



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

**“ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LA BATERÍA HV, PRODUCTO DE LA
CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
A ELÉCTRICO”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingeniería Automotriz**

Línea de investigación:

Producción Industrial y Tecnología Sostenible

AUTOR: Ramos Santacruz Bryan Alexis

Picuasi Díaz Cesar Fabián †

DIRECTOR: Ing. Víctor Javier Montenegro Simancas, MSc.

Ibarra-Ecuador

2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003922489		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ramos Santacruz Bryan Alexis		
DIRECCIÓN:	Otavalo- Jacinto Collahuaso 1ra etapa		
EMAIL:	ramosbryan574@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0963642916

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003662325		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pícuasi Diaz Cesar Fabián		
DIRECCIÓN:	Ilumán		
EMAIL:	cfpicuasid@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de eficiencia de la batería HV, producto de la conversión de vehículos con motor de combustión interna a eléctrico
AUTOR (ES):	Ramos Santacruz Bryan Alexis - Picuasi Diaz Cesar Fabián
FECHA: DD/MM/AAAA	19/03/2026

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Víctor Montenegro, MSc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los días 19 del mes de marzo de 2026.

EL AUTOR:

.....

Ramos Santacruz Bryan Alexis

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, a los días 19 de marzo de 2026

MSc. Víctor Javier Montenegro Simancas

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.

(f)

MSc. Víctor Javier Montenegro Simancas

C.C.: 1717035149

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LA BATERÍA HV, PRODUCTO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A ELÉCTRICO” elaborado por Bryan Alexis Ramos Santacruz, previo a la obtención del título del Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....

MSc. Víctor Javier Montenegro Simancas

C.C.: 1717035149

(f):.....

MSc. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos

C.C.: 1002415949

DEDICATORIA

Al, Altísimo.

A mis padres: Jaime Ramos y Luz Santacruz, hermanos: Aysha y Juyac, no solo por su apoyo y estímulo, sino también, por su amor y la aceptación incondicional.

Bryan Ramos

Dedico este logro de manera profunda y especial a mis padres, Rafael Picuasi y Rebeca Díaz, quienes con su ejemplo de sacrificio y constancia me enseñaron que no existen imposibles cuando hay perseverancia. Gracias por ser el impulso de mi confianza y por demostrarme que cada dificultad superada es parte de la recompensa final.

A ellos dedico este trabajo, como fruto de la mejor herencia que he recibido de sus manos: una educación sólida y los principios inquebrantables que me inculcaron desde la infancia. Mi gratitud y amor eternos son para ustedes, por ser mi fuente inagotable de ánimo y los verdaderos merecedores de cada meta que hoy alcanzo.

Cesar Picuasi †

AGRADECIMIENTO

Agradezco aquel que vivió, murió y resucitó por mí. Al Todopoderoso.

Estoy muy agradecido con mi familia, por creer en mí sin importar en qué proyecto esté trabajando, me he beneficiado durante muchos años del apoyo de mis padres y mis hermanos. En particular, deseo que mis papás sepan que los amo, porque es un sentimiento muy especial saber que tus padres son tus más grandes admiradores. Y a cada miembro de mis familiares y amigos quienes me regalaron palabras de aliento para seguir adelante.

A mi tutor Víctor Montenegro y asesor Ignacio Benvides quienes a través de su noble ejercicio de docente fueron los pilares para el desarrollo y culminación de este proyecto juntamente con mi compañero de tesis.

A la Universidad Técnica del Norte por hacerme parte de su comunidad y brindarme los valores y conocimientos éticos profesionales durante su instancia.

Bryan Ramos

Agradezco a Dios por brindarme salud y fe para seguir adelante, permitiéndome culminar esta meta profesional; y a mis padres, por ser el apoyo constante que hizo posible este camino. De manera especial, agradezco a mi tutor de tesis, Víctor Montenegro, por la orientación y el apoyo brindados para culminar con éxito este proyecto.

