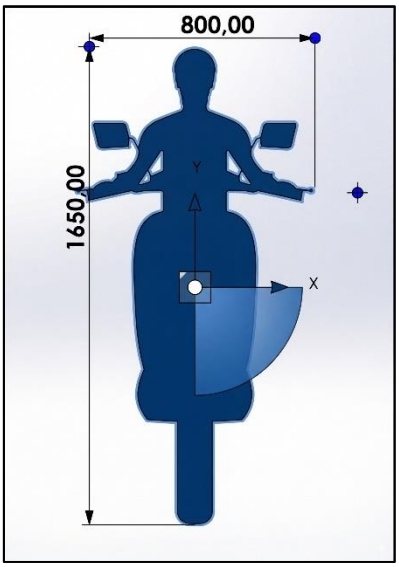


Figura 28. *Solid Works*

(Autoría propia).

Se aplicaron los parámetros antes mencionados en la ecuación número 2 para encontrar la fuerza de resistencia aerodinámica; se utilizó la velocidad máxima establecida de 100 km/h.

$$Fa = \frac{1}{2}\rho * Cx * Af * V^2$$

$$Fa = \frac{1}{2}\left(0{,}915\ \frac{kg}{m^3}\right) * (0{,}7) * (0{,}48m^2) * (27.7\ \frac{m}{s})^2$$

$$Fa = \ 117{,}9\ \frac{kg * m}{s^2}$$

$$Fa = \ 117{,}9\ N$$

4.1.1.2 Cálculo de la Fuerza de Resistencia a la Rodadura (Frr).

Previamente al cálculo de (Frr) se consideró que, la velocidad máxima que se plantea alcanzar será en una vía con una pendiente mínima; por lo tanto, el cálculo se realizó con un ángulo de inclinación del 1%, indicando que por cada 100 m de largo de la vía existirá un aumento en la altura de 1 m.

Transformando el valor de la pendiente de porcentaje a grados con la ecuación número 9 presentada a continuación:

$$\alpha = Tan^{-1}(\frac{Porcentaje\ de\ inclinacion\ de\ la\ via}{100}) \qquad \text{Ecuación 9}$$

$$\alpha = Tan^{-1}(\frac{1\%}{100})$$

$$\alpha = 0{,}57\ °$$

Aplicando los parámetros obtenidos en la ecuación número 3.

$$Frr = Cos(\alpha) * frr * m * g$$

$$Frr = Cos(0{,}57\ °) * (0{,}012) * (200kg) * (9{,}8\frac{m}{s^2})$$

$$Frr = 23{,}5\ N$$

4.1.1.3 Cálculo de la Fuerza de Resistencia a la Aceleración de Masas (Fm).

La ecuación número 4 permite encontrar la fuerza generada al variar la aceleración del vehículo, sea esta positiva cuando se acelera o negativa cuando se desacelera.

$$Fm = m * a$$

$$Fm = 200kg * 1\frac{m}{s^2}$$

$$Fm = 200N$$

Cabe mencionar que esta fuerza varía dependiendo de los cambios de aceleración que genere la motocicleta y, en específico, el valor de 200 N es una referencia para conocer la fuerza necesaria para salir del reposo y que en un segundo la motocicleta recorra 1 m, que se podría considerar un arranque normal en condiciones de tráfico real.

Entendiendo que cuando la motocicleta se encuentra en movimiento, la resultante de esta fuerza será menor y con la condición de que para alcanzar los 100 km/h se realizó con

una aceleración constante, se consideró que la fuerza por aceleración de masas es despreciable en estas determinadas condiciones.

4.1.1.4 Cálculo de la Fuerza de Resistencia a la Pendiente (Fp).

Considerando que la pendiente requerida es de 0,57° se aplica los parámetros en la ecuación número 5 para conocer la resistencia al avance generada por la pendiente.

$$Fp = Sin(\alpha) * m * g$$

$$Fp = Sin(0{,}57) * (200kg) * (9{,}8\frac{m}{s^2})$$

$$Fp = 19{,}5\ N$$

4.1.1.5 Cálculo de la Fuerza Total de Resistencia (Ft).

Despreciando la (Fm) generada por la aceleración progresiva planteada para las pruebas posteriores, se calcula la fuerza total (Ft) con la ecuación número 1.

$$FT = Fa + Frr + Fm + Fp$$

$$FT = (117{,}9\ N) + (23{,}5\ N) + (0\ N) + (19{,}5\ N)$$

$$FT = 160{,}9\ N$$

4.1.1.6 Cálculo de la Potencia Mecánica Necesaria (Pn).

Conociendo la resistencia total al movimiento, se calcula la potencia mecánica necesaria aplicando la ecuación 10, donde (Ft) se expresa en N y la velocidad en m/s.

$$Pn = Ft * V \qquad \text{Ecuación 10}$$

$$Pn = (160{,}9\ N) * (27.7\frac{m}{s})$$

$$Pn = 4458{,}2\ W$$

$$Pn = 4{,}45\ kW$$

La potencia mecánica necesaria que el motor debe generar en la rueda es de 4,45 kW para cumplir con los requerimientos específicos.

4.1.2 Selección del Motor

Con las condiciones generales que establecen que el motor seleccionado debe ser trifásico de corriente alterna, y que a la rueda proporcione una potencia máxima de 4,1 kW para poder alcanzar una velocidad de 100 km/h, se procedió a la búsqueda de motores, evaluando características clave como la potencia, voltaje de alimentación, torque y velocidad máxima en rpm.

De la búsqueda de motores disponibles que se comercializan para motocicletas, tricimotos o autos de golf. Existen varias opciones que varían sus características, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 9. *Parámetros de los motores seleccionados*

CARACTERÍSTICA	PARÁMETRO	UNIDAD
Potencia	3 / 4 / 5	kW
Voltaje	48 / 60 / 72	V
Torque max	10 / 12 / 12,7	Nm
Velocidad max	5000 / 6000	rpm

Para calcular la potencia en la rueda (P_{rueda}) en kW se aplicó la ecuación 11 conociendo que el torque (τ) se expresa en N y la velocidad (V) en rpm. Para lo cual se debe conocer la velocidad y el torque máximo transmitido del motor a la rueda.

$$p_{rueda} = \frac{\tau * V}{9550} \qquad \text{Ecuación 11}$$

4.1.2.1 Relación de Transmisión.

Conociendo que el diseño del sistema de transmisión es mediante cadena, como se ilustra en la figura 29.

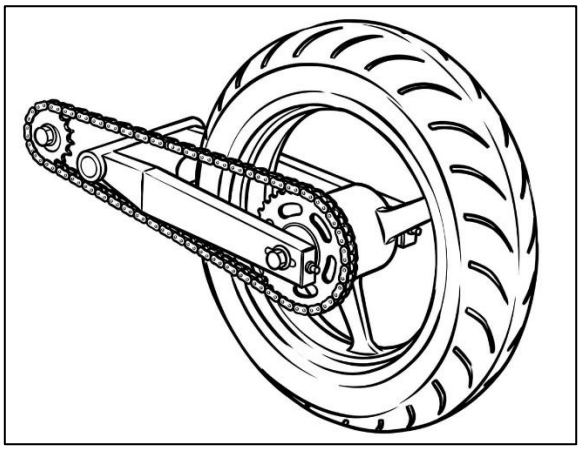


Figura 29. *Transmisión de una motocicleta*

(Autoría propia).

La relación de transmisión entre engranajes se determinó en la ecuación número 12, como la relación entre el número de dientes de la rueda conducida ($Z_{conducido}$)y el número de dientes de la rueda motriz (Z_{motriz}).

Conociendo que el engrane del motor posee 14 dientes y el engrane de la rueda 41 se calcula la relación de transmisión entre engranajes.

$$Rt_{engranes} = \frac{Z_{conducido}}{Z_{motriz}} \qquad \text{Ecuación 12}$$

$$Rt_{engranes} = \frac{41}{14}$$

$$Rt_{engranes} = 2{,}93$$

Para conocer la relación de transmisión entre el diámetro del engranaje del conducido y la rueda, se aplica la ecuación 13.

$$Rt_{diametros} = \frac{D_{motriz}}{D_{conducida}} \qquad \text{Ecuación 13}$$

$$Rt_{diametros} = = \frac{18}{25{,}4}$$

$$Rt_{diametros} = 0{,}70$$

4.1.2.2 Cálculo de la Velocidad y Torque Necesario.

Después de varios procesos de iteración, utilizando los valores de la tabla 9, se define que la velocidad máxima que debe proporcionar el motor es de 6000 rpm con un torque máximo de 12,7 Nm.

La velocidad de la rueda se calcula dividiendo la V en rpm por la relación de transmisión entre engranajes. Remplazando los parámetros en la ecuación número 14 se obtiene que:

$$V_{rueda} = \frac{V}{Rt_{engranajes}} \qquad \text{Ecuación 14}$$

$$V_{rueda} = \frac{6000\ rpm}{2{,}9}$$

$$V_{rueda} = 2069\ [rpm]$$

Aplicando la ecuación 15 se obtiene el torque en la rueda.

$$\tau_{rueda} = \tau_{motor} * Rt_{engranajes} * Rt_{diametros} \qquad \text{Ecuación 15}$$

$$\tau_{rueda} = (12{,}7\ Nm) * (2{,}93) * (0{,}7)$$

$$\tau_{rueda} = 26\ Nm$$

4.1.2.3 Potencia Mecánica en la Rueda.

La potencia mecánica entregada por el motor a la rueda después de pasar por la transmisión se calcula con la ecuación 11 como se muestra a continuación.

$$p_{rueda} = \frac{\tau * V}{9550}$$

$$p_{rueda} = \frac{(26\ Nm) * (2069\ rpm)}{9550}$$

$$p_{rueda} = 5{,}6\ kW$$

La potencia máxima entregada por el motor fue mayor a la requerida de 4,45 kW, asegurando que la motocicleta cumpla con los requisitos definidos. Se decidió

sobredimensionar el motor en un 20% aproximadamente, para evitar que el motor funcione a su máxima potencia y esto pueda acortar la vida útil del motor.

Se seleccionó el motor trifásico de la marca china Shinegle con una potencia de 4 kW, un voltaje de 72 V, un par de 12,7 Nm y una velocidad máxima de 6000 rpm.

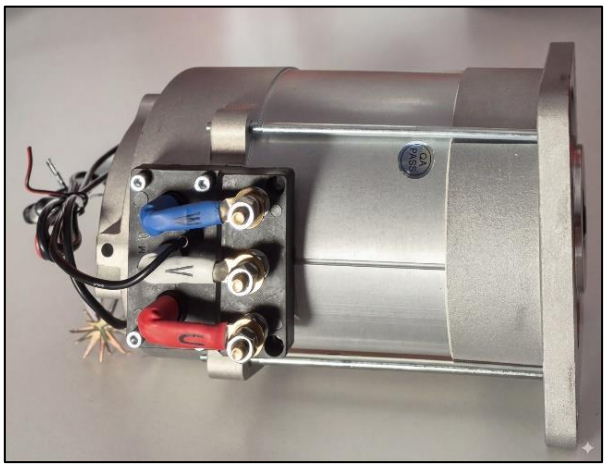


Figura 30. *Motor Shinegle 4[kW]*

(Autoría propia).

4.1.3 Selección del Inversor

Para la selección del inversor se necesitó considerar principalmente que este posea una etapa inversora trifásica para poder transformar la CC de 72 V a CA trifásica, que soporte una potencia nominal de 4 kW y que conste con una etapa de variación de frecuencia compatible con la arquitectura del motor, esto para poder acelerar mediante un periférico, sea de pedal o de acelerador de puño.

Como requerimiento adicional, se busca que la etapa inversora esté compuesta por un arreglo de transistores MOSFET, pues poseen características cruciales para el correcto funcionamiento y máxima eficiencia del componente.

Se seleccionó un controlador del fabricante chino Shinegle, que ofrece un controlador especializado para motores trifásicos, en este caso para una potencia nominal de 4 kW.

El controlador posee la entrada de CC y la salida de CA; además, consta de una entrada para el acelerador y un sistema de diagnosis para leer códigos de error en el funcionamiento del motor, como se ilustra en la figura 31.



Figura 31. *Conjunto inversor Shinegle*

(Autoría propia).

El controlador se encuentra conformado por tres placas de circuito impreso (PCB),(Printed Circuit Board) que cumplen diversas funciones.

La primera PCB es una etapa de procesamiento, Figura 32, en ella se gestionan funciones cruciales como el encendido y apagado, la modulación por ancho de pulso para simular la onda senoidal de la CA, la variación de frecuencia de la onda para acelerar el motor respondiendo a una señal de entrada generada por el acelerador, para cubrir con la demanda de torque y velocidad del usuario, y finalmente la etapa de diagnóstico de fallas.

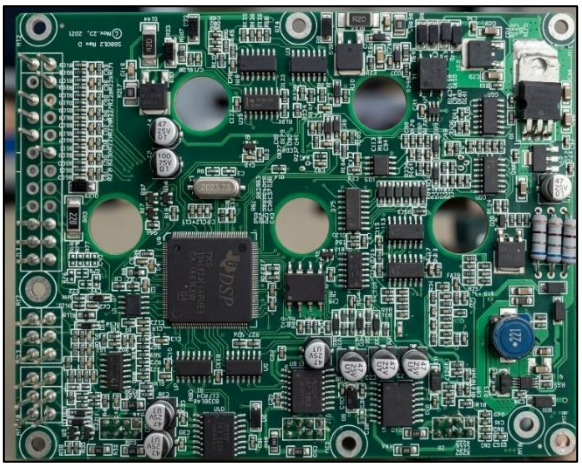


Figura 32. *PCB 1*

(Autoría propia).

La segunda PCB compuesta por un arreglo de condensadores electrolíticos que almacenan la energía y ayudan a filtrar y estabilizar la señal generada, figura 33. De esta manera se consigue una señal más precisa sin ruido.

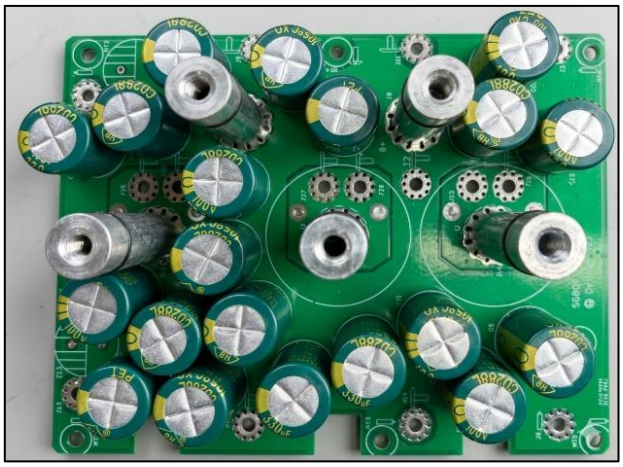


Figura 33. *PCB 2*

(Autoría propia).

La tercera y última PCB, figura 34, es un arreglo de transistores de efecto Campo (MOSFETs), encargados de la conmutación para generar la onda senoidal requerida por el motor para funcionar. Los MOSFET son ideales para esta aplicación, debido a las características que se mencionaron en el apartado 2.4.1.1. Y en esta ocasión se encuentran

aterrizados en una placa de aluminio para disipar el calor generado, pese a que por su construcción son los más eficientes, generando muy pocas pérdidas en forma de calor.

Esta característica de construcción hace que el controlador sea apto para situarse en lugares con poca ventilación y aislados de las condiciones atmosféricas que puedan generar daños como el agua y el polvo.

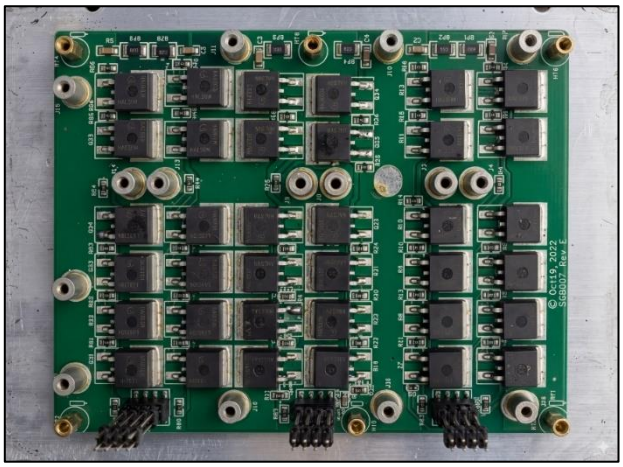


Figura 34. *PCB 3*

(Autoría propia).

4.1.4 Condiciones de Instalación del Inversor en la Motocicleta

Para la instalación del inversor, fue necesario realizar un análisis de las condiciones necesarias para que el elemento trabaje de manera adecuada; principalmente, debe ser una zona libre de agua y humedad; a la vez, debe tener una buena ventilación y se debe analizar la ubicación del motor y batería, que son componentes que van conectados al inversor con una red de alta tensión.

Conociendo que el motor se colocó lo más cerca posible a la rueda posterior, más o menos a la altura del eje posterior de la rueda, sin interferir en el recorrido del amortiguador y la tijera. La batería se decidió ubicar en la parte frontal de la moto con el fin de generar un balance de peso entre la rueda anterior y posterior; todo esto se lo realizó en proyectos de

investigación simultáneos. El inversor debe ubicarse lo más próximo a la batería o al motor, para reducir la longitud de cables de alta tensión.

4.2 Instalación del Inversor a la Motocicleta

Una vez finalizada la etapa metodológica donde se determinó que el inversor seleccionado cumple con los requerimientos de la motocicleta, se procedió a su instalación tanto mecánica como eléctrica. En este apartado se presentan los resultados de dicha implementación, explicando de manera clara el esquema de conexiones de alta tensión asociado a la etapa de potencia, así como las conexiones de baja tensión destinadas a los sistemas de control e iluminación. La ubicación del inversor en el chasis fue definida en la metodología donde se consideraron aspectos prácticos como la adecuada distribución del peso, la disipación del calor y la seguridad mecánica, con el fin de garantizar un funcionamiento adecuada.

4.2.2 Fijación mecánica

Para la fijación mecánica, se soldó al chasis de la motocicleta una estructura sencilla en base a platinas de 2 cm de ancho y 1,5 mm de espesor, con 4 puntos roscados que coinciden con los puntos de apoyo del inversor, los cuales serán atornillados con pernos de rosca M7. Con esto se logra obtener una base fija para el inversor y el espacio necesario para la conexión eléctrica.



Figura 35. *Alojamiento para el inversor.*

(Autoría propia).

4.2.3 Conexión Eléctrica del Inversor

La conexión eléctrica del conjunto inversor y controlador se debe dividir en dos partes: una de alta tensión 72 V y la de baja tensión de hasta 12 V. En la figura 36 se presenta el esquema eléctrico proporcionado por el fabricante para realizar la conexión eléctrica desde la batería hasta el motor junto con todos los periféricos y sensores necesarios para su funcionamiento.

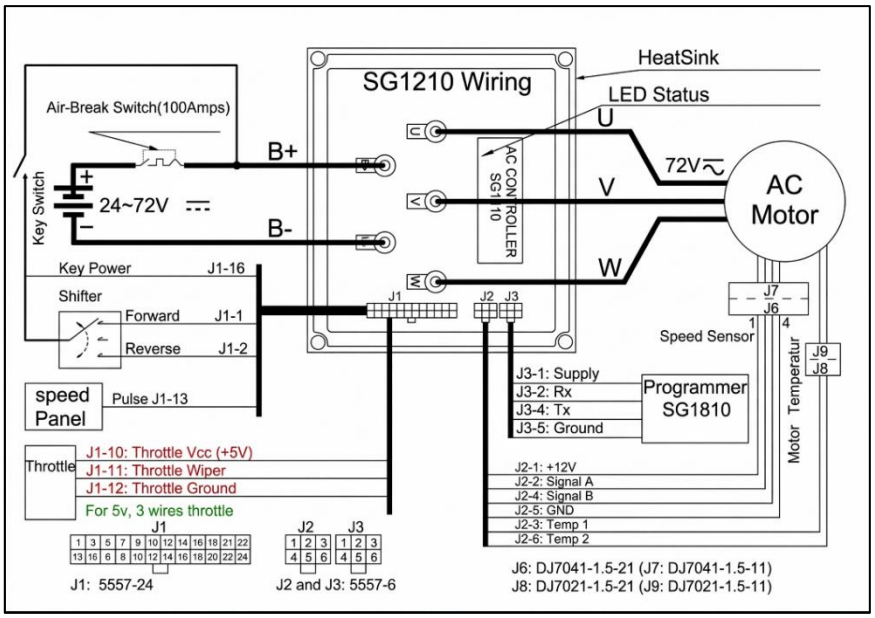


Figura 36. *Diagrama eléctrico.*

(Shinegle).

4.2.4 Conexión Eléctrica de Alta Tensión.

La conexión eléctrica de alta tensión tiene un voltaje nominal de 72 V con una corriente nominal de 65 A y máxima de 100 A proporcionada por la batería en forma de CC hacia el inversor mediante los cables de negativo de batería (B-) y positivo de batería (B+), mismo que posee un interruptor termomagnético como método de seguridad ante posibles sobrecargas o para cortar la corriente. Posteriormente, el inversor entregará al motor eléctrico la CA trifásica mediante los cables de las fases U, V y W, como se muestra en la siguiente figura.