Toda mi gratitud y agradecimiento a mi compañero tesista Bryan, por su esfuerzo y admirable compromiso constante, sus aportaciones fueron valiosas y la pieza clave en el desarrollo de esta investigación, su dedicación no solo facilitó el cumplimiento de los objetivos, sino que fue el soporte necesario para superar cada desafío que enfrentamos en el camino.

Finalmente, doy gracias a la Universidad Técnica del Norte por los valores tanto éticos como profesionales que hoy me permiten culminar con orgullo mi formación.

Cesar Picuasi †

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio tiene como fin analizar la eficiencia de la batería HV de Ion Litio, en una motocicleta modelo vespa (MLM) de 150cc, con pruebas llevadas a cabo en un ciclo real de conducción. Para esto, se empleó un proceso general, que abarca la ruta completa del ensayo, equipos de mediciones, ecuaciones para los cálculos y una metodología específica, que describe la forma en que se recopilan los datos para medir la eficiencia de la batería HV. En esta metodología se analizó tres secciones: autopista, rural y urbana, para lo cual, se desarrolló un data logger que sea capaz de medir parámetros de corriente y voltaje, además, se empleó la aplicación topo GPS el cual registra variables cinemáticas de la carretera de prueba. Es importante recalcar que la captura de datos registrados es con una frecuencia de 1 Hertz y procesados de manera organizada en un documento Excel. De este modo, se calcularon las potencias instantáneas y mediante la agregación del factor de tiempo se obtiene la energía dando como resultado el consumo energético acumulado del recorrido. Por lo consiguiente, la energía de entrada y salida fueron consideradas para calcular la eficiencia real de la batería en cada tramo y ruta completa. Dando como resultado una eficiencia general de la motocicleta eléctrica: sección autopista 82.01%, con un consumo energético de 492.93Wh, sección rural 87.95% con un consumo energético de 405.28Wh y sección urbana con 90.29% con un consumo energético de 288.65Wh. Para el total de la ruta se obtuvo una eficiencia del 86.95% con un consumo energético total de 1186.86Wh. Finalmente, la autonomía alcanzada de las secciones autopista, rural, urbana y ruta completa fueron de: 40.90km, 71.07km, 88.80km y 66.92km respectivamente.

Palabras clave: Batería HV de ion litio, eficiencia, consumo energético, autonomía, motocicleta eléctrica y kit de conversión de combustión a eléctrico.

ABSTRACT

The study aims to analyze the efficiency of a lithium-ion HV battery in a 150cc Vespa (MLM) motorcycle, using tests conducted under real-world driving conditions. A comprehensive process was employed, encompassing the complete test route, measuring equipment, calculation equations, and a specific methodology outlining how data was collected to measure the HV battery's efficiency. This methodology analyzed three sections: highway, rural, and urban. A data logger was developed to measure current and voltage parameters, and the Topo GPS application was used to record kinematic variables of the test road. It is important to note that the data was recorded every second and processed systematically in an Excel spreadsheet. Instantaneous power was then calculated, and by adding the time factor, the total energy consumption for the entire journey was obtained. Therefore, the input and output energy were considered to calculate the actual battery efficiency for each section and the complete route. This resulted in the following overall efficiency for the electric motorcycle: highway section 82.01%, with an energy consumption of 492.93 Wh; rural section 87.95% with an energy consumption of 405.28 Wh; and urban section 90.29% with an energy consumption of 288.65 Wh. For the entire route, an efficiency of 86.95% was obtained with a total energy consumption of 1186.86 Wh. Finally, the range achieved for the highway, rural, urban, and complete route sections was: 40.90 km, 71.07 km, 88.80 km, and 66.92 km, respectively.

Keywords: HV lithium-ion battery, efficiency, energy consumption, range, electric motorcycle and combustion-to-electric conversion kit.