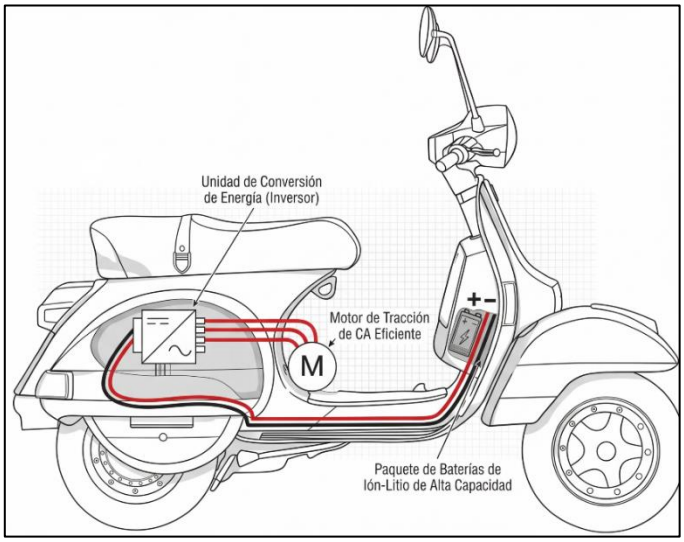


Figura 37. *Esquema cableado de alta tensión.*

(Propia autoría).

4.2.5 Conexión Eléctrica de Baja Tensión.

La conexión eléctrica de baja tensión del conjunto inversor cuenta con un voltaje de entre 0 a 12 V que suministran energía a los sensores de temperatura y velocidad del motor eléctrico, periféricos de control como el acelerador y el selector de marchas, y el interruptor de encendido mediante la llave. Adicionalmente, se tiene una entrada de monitoreo que, mediante el programador Shinegle, ayuda a verificar códigos de error o

variar los valores de funcionamiento del motor mediante la interfaz del programador de la figura 38.



Figura 38. *Programador.*

(Shinegle).

Toda la conexión de baja tensión se encuentra detallada en la figura 36 y esta se la realiza de manera física en la motocicleta mediante la unión de los conectores tipo socket que se encuentran señalados e identificados para evitar fallas de funcionamiento.

4.2.6 Pruebas de Funcionamiento

Una vez montado el inversor en la motocicleta y verificando las conexiones eléctricas de alta y baja tensión, se procede al primer encendido de la motocicleta.

Se verifica el voltaje de batería y posteriormente se enciende la motocicleta con el interruptor de la llave; una vez más se verifica que el voltaje que llega al inversor es el adecuado y se acelera con la motocicleta elevada del suelo. Se verifica que no existan ruidos anormales en el funcionamiento de la motocicleta ni tampoco temperaturas elevadas en los elementos principales y los cableados luego de mantener acelerada la motocicleta a 1500 rpm durante 5 min.

A continuación, se realizó una prueba en ruta en la ciudad de Ibarra, específicamente en la zona urbana, con una duración de 20 minutos aproximadamente y bajo parámetros de tráfico real. Al concluir la prueba, se realizó una revisión técnica de los componentes con el fin de verificar su integridad física y su desempeño térmico. En el transcurso de la revisión se identificó una interrupción mecánica ocasional entre la cadena de transmisión y el chasis de la motocicleta; posteriormente,se modificó esta interferencia realizando las correcciones estructurales correspondientes.

Si se trata específicamente del sistema de potencia, es importante resaltar que el inversor mostró un desempeño estable, sin presentar fallos en el intercambio de datos con los demás componentes del sistema. Sin embargo, se observó un aumento en su temperatura causado por la demanda de corriente. Aunque, este incremento se mantuvo en los rangos de funcionamiento establecidos por el fabricante. Por lo tanto, se encontró que, en escenarios de operación prolongada o en condiciones geográficas más exigentes, la eficiencia energética del equipo podría presentar variaciones. En consecuencia, se concluyó que el sistema es totalmente operativo en su configuración actual, aunque se recomienda considerar, a futuro, la incorporación de un sistema de refrigeración activa que permita disipar el calor generado durante el funcionamiento del inversor.

4.2.7 Conexión de los Equipos Registradores.

Los equipos registradores, tanto de la potencia de entrada como de la potencia de salida, se los conecta en base a los esquemas e indicaciones proporcionadas en la sección 3.7. Una vez que se siguen todos los procesos indicados, para la conexión de los equipos registradores se obtiene el resultado de la figura 39. La instrumentación de los equipos se realizó en los pines del inversor que se encuentra debajo del asiento del piloto, como se

observa en la figura, y los equipos registradores se los posicionará en el asiento a la espalda del piloto. Los cables salen por la separación entre el asiento y la estructura metálica, como se puede verificar en la sección de anexos.

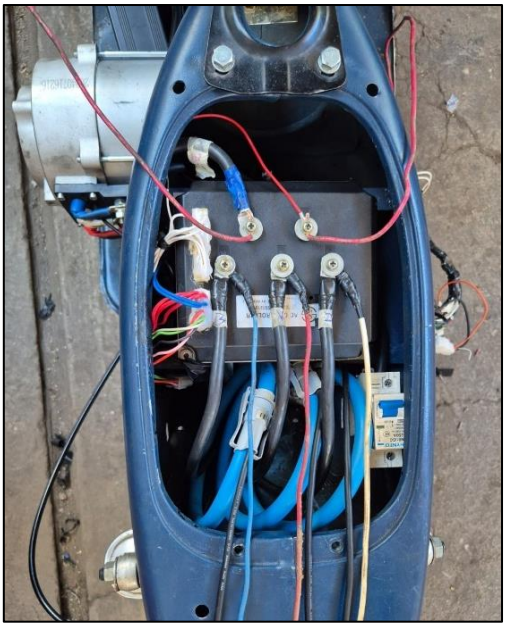


Figura 39. *Conexión de los equipos registradores al inversor.*

(Propia autoría).

4.3 Descripción de la Ruta

La ruta se desarrolla en Ibarra, provincia de Imbabura, con la finalidad de evaluar la eficiencia energética del inversor en ciudades de altura a 2200 msnm. La ruta completa principalmente se caracteriza por ser un circuito cerrado, es decir, inicia y termina en un mismo punto, esto para garantizar un balance energético potencial nulo, permitiendo que el gasto energético excesivo en los ascensos compense el ahorro energético de los descensos [57]. La ruta se dividió en tres tramos claramente delimitados: urbano, rural y autopista. A continuación, se explica la ruta en detalle y los tramos que la comprenden.

4.3.1 Ruta Completa

La ruta completa en la ciudad de Ibarra cuenta con un recorrido total de 24,5 km con una altitud mínima de 2216 msnm en la zona urbana y máxima de 2541 msnm en la zona rural. La prueba inicia y finaliza en el barrio La Florida, en la avenida Mariano Acosta y 5 de Diciembre. Se parte con dirección sur hacia la Panamericana hasta el semáforo de Natabuela para girar con dirección a la carretera antigua, en donde se avanza para poder ingresar por Tanguarín y continuar por la vía El Naranjal. A la altura de la avenida Atahualpa, se gira para retornar por el centro de Ibarra, pasando por el redondel de Ajaví y redondel de la Madre, cerrando el circuito en el punto de partida inicial, como se detalla en la figura 40.



Figura 40. *Ruta completa.*

(Autoría propia)

En los ensayos realizados para la validación de la ruta completa se obtienen los datos mencionados en la tabla 10, reflejando velocidad máxima de 100.9 km/h y una velocidad

promedio de 27.3 km/h reflejando las variaciones de velocidad en cada uno de los tramos debido a las características propias del sector.

Tabla 10. *Características de la ruta completa.*

Ensayo	Duración (min)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)	Altitud máxima (msnm)	Altitud mínima (msnm)
1	71	100,9	28,2	2541	2216
2	74	98,2	26,3		
3	80	89,5	27,4		

4.3.1.1 Eficiencia de la ruta completa

Una vez finalizado el recorrido, se determinó que el inversor alcanzó una eficiencia promedio del 90,07%. Este resultado evidencia el desempeño del equipo frente a las condiciones exigentes del área de estudio, donde la topografía irregular de Ibarra y los constantes cambios de altitud obligan al dispositivo a trabajar bajo cargas variables.

Tabla 11. *Eficiencia ruta completa.*

Potencia de Entrada (kW)	Potencia de Salida (kW)	Eficiencia (%)
4345.732	3914.23	90.07

Los perfiles de la potencia de entrada y salida de la ruta completa se presentan en la figura 41.

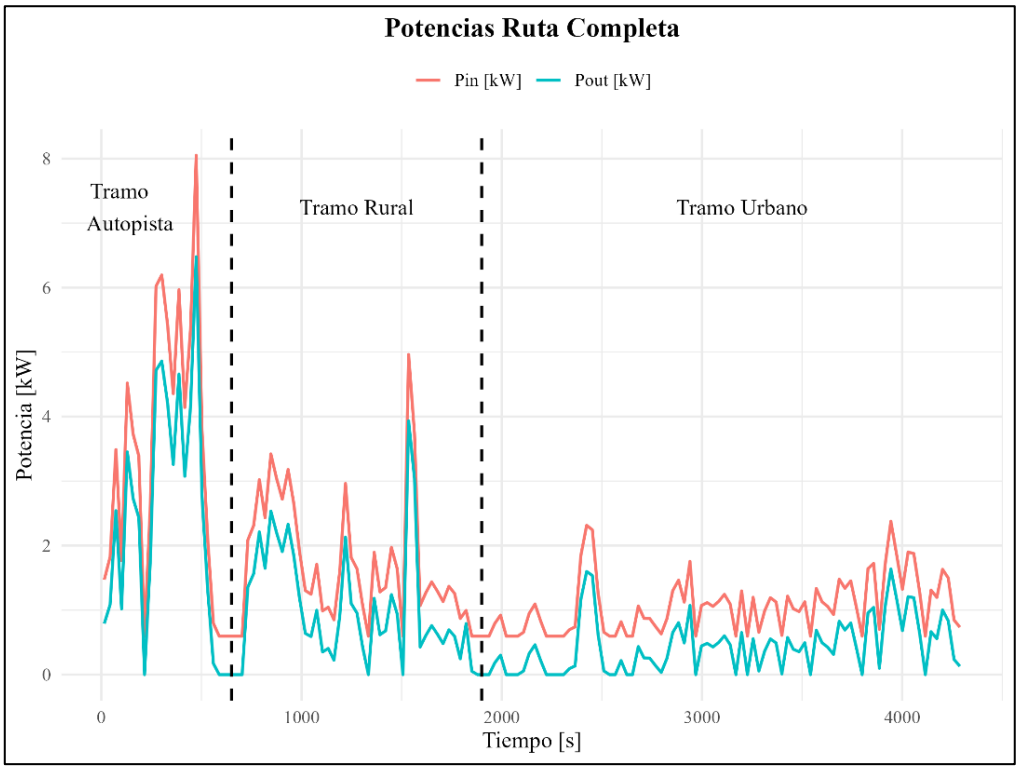


***Figura 41**. Comparativa de potencias en la ruta completa*

(Autoría propia).

4.3.2 Tramo Autopista.

El tramo de autopista comprende desde el inicio Avenida Troncal de la Sierra y 5 de Diciembre hasta el semáforo de Natabuela en la E35, como se muestra en la figura 42 Este tramo tiene una distancia de 7 km, con un tráfico fluido y de alta demanda para el sistema de propulsión, debido a la pendiente positiva de la vía y a la alta velocidad que demanda el flujo vehicular. Presenta pocas paradas de corta duración por la presencia de los semáforos en la autopista.