LISTA DE SIGLAS

MCI. Motor de Combustión Interna
EV. Vehículo Eléctrico
ME. Motocicleta Eléctrica
HV. Alto Voltaje
DC. Corriente Continua
AC. Corriente alterna
ECU. Unidad de Control de Motor
ACV. Análisis de Ciclo de Vida
SOH. Estado de Salud
SOC. Estado de carga
LIB. Batería de Ion de Litio
BMS. Sistema de gestión de batería
SAE. Sociedad de ingenieros automotrices
GDL. Grados de libertad
CG. Centro de gravedad
CFD. Análisis de fluido computacional
V. Voltaje
I. Corriente
R. Resistencia
W. Watt
h. Hora
Wh. Watt-hora
Pm. Potencia mecánica
Pe. Potencia eléctrica
E. Energía
Fg. Resistencia gravitatoria
Fa. Resistencia aerodinámica
Frr. Resistencia a la rodadura
Fac. Resistencia aceleración

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de Investigación.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.4 Alcance.....	3
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 PRINCIPIOS.....	5
2.1.1 Motocicleta Eléctrica.....	5
2.1.2 Generalidades.....	5
2.1.3 Conversiones Eléctricas: Motocicletas.....	6
2.2 Principio de Funcionamiento de las Baterías.....	7
2.2.1 Parámetros Característicos de la Batería.....	8
2.2.2 Voltaje Nominal.....	8
2.2.3 Energía Almacenada.....	9
2.2.4 Potencia.....	9
2.2.5 Energía Específica.....	9
2.2.6 Capacidad de Carga / Descarga.....	10
2.2.7 Temperatura de Operación.....	12
2.2.8 Tasa de Autodescarga.....	13
2.2.9 Eficiencia.....	13
2.2.10 Vida Útil.....	14
2.3. Monitoreo del Estado de la Batería.....	15
2.3.1 El BMS.....	15
2.3.2 Estado de Carga (SOC%).....	15
2.3.3 Estado de Salud (SOH).....	15
2.4 Batería De Alto Voltaje (HV).....	15
2.4.1 Batería de Ion Litio.....	16

2.4.2 Características y Propiedades de la Batería HV	18
2.4.3 Tipos de Baterías.....	19
2.5 Problemas de la Batería de Alta Tensión	21
2.5.1 Condiciones Ambientales	21
2.5.2 Sistema de Refrigeración de la Batería de Alta Tensión.....	21
2.5.3 Ciclos de Carga y Descarga	21
2.5.4 Efectos de la Presión Atmosférica en el Rendimiento de la Batería HV	22
2.6 Introducción a la Dinámica del Vehículo.....	22
2.6.1 Dinámica del Vehículo.....	22
2.6.2 Sistemas de Coordenadas del Vehículo.....	23
2.6.3 Desplazamiento Longitudinal.	24
2.7 La Fuerzas que se Oponen Principalmente al Movimiento de Avance	25
2.7.1 Fuerza de Resistencia a la Rodadura	25
2.7.2 Fuerza de Resistencia a la Rodadura	27
2.7.3 Fuerza de Resistencia a la Rodadura	28
2.7.4 Fuerza Aceleración de Masas.....	30
2.8 Análisis de Fuerzas Longitudinales en Unidades Eléctricas	30
2.8.1 Total de Fuerzas longitudinales	30
2.9 Potencia y Energía	31
2.9.1 Potencia de tracción	31
2.9.2 Potencia del Motor Eléctrico.....	31
CAPÍTULO III	32
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1 Definición Marco Metodológico.....	32
3.2 Modelo de Dimensionamiento de la Batería y Potencia Eléctrica.	34
3.2.1 Modelo Planteado.....	34
3.2.2 Condicionante Preferencial	34
3.2.3 Condicionante Variable.....	35
3.2.4 Estudio Dinámico.....	36
3.2.5 Especificaciones de Requerimientos	36
3.2.6 Dimensionamiento de la Batería	37
3.3 Ensamblaje del Sistema de Propulsión Eléctrico	38