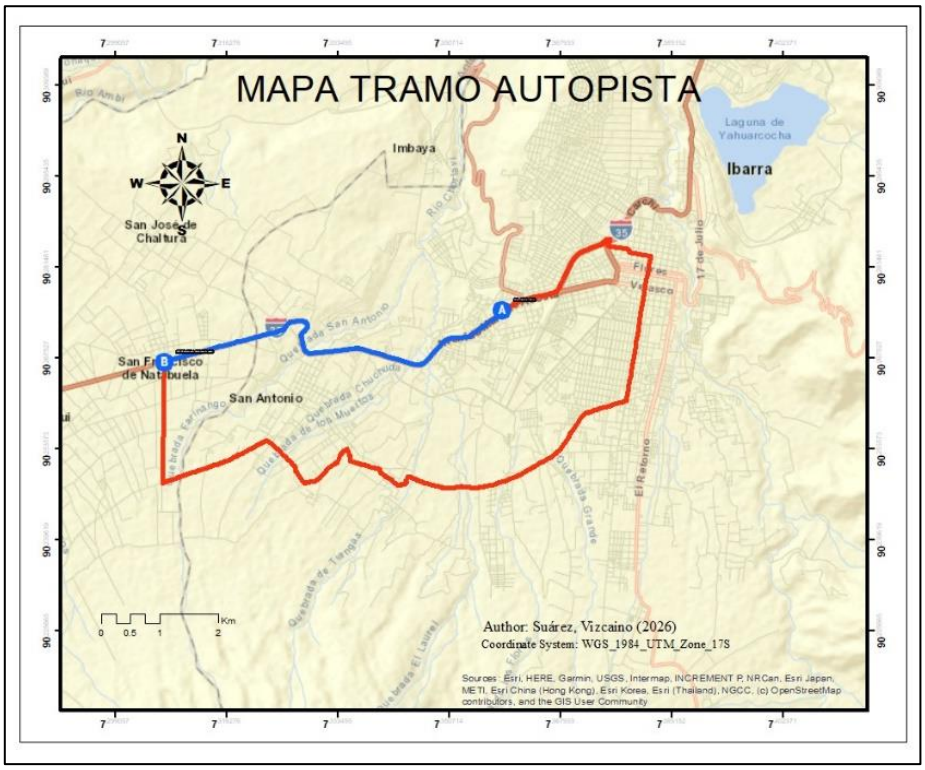


Figura 42. *Tramo autopista.*

(Autoría propia).

El tramo es ideal para analizar la eficiencia del inversor en un modo de manejo exigente y de alta demanda, así como es crucial para evaluar la velocidad máxima que puede alcanzar la motocicleta.

Tabla 12. *Características del tramo de autopista.*

Ensayo	Duración (min)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)	Altitud máxima (msnm)	Altitud mínima (msnm)
1	9	100,9	34,9	2446	2222
2	12	98,2	41,2		
3	13	89,5	38,2		

4.3.2.1 Eficiencia Tramo Autopista

La eficiencia promedio en el tramo de Autopista es la más baja registrada en todo el estudio, debido a que es una zona con alta demanda de velocidad y pendiente pronunciada (ascenso). Donde se encontró una eficiencia del 87.08%.

Tabla 13. *Eficiencia Tramo Autopista.*

Potencia de Entrada (kW)	**Potencia de Salida (kW)**	**Eficiencia (%)**
1827.382	1591.29	87.08

Los perfiles de la potencia de entrada y salida de la sección autopista se presentan en la figura 43.

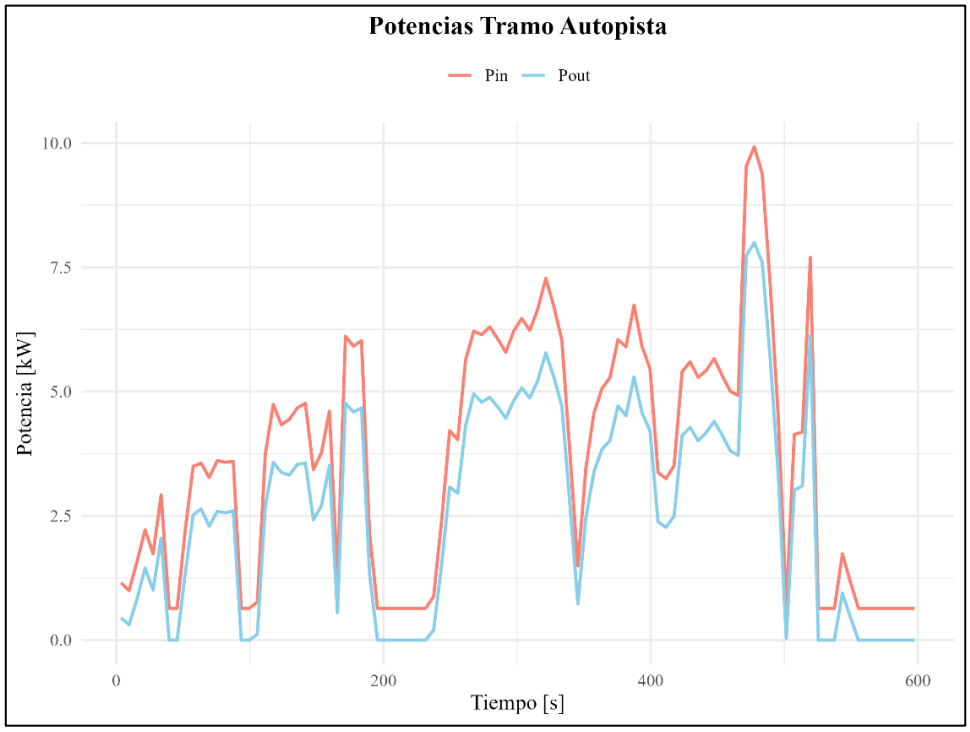


Figura 43. *Comparativa de potencias tramo autopista*

(Autoría propia)

4.3.3 Tramo Rural

El tramo rural inicia una vez que se deja la autopista y termina en el puente del Ejido de Caranqui, como se muestra en la Figura 44, con una distancia de 10 km y una duración promedio de 20.3 minutos. En este tramo se alcanza la altitud máxima de toda la ruta a 2541 msnm.

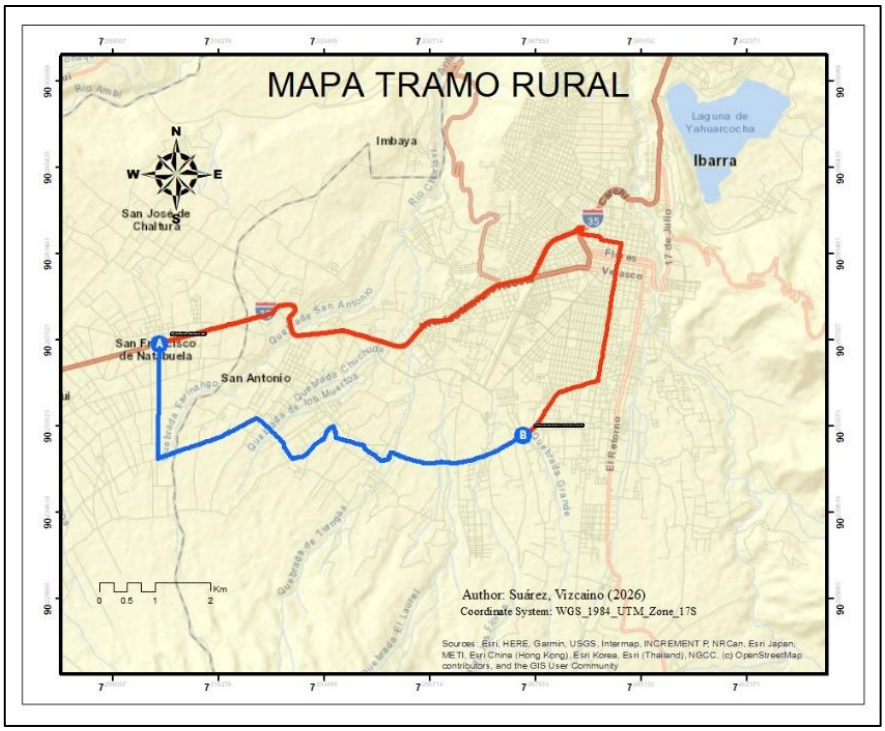


Figura 44. *Tramo rural.*

(Autoría propia).

El tramo rural las detenciones a 0 km/h son nulas por la inexistencia de semáforos, pero las desaceleraciones por la presencia de reductores de velocidad son muy frecuentes. Se alcanzó una velocidad máxima de 91,1 km/h y promedio de 28,9 km/h.

El tramo es crucial para evaluar la eficiencia del inversor en tiempos prolongados de funcionamiento continuo y con variaciones muy frecuentes de velocidad.

Tabla 14. *Características del tramo rural.*

Ensayo	Duración (min)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)	Altitud máxima (msnm)	Altitud mínima (msnm)
1	23	78,4	28,8	2541	2304
2	20	91,1	30,2		
3	18	85,4	27,7		

4.3.3.1 Eficiencia Tramo Rural

El tramo se caracteriza por presentar pendientes positivas y negativas prolongadas, así como por una exigencia moderada al sistema de propulsión eléctrica de la motocicleta, por lo que la eficiencia promedio del inversor alcanza el 91,61%.

Tabla 15. *Eficiencia Tramo Rural.*

Potencia de Entrada (kW)	Potencia de Salida (kW)	Eficiencia (%)
1392.82	1276.065	91.61

Los perfiles de potencia de entrada y salida de la sección rural se presentan en la figura 45.

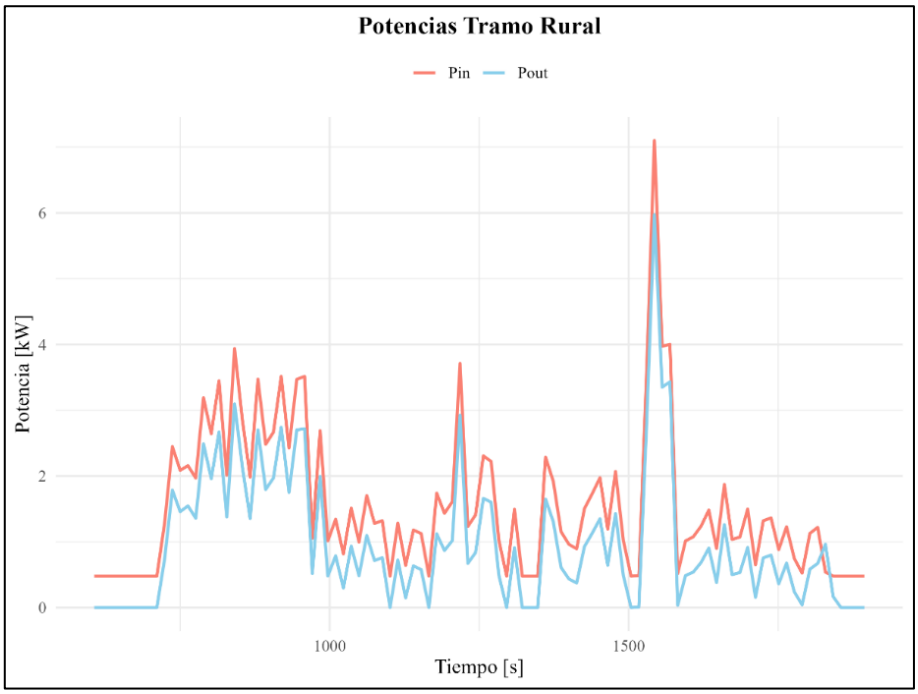


Figura 45. *Comparativa de potencias tramo rural*

(Autoría propia).