3.3.1 Kit de Conversión a Eléctrico	38
3.3.2 Motor Eléctrico	39
3.3.3 Batería de Alto Voltaje (HV) de Ion Litio	40
3.3.4 Programador	41
3.3.5 Convertidor de Voltaje	42
3.3.6 Controlador	43
3.3.7 Ensamblaje final de la moto eléctrica, producto de la conversión.	43
3.3.7.1 Desmontaje del Sistema Combustión.....	44
3.3.7.2 Modificaciones y Adaptación de Componentes.....	44
3.3.7.3 Ensamblaje del kit de Conversión.	44
3.4 Desarrollo Del Sistema Data Logger.....	45
3.4.1 Data Loger.	45
3.4.1.1 Principales Características.	45
3.4.1.2 Aplicaciones.....	46
3.4.2 Arduino Uno	46
3.4.3 Protoboard	47
3.4.4 Módulo de Lector de Memoria MicroSD Card	49
3.4.5 Módulo Cargador de Batería TP4056	50
3.4.6 Cable Jumper Dupond Macho a Macho.....	51
3.4.7 Tipos de Sensores.....	51
3.4.7.1 Sensor de Corriente ACS758-150B	52
3.4.7.2 Sensor de Temperatura Digital DS18B20	54
3.4.7.3 Sensor de Presión BMP280.....	56
3.4.7.4 Divisor de Voltaje.....	58
3.5 Selección de las Pruebas de Ruta.....	61
3.5.1 <i>Aplicación de Registro de los Datos en Ruta</i>	63
3.6 Recopilación de los Datos a Través de la Ruta	63
3.7 Procesamiento de datos Obtenidos.....	65
3.8 Estimación de la Eficiencia de la Batía HV	65
3.9 Evaluación de la Eficiencia del Consumo Energético y su Autonomía.....	66
CAPITULO IV	67
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	67

4.1 Dimensionamiento de la Batería HV.....	67
4.1.1 <i>Registro de Variables Preferenciales del Usuario</i>	68
4.1.2 Registro de Variables.....	68
4.1.2.1 Masa de la Motocicleta.....	68
4.1.2.2 <i>Masa del Piloto</i>	69
4.1.2.3 <i>Área Frontal</i>	69
4.1.2.4 <i>Coeficiente Aerodinámico</i>	70
4.1.2.5 <i>Temperatura Ambiente</i>	70
4.1.2.6 <i>Densidad del Aire</i>	71
4.1.3 Cálculo de las Fuerza Total de Resistencias.....	72
4.1.3.1 <i>Cálculo de la Fuerza de Resistencias a la Rodadura</i>	72
4.1.3.2 <i>Cálculo de la Fuerza de Resistencias Aerodinámico</i>	73
4.1.3.3 <i>Cálculo de la Fuerza de Resistencias por Pendiente</i>	74
4.1.3.4 <i>Fuerzas de Resistencia de Aceleración de Masa</i>	74
4.1.3.5 <i>Fuerzas de Resistencias Totales</i>	75
4.1.3.6 <i>Cálculo de Torque y Potencia</i>	75
4.1.4 Cálculo de la Relación de Transmisión.....	75
4.1.5 Relación Torque en Rueda y Coeficiente de Transmisión.....	76
4.1.6 Selección Del Motor Eléctrico	76
4.1.6.1 <i>Selección De la Batería</i>	77
4.1.6.2 <i>Criterios de Selección de las Batería Recargables</i>	77
4.1.6.3 <i>Criterios de Selección de la Batería de Litio y su Química</i>	80
4.1.6.4 <i>Selección de la Batería de Ion Litio (NCM)</i>	84
4.2 Adaptación de la Batería en la motocicleta.....	85
4.2.1 <i>Análisis Estático de la Base Estructural</i>	86
4.2.2 <i>Factor de Seguridad del Soporte</i>	87
4.2.3 <i>Conductor Principal</i>	88
4.2.4 <i>Adaptación de la batería en la Motocicleta</i>	89
4.3 Rangos de Velocidad y Altura de la Ruta de Ensayo	90
4.4 Sección Autopista	91
4.4.1 <i>Trayectoria del Tramo Autopista</i>	91
4.4.2 <i>Parámetros de Movimiento y Altitud</i>	92