4.3.4 Tramo Urbano

El tramo urbano con una distancia de 7,5 km a través de la ciudad de Ibarra se demoró en promedio 42 minutos en ser recorrido, con una velocidad promedio de 12,4 km/h y una velocidad máxima de 50,3 km/h, es la zona de mayor congestión vehicular, marcada por paradas obligatorias en intersecciones, semáforos y embotellamientos; fue el tramo más lento en ser completado.

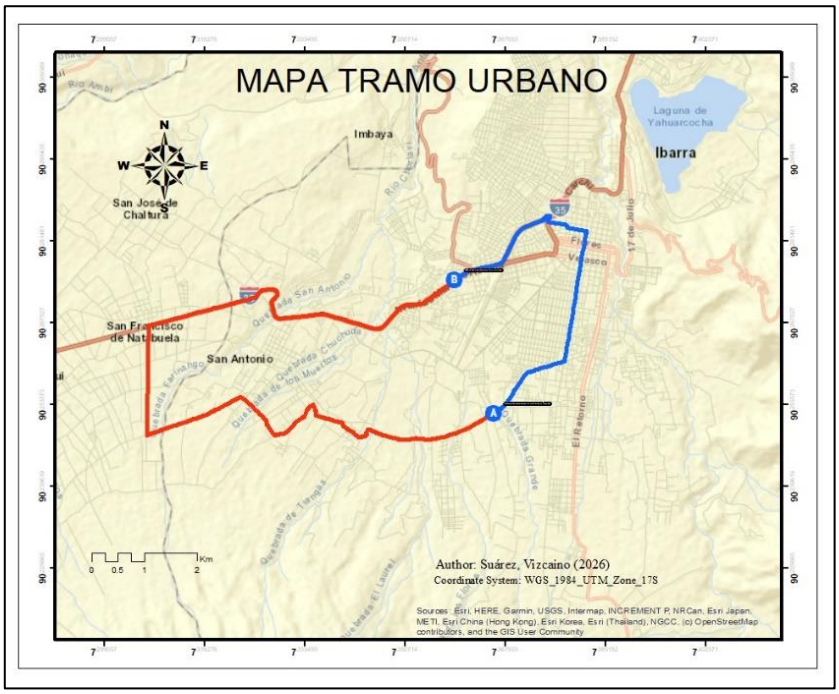


Figura 46. *Tramo urbano.*

(Autoría propia).

El tramo se caracterizó por ser de baja velocidad y por sus prolongadas detenciones a 0 km/h, fue indispensable para verificar la eficiencia del inversor en zonas de baja demanda al sistema, pues las cortas aceleraciones y paradas prolongadas proporcionan tiempo para enfriar y bajar la temperatura del inversor.

Tabla 16. *Características del tramo urbano.*

Ensayo	Duración (min)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)	Altitud máxima (msnm)	Altitud mínima (msnm)
1	43	43,6	10,5	2310	2216
2	51	38,9	12.7		
3	34	50,3	14,2		

4.3.4.1 Eficiencia tramo Urbano.

La eficiencia promedio en este tramo fue del 93.01%. Este valor se asocia a las bajas velocidades de circulación, la alta frecuencia de paradas por semáforos y el tráfico vehicular propio de la zona céntrica de la ciudad, donde existe una menor exigencia al equipo.

Potencia de Entrada (kW)	**Potencia de Salida (kW)**	**Eficiencia (%)**
1125.53	1046.875	93.01

Los perfiles de potencia de entrada y salida de la sección urbana se presentan en la figura 47.

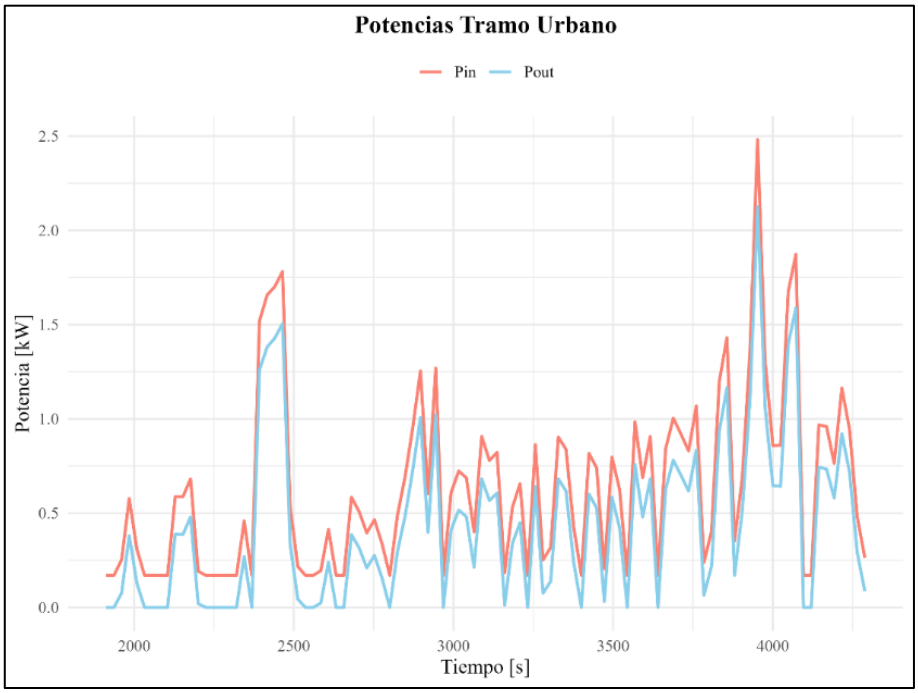


Figura 47. *Comparativa de potencias tramo urbano*

(Autoría propia)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el presente estudio se llevó a cabo una campaña experimental con el propósito de evaluar la eficiencia de un inversor, la misma que se desarrolló en el mes de septiembre en la provincia de Imbabura, en la ciudad de Ibarra, a 2200 msnm y con una presión atmosférica de 78 kPa. Seusó una ruta de aproximadamente 25 km, la cual fue un recorrido mixto (urbano, rural y autopista). El estudio establece que, la integración de un Arduino Uno para medir la potencia de entrada, un Metrel Power Q4 Plus para analizar la potencia de salida y un GL770 GPS Logger para el monitoreo geográfico, favoreció la integración de los valores de potencia con la ubicación en ruta, comprobando que la metodología propuesta resulta eficaz para analizar el comportamiento dinámico del inversor sometido a exigencias de tráfico real.

En condiciones de altura (2200 - 2541 msnm) el inversor mostró un alto desempeño energético, logrando una eficiencia promedio global del 90.07% en la ruta de estudio. Además, es importante mencionar que el equipo se condiciona por el tipo de conducción y por la geografía: la mayor eficiencia se obtuvo en el tramo urbano 93.01%, donde las bajas velocidades de circulación y paradas constantes por el tráfico real contribuyen a una menor exigencia térmica y mecánica.

La comparativa entre los tres tramos permitió determinar que la carga de trabajo afecta inversamente la eficiencia del sistema. La eficiencia más baja, 87.08%, fue registrada en el tramo de autopista donde se exigen altas velocidades, alcanzando los 100.9 (km/h) y

pendientes de ascenso prolongadas. Esta comparación permite determinar que el sistema motriz presenta un mayor nivel de eficiencia durante ciclos de conducción a baja velocidad y con frecuentes detenciones.

5.2. Recomendaciones

- Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el estudio del comportamiento dinámico de una motocicleta haciendo énfasis en el coeficiente de rodadura y el coeficiente aerodinámico, el cual está estrechamente relacionado con la forma de la motocicleta y del conductor, el área frontal y las condiciones del flujo de aire, y cuya influencia se vuelve más significativa a altas velocidades. Es importante considerar que el coeficiente de rodadura no depende únicamente del tipo de superficie de circulación, sino que también se ve afectado por aspectos propios del neumático, como su geometría, la presión de inflado, la temperatura de operación, los materiales de fabricación y el nivel de desgaste.
- Reforzar el montaje del inversor mediante la incorporación de soportes de goma y la inmovilización del cableado. La instalación del inversor sobre bases de caucho resulta crucial para aislar el equipo de las vibraciones propias del chasis o generadas por imperfectos de la carretera, reduciendo así el riesgo de fatiga mecánica en las soldaduras internas y en los componentes electrónicos. Además, es importante asegurar el cableado de alta tensión contra el chasis utilizando amarras plásticas para evitar que el peso y el movimiento de los conductores eléctricos produzcan esfuerzos directos sobre los puntos de entrada de los equipos.

- Implementar un sistema de refrigeración activa mediante la instalación de un ventilador, acoplado directamente al disipador del inversor. Al reducir la temperatura de trabajo, mejora la eficiencia general del sistema y se extiende la vida útil del inversor.
- Establecer un protocolo de verificación del estado de los equipos, pueden ser durante las paradas por semáforos, congestión vehicular o en intervalos de tiempo definidos. Este proceso comprende la verificación de forma visual de que todos los dispositivos de adquisición de datos se encuentren operando, así como comprobar que la autonomía de las baterías y la estabilidad física de cada dispositivo no hayan comprometido el registro de información.

ANEXOS

Anexo 1: Script en R para el Cálculo de la Efiencia

```
library(dplyr)

# Lectura de datos
datos <- Tabulacion_y_depurado_de_datos_1

# Suma de potencia total de salida y entrada
Pout_total <- sum(datos$`Pout[kW]`, na.rm = TRUE)
Pin_total  <- sum(datos$`Pin[kW]`,  na.rm = TRUE)

# Calculó de eficiencia total de la ruta
eficiencia_total <- (Pout_total / Pin_total) * 100


################################################################################

# Cálculo de la eficiencia Tramo Autopista
datos_Autopista <- datos %>%
  slice(1:600)

# Sumar potencias
Pout_Autopista <- sum(datos_Autopista$`Pout[kW]`, na.rm = TRUE)
Pin_Autopista <- sum(datos_Autopista$`Pin[kW]`,  na.rm = TRUE)

# Calcular eficiencia
eficiencia_Autopista <- (Pout_Autopista / Pin_Autopista) * 100
```

```
##############################################################################

# Cálculo de la eficiencia Tramo Rural
datos_Rural<- datos %>%
  slice(600:1900)

# Sumar potencias
Pout_Rural <- sum(datos_Rural$`Pout[kW]`, na.rm = TRUE)
Pin_Rural <- sum(datos_Rural$`Pin[kW]`,  na.rm = TRUE)

# Calcular eficiencia
eficiencia_Rural <- (Pout_Rural / Pin_Rural) * 100

##############################################################################

# Cálculo de la eficiencia Tramo Urbano
datos_Urbano <- datos %>%
  slice(1900:4300)

# Sumar potencias
Pout_Urbano <- sum(datos_Urbano$`Pout[kW]`, na.rm = TRUE)
Pin_Urbano <- sum(datos_Urbano$`Pin[kW]`,  na.rm = TRUE)

# Calcular eficiencia
eficiencia_Urbano <- (Pout_Urbano / Pin_Urbano) * 100
```

```
mostrar_resultados <- function() {
  cat("=== EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA ===\n")
  cat("Potencia de Salida Total: ", round(Pout_total, 3), " kW\n")
  cat("Potencia de Entrada Total:", round(Pin_total, 3), " kW\n")
  cat("Eficiencia Total:        ", round(eficiencia_total, 2), "%\n\n")

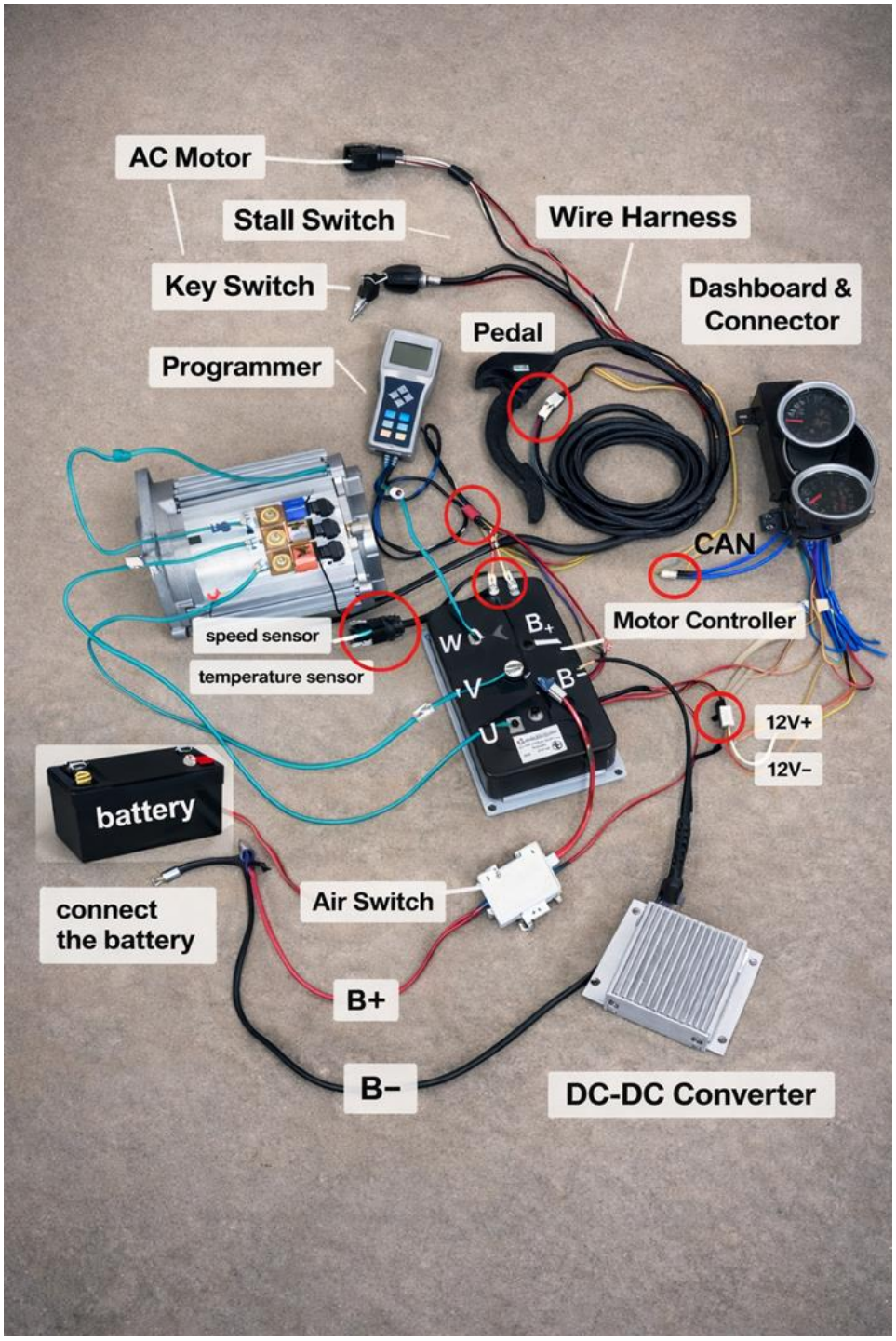
  cat("=== TRAMO AUTOPISTA ===\n")
  cat("Potencia de Salida: ", round(Pout_Autopista, 3), " kW\n")
  cat("Potencia de Entrada:", round(Pin_Autopista, 3), " kW\n")
  cat("Eficiencia:        ", round(eficiencia_Autopista, 2), "%\n\n")

  cat("=== TRAMO RURAL ===\n")
  cat("Potencia de Salida: ", round(Pout_Rural, 3), " kW\n")
  cat("Potencia de Entrada:", round(Pin_Rural, 3), " kW\n")
  cat("Eficiencia:        ", round(eficiencia_Rural, 2), "%\n\n")

  cat("=== TRAMO URBANO ===\n")
  cat("Potencia de Salida: ", round(Pout_Urbano, 3), " kW\n")
  cat("Potencia de Entrada:", round(Pin_Urbano, 3), " kW\n")
  cat("Eficiencia:        ", round(eficiencia_Urbano, 2), "%\n")
}

mostrar_resultados()
```

Anexo 2: Componentes y Conexiones del Sistema Eléctrico



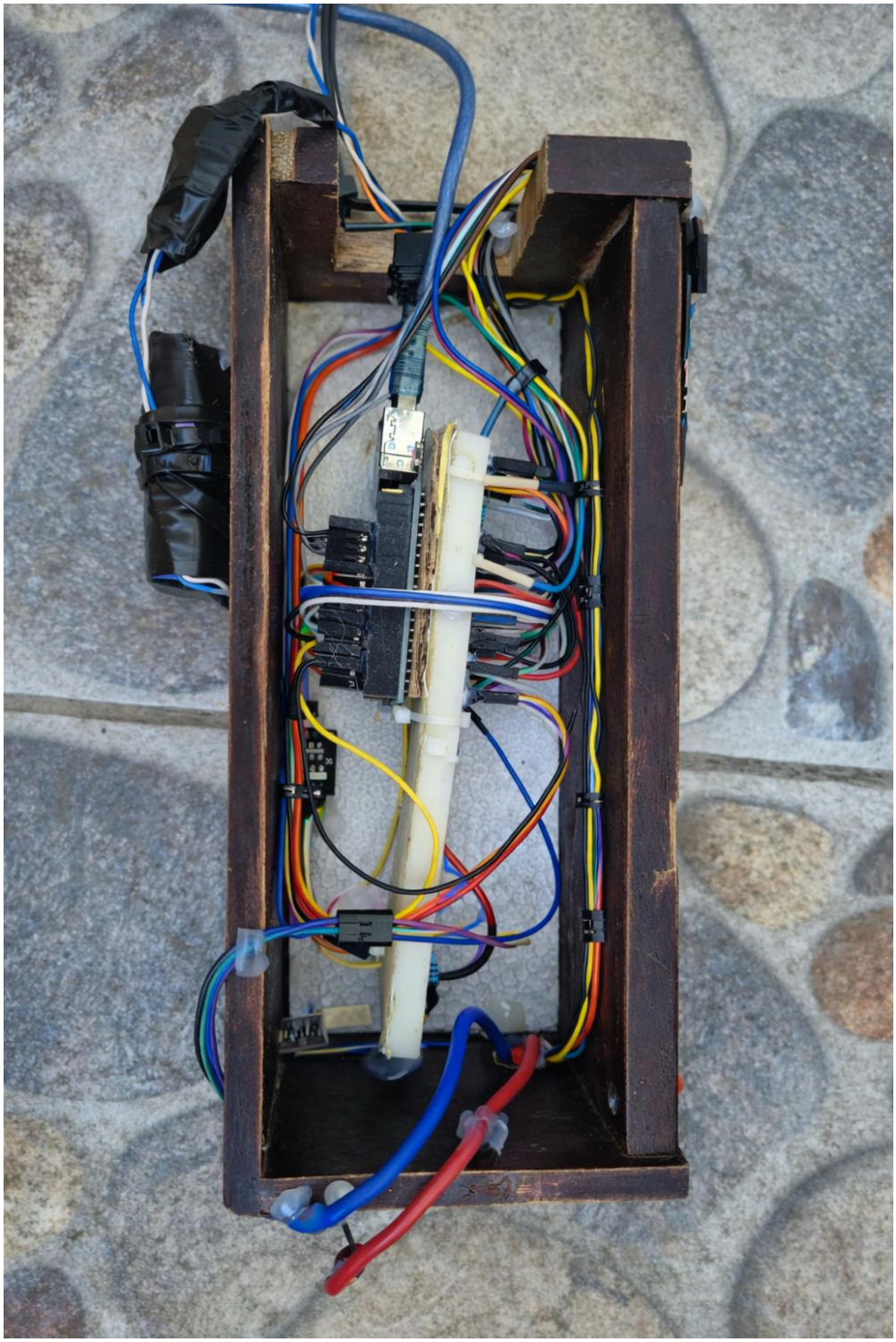
Anexo 3: Especificaciones Tecnicas del Motor