4.4.3 <i>Parámetros Registrados Mediante Data Logger</i>	93
4.4.4 <i>Altura, Presión Atmosférica y Temperatura de la Batería</i>	94
4.4.5 <i>Voltaje vs Velocidad</i>	95
4.4.6 <i>Corriente vs Velocidad</i>	96
4.4.7 <i>Voltaje y Corriente del ciclo de Conducción</i>	97
4.4.8 <i>Consumo Energético: Sección Autopista</i>	98
4.4.9 <i>Eficiencia de la Batería: Sección Autopista</i>	100
4.5 <i>Sección Rural</i>	101
4.5.1 <i>Trayectoria del Tramo Rural</i>	101
4.5.2 <i>Parámetros de Movimiento y Altitud</i>	101
4.5.3 <i>Parámetros Registrados Mediante Data Logger</i>	103
4.5.4 <i>Altura, Presión, y Temperatura de la Batería</i>	103
4.5.5 <i>Voltaje vs Velocidad</i>	104
4.5.6 <i>Corriente vs Velocidad</i>	105
4.5.7 <i>Corriente y Voltaje del Ciclo Rural</i>	106
4.5.8 <i>Consumo Energético: Sección Rural</i>	107
4.5.9 <i>Eficiencia de la Batería: Sección Rural</i>	109
4.6 <i>Sección Urbano</i>	110
4.6.1 <i>Trayectoria del Tramo Urbano</i>	110
4.6.2 <i>Parámetros de Movimiento y Altitud</i>	110
4.6.3 <i>Parámetros Registrados Mediante Data Logger</i>	112
4.6.4 <i>Altura, Presión, y Temperatura de la Batería</i>	112
4.6.5 <i>Voltaje vs Velocidad</i>	113
4.6.6 <i>Corriente vs Velocidad</i>	114
4.6.7 <i>Corriente y Voltaje del Ciclo Urbano</i>	115
4.6.8 <i>Consumo Energético del Ciclo Urbano</i>	116
4.6.9 <i>Eficiencia de la Batería: Sección Urbana</i>	118
4.7 <i>Eficiencia de la Batería HV: Ruta Completa</i>	119
4.7.1 <i>Voltaje y Corriente: Ruta Completa</i>	119
4.7.2 <i>Consumo de Energético: Ruta Completa</i>	120
4.7.3 <i>Eficiencia de la Batería: Ruta Completa</i>	121
4.8 <i>Autonomía: Sección Autopista</i>	122