Anexo 4: Analizador de Energía



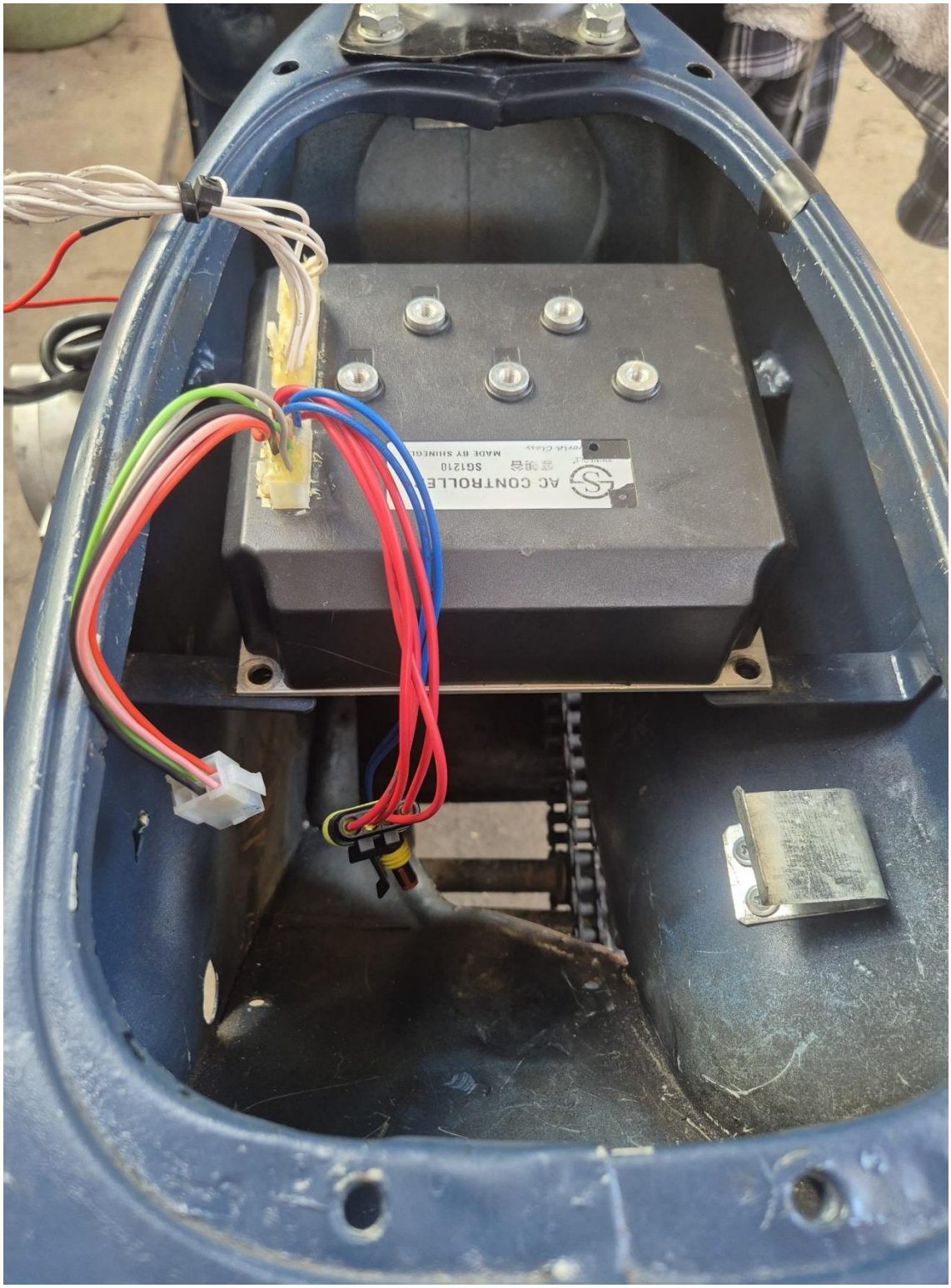
Anexo 5: Data Logger en Base a Arduino uno



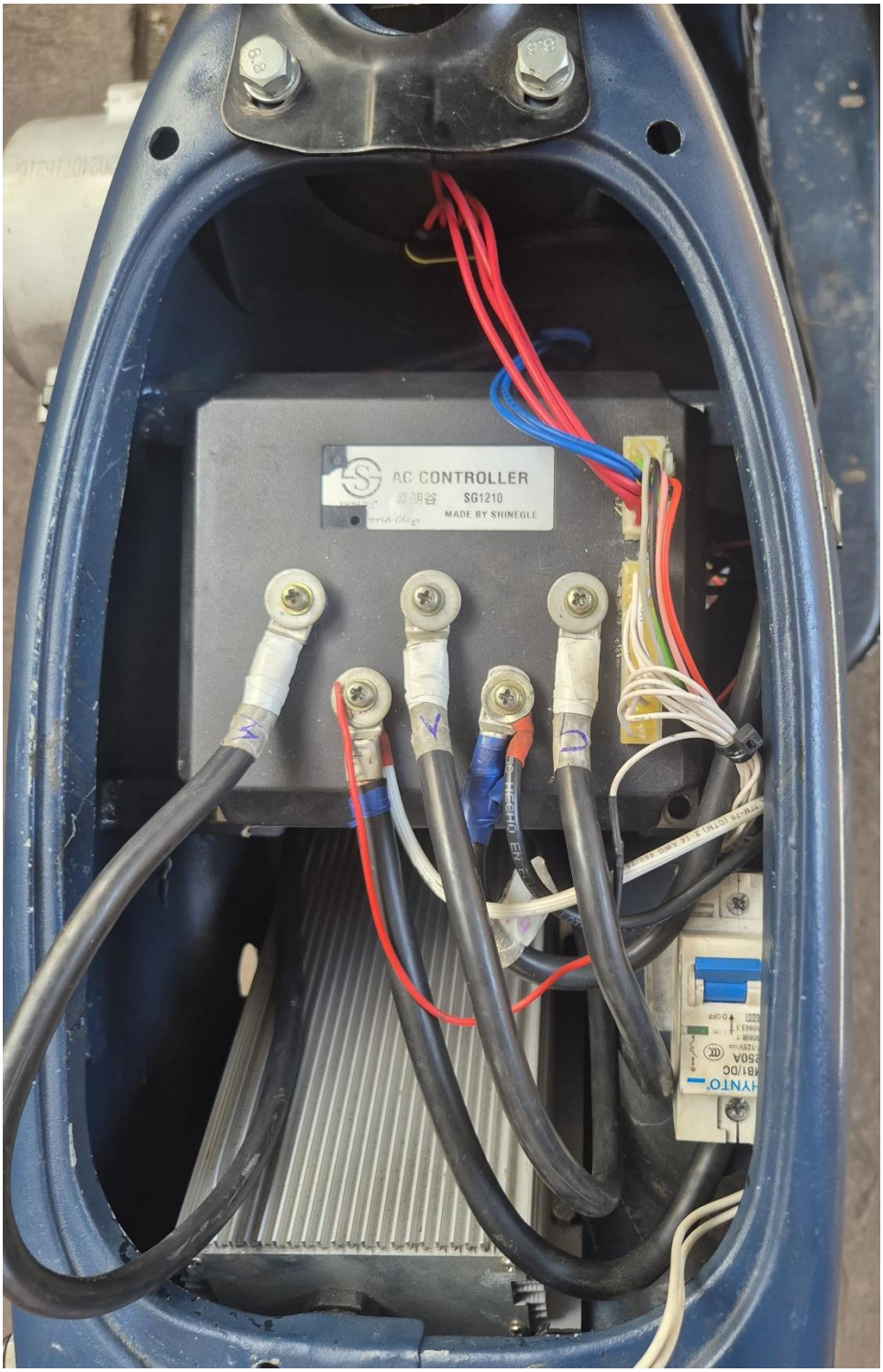
Anexo 6: Bases para el Montaje del Inversor



Anexo 7: Instalación del Inversor



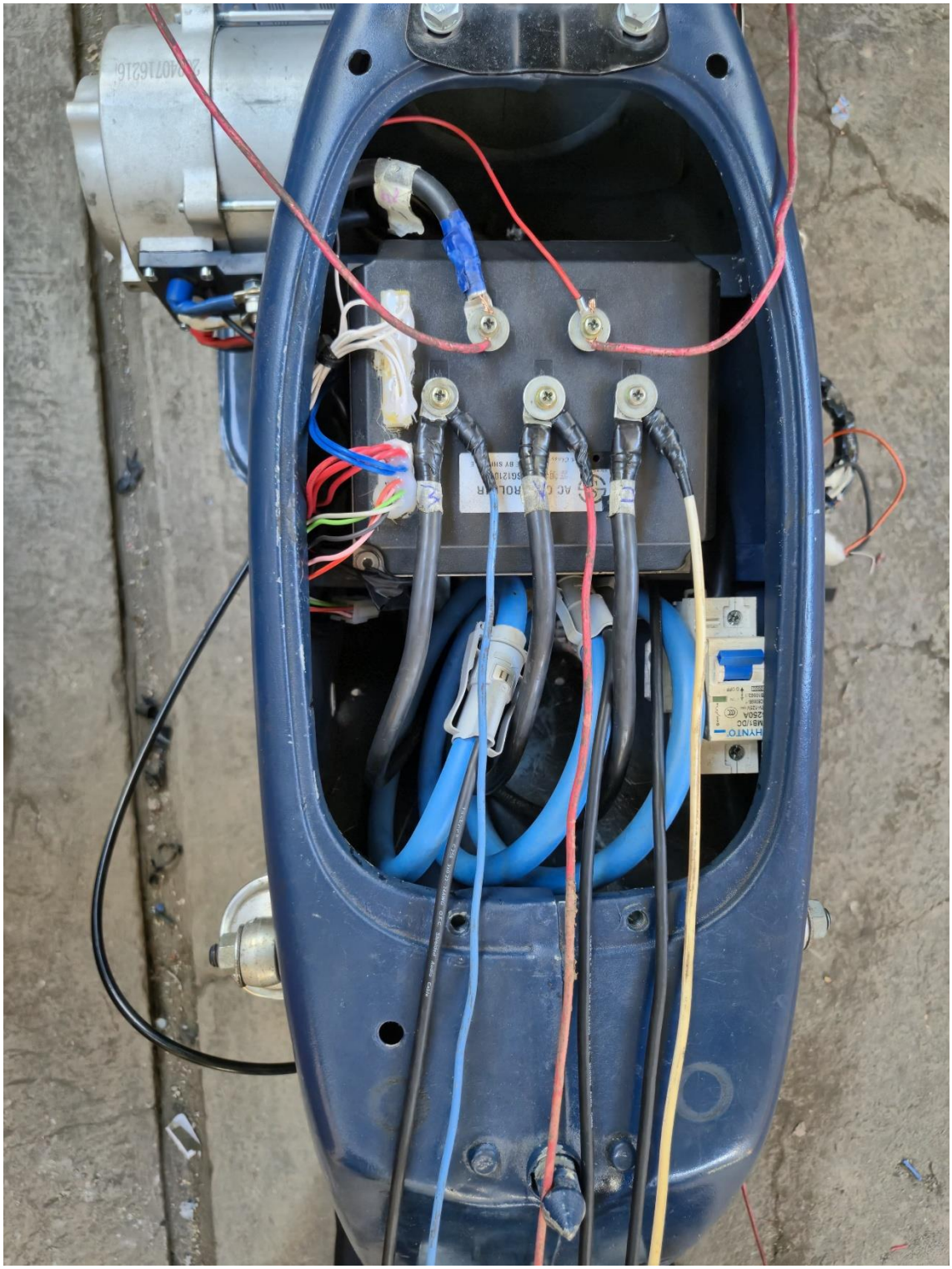
Anexo 8: Conexión Eléctrica del Inversor



Anexo 9: Motocicleta Ensamblada y Lista para las Pruebas en Ruta



Anexo 10: Conexión de Equipos de Registro



Anexo 11: Montaje de Equipos Registradores en la Motocicleta



Anexo 12: Recolección de Datos en el Tramo Autopista



Anexo 13: Verificación del Estado de los Equipos de Registro



Anexo 14: Recolección de Datos en el Tramo Rural



Anexo 15: Recolección de Datos en el Tramo Urbano



REFERENCIAS

[1] Hyundai, “Coche eléctrico, ¿qué son?, ¿cómo funcionan?”, Zona Eco. Accedido: 27 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.hyundai.com/es/es/zonaeco/eco-drive/tecnologia/que-es-coche-electrico

[2] M. Lora, “El vehículo eléctrico: Fortalezas y debilidades para su expansión.”, Tesis, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2022. Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/94011/fichero/TFG-4011+LORA+RUIZ%2C+MANUEL+ALEJANDRO.pdf

[3] F. Moreno, “Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos Futuros”, *Eur. Sci. J.*, 2016, Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/328025433.pdf

[4] I. Sanz, “ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN Y EL IMPACTO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ECONOMÍA EUROPEA”, Thesis, Universidad Pontificia de Madrid, Madrid, España, 2015. Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/3803/TFG001112.pdf

[5] D. Murias, “Historia de los coches eléctricos”, Motorpasión. Accedido: 29 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos

[6] Ducati, “¿Quién inventó la primera moto?”, Ducati Madrid.

[7] A. Awirya, D. Sembiring, B. Kreuta, y Anita, “The potential development of electric motorcycles in remote areas case study: Agats District, Asmat Regency, Indonesia”, *Clean. Eng. Technol.*, vol. 17, p. 100690, dic. 2023, Accedido: 10 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/375509383_The_potential_development_of_electric_motorcycles_in_remote_areas_case_study_Agats_District_Asmat_Regency_Indonesia

[8] B. Cox y C. Mutel, “The environmental and cost performance of current and future motorcycles”, *Appl. Energy*, vol. 212, pp. 1013–1024, feb. 2018, Accedido: 10 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.100

[9] A. Pozo y E. Molero, *El vehículo eléctrico y su infraestructura de carga*, vol. 1. Barcelona, España: Marcombo, 2013.

[10] J. Trashorras, *Vehículos eléctricos*, vol. 1. Madrid, España: Paraninfo, 2019.

[11] F. Maldonado, Á. Masaquiza, D. Gadvay, y J. Jima, "Modelo de componentes de un vehículo eléctrico que aportan a un análisis de la tecnología limpia en la industria automotriz", *Polo del Conocimiento*, vol. 5, ago. 2020, Accedido: 29 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7554374.pdf

[12] D. Duque y J. Rocano, "DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO MEDIANTE CICLOS CONTROLADOS¨", Tesis, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Cuenca, Ecuador, 2018. Accedido: 29 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15067/1/UPS-CT007435.pdf

[13] A. Vega, "Estudio de los convertidores empleados en instalaciones fotovoltaicas", tesis de ingeniería, Univ. UVA, España, Valladolid, 2020. Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://uvadoc.uva.es/handle/10324/44884

[14] Rolls Battery, "Manual de uso de baterias", Canadá, 2020.

[15] Toyota, "Manual de desguace del vehículo híbrido", 2011.

[16] J. Camacho, "Análisis informativo comparativo entre motor de combustión interna l4 y motor eléctrico de aplicación vehicular", tesis de ingeniería, Univ. UPS, Ecuador, Guayaquil, 2023. Accedido: 6 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26395

[17] M. Rodriguez, "Máquinas de corriente continua", en *Universidad de Cantabria*, España, 2017.

[18] M. Jesús y V. Fernández, "Motores de Corriente Alterna", en *Universidad de la Laguna*, España.

[19] A. Sánchez, "5 beneficios del coche eléctrico para el medio ambiente", Renaul España. Accedido: 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.renault.es/blog/trucos-consejos/beneficios-coche-electrico-respecto-coche-combustion.html

[20] Sociedad de Técnicos de Automoción, *El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio.*, 1ª ed. Barcelona, España: Librooks, 2011.

[21] H. Catalan, "EL TRACTOR ELÉCTRICO, ACTUALIDAD Y ANÁLISIS DE SU FUTURO", Más que máquinas agrícolas. Accedido: 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.masquemaquina.com/2018/06/el-tractor-electrico-actualidad-y.html

[22] VolksWagen, "Ventajas del coche eléctrico frente al de combustión", VolksWagen Canarias. Accedido: 24 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.vwcanarias.com/es/blog/ventajas-coche-electrico.html

[23] D. Zorrero, "Los autos con motores de combustión siguen dominando el mercado europeo", Infobae. Accedido: 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:

https://www.infobae.com/autos/2022/11/04/los-autos-con-motores-de-combustion-siguen-dominando-el-mercado-europeo/

[24] Q. Guerrero, L. Parra, J. Mercado, y J. Sánchez, “Inversor DC-AC: diseño y simulación de 24V DC a 110V AC con R de 20Ω.”, 2016.

[25] G. Ipiales, “Implementación de un inversor en lazo cerrado conectado a la red eléctrica con compensación del factor de potencia”, tesis de ingeniería, Univ. UTN, Ecuador, Ibarra , 2023. Accedido: 5 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14127

[26] Gobierno de España, “Funcionamiento de Transistores”, España.

[27] P. Horowitz y W. Hill, *The art of electronics*, Tercera edición. Estados Unidos: Cambridge , 2015.

[28] T. Calderón, *Fundamentos de Electrónica Manual de cátedra*, 1ra Edición. El Salvador: Universidad Evangélica, 2019.

[29] J. Millman y A. Grabel, *Microelectrónica*, Sexta edición. España: Hispano Europea, S. A., 1995.

[30] N. Mohan, T. Undeland, y W. Robbins, *Electrónica de potencia*, Tercera edición. Mexico: Mc Graw Hill, 2009.

[31] K. Zambonino, “Temporizador para generación de PWM”, Ecuador , 2022. [En línea]. Disponible en: https://cea.epn.edu.ec/index.php/objetivos-y-practicas

[32] F. Gonzales, “Modulación de ancho de pulso”, *IEE*, 2004.

[33] A. Aktaş y Y. Kirçiçek, “Chapter 8 - Solar Hybrid Systems for Smart Grids”, en *Solar Hybrid Systems*, A. Aktaş y Y. Kirçiçek, Eds., Academic Press, 2021, pp. 153–178. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88499-0.00008-2.

[34] Y. Birbir, K. Yurtbasi, y V. Kanburoglu, “Design of a single-phase SPWM inverter application with PIC micro controller”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 22, nº 2, pp. 592–599, abr. 2019, doi: 10.1016/J.JESTCH.2018.11.014.

[35] E. A. Samiotis, D. T. Trigonidis, G. A. Vokas, P. Papageorgas, y A. G. Anastasiadis, “Simulation and Implementation of a SPWM Inverter Pulse Generator Circuit for Educational Purposes”, *Energy Procedia*, vol. 157, pp. 594–601, ene. 2019, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2018.11.224.

[36] I. Colak, E. Kabalcı, y G. Keven, “Chapter 3 - Conventional H-bridge and recent multilevel inverter topologies”, en *Multilevel Inverters*, E. Kabalcı, Ed., Academic Press, 2021, pp. 57–110. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821668-2.00010-6.

[37] M. L. Srief, B. Soltane, N. A. Lokmane, y G. Malak, “A complete control structure based backstepping controller design for stacked multi-cell multi-level SPWM VSC STATCOM”, *Energy Reports*, vol. 12, pp. 687–698, dic. 2024, doi: 10.1016/J.EGYR.2024.06.051.

[38] E. de J. Inga y J. Juela, “Diseño y construcción de módulos para convertidores dc-ac aplicando técnicas de control vectorial para el laboratorio de electrónica de potencia de la UPS cuenca”, tesis de ingeniería, Univ. UPS, Ecuador, Cuenca, 2013. Accedido: 6 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7603

[39] C. Rodríguez, “Diseño e implementación de prácticas para el laboratorio de electrónica industrial: inversor monofásico”, tesis de ingeniería, Univ. PUJ, Colombia, Bogotá, 2004. Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/10554/7557

[40] V. Espinoza, “Inversor trifásico con IGBT’s aplicando técnica PWM”, tesis de ingeniería, Esc. EPN, Ecuador, Quito, 2000. Accedido: 11 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9242

[41] A. Andueza y V. Senosiáin, “Inversor monofásico”, tesis de ingeniería, Univ. UPNA, España, Pamplona, 2012. Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/2454/6154

[42] N. Gómez, “Diseño e implementación de un inversor variador DC-AC”, tesis de ingeniería, Univ. ULL, 2017. Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/6831

[43] N. Ahmed y Md. Z. Khan, *Microcontroller Based Pure Sine Wave Inverter*. 2021. doi: 10.1109/ICPEA51500.2021.9417841.

[44] L. Vega y M. Saúl, “Propuesta del uso de la motocicleta electrica para el mototurismo”, Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, 2023.

[45] F. Rosero, “MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN TREN MOTRIZ PARA CHASIS TUBULAR DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MONOPLAZA TIPO NEV PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS”, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, 2022.

[46] J. Miño y F. Villafuerte, “COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO2 DE LOS AUTOBUSES URBANOS DE LA CIUDAD DE IBARRA PARA LOS ESCENARIOS PRE Y POST COVID-19 APLICANDO EL ENFOQUE DE MODELIZACIÓN VSP”, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2023.

[47] C. Santos, “DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO DE UN VEHÍCULO EN MOVIMIENTO”, 2011.

[48] M. Andrea y S. Carrasco, “ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN IBARRA”, Accedido: 16 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: www.ibarra.gob.ec

[49] A. Cuasapaz y D. Esteban, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE ‘ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UN VEHÍCULO EN CONDICIONES DE TRÁFICO REAL A DIFERENTES ALTITUDES’”.

[50] O. Guamán y D. Zhagüi, “ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE LA BANDA DE RODADURA EN UN NEUMÁTICO 195/55 R15 85V DE UN VEHÍCULO TOYOTA YARIS NITRO S 1.3L BAJO LA ACCIÓN DE LOS ÁNGULOS DE LA DIRECCIÓN CONVERGENCIA/DIVERGENCIA Y CAMBER MEDIANTE LA APLICACIÓN DE GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS”, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA, Cuenca, 2016.

[51] V. Cevallos, “ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL TREN DE POTENCIA PARA EL SERVICIO DE TAXIS URBANOS DE LA CIUDAD DE IBARRA”, Universidad Tecnica del Norte, Ibarra, 2017.

[52] P. Alvarado, “Nitro.pe”, ¿Cómo se divide el tren de potencia de un vehículo? Accedido: 11 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/como-se-divide-el-tren-de-potencia-de-un-vehiculo

[53] C. Gómez y V. Olmedo, “ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO RENAULT TWIZY”, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2023.

[54] I. Adeloye, I. Bhattacharya, E. Ezugwu, y M. Dhason, “GaN Electric Vehicle Systems—A Comparative Review”, *Energies (Basel).*, vol. 18, p. 6020, nov. 2025, doi: 10.3390/en18226020.

[55] Society of Automotive Engineers, “SAE J1128: Low Tension Primary Cable”, Accedido: 26 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/005/sae.j1128.1975.pdf

[56] E. Paillacho y A. Tequis, “‘ANÁLISIS DE LA AUTONOMÍA DE LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO’”, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2022. Accedido: 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12249

[57] J. Larminie y J. Lowry, “ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED SECOND EDITION”, 2012, Accedido: 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: www.wiley.com.