4.8.1 <i>Autonomía: Sección Rural</i>	122
4.8.2 <i>Autonomía: Sección Urbana</i>	123
4.8.3 <i>Autonomía: Ruta Completa</i>	123
4.9 <i>Análisis de la Batería</i>	124
4.9.1 <i>Análisis de los Consumos Energéticos de la Batería</i>	124
4.9.2 <i>Análisis del Comportamiento del Voltaje de la Batería</i>	127
4.9.3 <i>Análisis de la Autonomía de la Batería</i>	129
4.9.4 <i>Análisis de la Eficiencia de la Batería</i>	130
4.9.5 <i>Influencia del Peso-Potencia en Velocidades</i>	132
CAPÍTULO V	133
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
5.1 <i>Conclusiones</i>	133
5.2 <i>Recomendaciones</i>	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones iniciales propuestos por el usuario	35
Tabla 2 Datos iniciales para los cálculos	35
Tabla 3 Componentes del kit de conversión a eléctrico	38
Tabla 4 Características del motor Shinegle asíncrono de 4 kW.	39
Tabla 5 Características técnicas de la batería de ion litio	40
Tabla 6 Registro preferencial del usuario	68
Tabla 7 Registro de datos de la motocicleta	68
Tabla 8 Características de las distintas tecnologías de batería.....	78
Tabla 9 Valor de puntuación	79
Tabla 10 Matriz de selección de las distintas tecnologías de baterías	79
Tabla 11 Batería según su composición química.....	81
Tabla 12 Matriz de selección de la batería según su química.....	82
Tabla 13 Matriz de calificación.....	84
Tabla 14 Características de los valores obtenidos durante la ruta completa	90
Tabla 15 Características de la sección Autopista	92
Tabla 16 Datos registrados con el data logger.....	93
Tabla 17 Consumo energético de la sección autopista	99
Tabla 18 Características de la zona rural	102
Tabla 19 Datos registrados con data logger	103
Tabla 20 Consumo energético de la sección rural	108
Tabla 21 Características de la zona rural	110
Tabla 22 Datos registrados con data logger	112
Tabla 23 Consumo energético de la sección urbana	117
Tabla 24 Consumo Energético de la ruta completa.....	121
Tabla 25 Resultados de eficiencias en cada sección y la ruta completa	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Curvas de una batería de voltaje vs tiempo</i>	9
Figura 2	<i>Densidad de energía</i>	10
Figura 3	<i>Curvas de una batería de ion litio</i>	11
Figura 4	<i>Tasa de cambio de la capacidad</i>	12
Figura 5	<i>Curva de descarga de la batería de litio</i>	13
Figura 6	<i>Relación entre la temperatura y el número de ciclos de vida de una batería</i> ...14	
Figura 7	<i>Celda de una batería de ion litio operando a nivel atómico</i>	17
Figura 8	<i>Masa necesaria para producir 1A durante 1h</i>	18
Figura 9	<i>Densidad energética de los distintos tipos de baterías</i>	20
Figura 10	<i>La norma SAE J670</i>	23
Figura 11	<i>Fuerza de resistencia longitudinal</i>	24
Figura 12	<i>Fuerza de resistencia a la rodadura</i>	25
Figura 13	<i>Variación del coeficiente de rodadura</i>	26
Figura 14	<i>Coeficiente de rodadura con presión de inflado</i>	27
Figura 15	<i>Fuerza aerodinámica</i>	28
Figura 16	<i>Coeficiente aerodinámico (Cd)</i>	28
Figura 17	<i>Resistencia por pendiente</i>	29
Figura 18	<i>Ángulo de inclinación</i>	30
Figura 19	<i>Diagrama de flujo del proceso de análisis de la eficiencia de la batería HV</i> ...32	
Figura 20	<i>Metodología para el cálculo de la eficiencia de la batería HV</i>	33
Figura 21	<i>Motor asíncrono de 4kW</i>	39
Figura 22	<i>Batería de Ion Litio 72V 40Ah</i>	41
Figura 23	<i>Programador del kit de conversión</i>	42
Figura 24	<i>Convertidor de voltaje</i>	42
Figura 25	<i>Controlador del kit de conversión</i>	43
Figura 26	<i>Conversión de la motocicleta de combustión a eléctrica</i>	45
Figura 27	<i>Estructura de la placa Arduino Uno</i>	47
Figura 28	<i>Secciones de la placa Protoboard</i>	48
Figura 29	<i>Módulo lector de memoria microSD</i>	49
Figura 30	<i>Módulo Cargador TP406</i>	50
Figura 31	<i>Cable jumpers conexión de macho a macho</i>	51
Figura 32	<i>Sensor de corriente ACS758-B150</i>	52
Figura 33	<i>Diagrama de Pines del Sensor ACS758-150B</i>	53
Figura 34	<i>Pines del sensor de temperatura DS18B20</i>	54
Figura 35	<i>Diagrama de conexión a través del pin de datos</i>	55
Figura 36	<i>Diagrama de alimentación de una fuente externa</i>	55
Figura 37	<i>Sensor de presión BMP280</i>	56
Figura 38	<i>Diagrama de bloque del sensor BMP280 [116]</i>	57
Figura 39	<i>Divisor de voltaje</i>	58
Figura 40	<i>Diagrama de Flujo de lectura del data logger</i>	59

Figura 41	<i>Fragmento de código para inicializar la memoria SD</i>	60
Figura 42	<i>Fragmento de código para leer los sensores</i>	60
Figura 43	<i>Fragmento de código para guardar el archivo datalog.CSV</i>	61
Figura 44	<i>Topografía de la ruta seleccionada</i>	62
Figura 45	<i>Selección de la ruta de prueba</i>	63
Figura 46	<i>Ensamble del Data logger</i>	64
Figura 47	<i>Conexión del data logger con la batería de Ion Litio para la lectura de datos</i>	65
Figura 48	<i>Masa de la motocicleta</i>	69
Figura 49	<i>Masa del piloto</i>	69
Figura 50	<i>Área frontal de la Motocicleta</i>	70
Figura 51	<i>Coeficiente aerodinámico de la motocicleta [121]</i>	70
Figura 52	<i>Temperatura promedio anual en la ciudad de Ibarra [122]</i>	71
Figura 53	<i>Coeficiente de resistencia a la rodadura de acuerdo con la linealización del neumático</i>	73
Figura 54	<i>Reporte de desempeño de motores eléctricos</i>	77
Figura 55	<i>Tipos de Baterías según su tecnología</i>	80
Figura 56	<i>Batería de Litio y sus propiedades químicas</i>	83
Figura 57	<i>Selección de la batería de Ion Litio</i>	85
Figura 58	<i>Base estructural de la batería</i>	86
Figura 59	<i>Carga de esfuerzo aplicado en la base estructural</i>	87
Figura 60	<i>Factor de seguridad para el soporte de la base</i>	88
Figura 61	<i>Ficha técnica del calibre de los conductores</i>	89
Figura 62	<i>Adaptación de la batería en la motocicleta</i>	90
Figura 63	<i>Ciclo de conducción de la ruta completa</i>	91
Figura 64	<i>Trayectoria del tramo autopista</i>	92
Figura 65	<i>Ciclo de conducción del tramo autopista</i>	93
Figura 66	<i>Altura y temperatura de la batería</i>	94
Figura 67	<i>Altura vs presión atmosférica</i>	95
Figura 68	<i>Voltaje de la batería en tráfico real</i>	96
Figura 69	<i>Demanda de corriente en función de la velocidad</i>	97
Figura 70	<i>Demanda de energía real del voltaje e intensidad</i>	98
Figura 71	<i>Consumo energético segundo a segundo del tramo autopista</i>	99
Figura 72	<i>Trayectoria de la zona rural</i>	101
Figura 73	<i>Ruta de la sección rural</i>	102
Figura 74	<i>Altura y temperatura de la batería</i>	104
Figura 75	<i>Altura y presión atmosférica</i>	104
Figura 76	<i>Voltaje de la batería en función de la velocidad</i>	105
Figura 77	<i>Demanda de corriente durante el ciclo rural</i>	106
Figura 78	<i>Demanda energética en función de la tensión e intensidad</i>	107
Figura 79	<i>Consumo energético: sección rural</i>	108
Figura 80	<i>Trayectoria de la sección urbana</i>	110
Figura 81	<i>Altura y velocidad de la sección urbana</i>	111
Figura 82	<i>Altura y temperatura de la batería</i>	113

Figura 83	<i>Altura y presión atmosférica</i>	113
Figura 84	<i>Parámetros de voltaje y velocidad de la sección urbana.....</i>	114
Figura 85	<i>Intensidad en función de la velocidad sección urbana.....</i>	115
Figura 86	<i>Demanda de energía en función de la intensidad y tensión del tramo urbano</i>	116
Figura 87	<i>Consumo energético de la sección urbana</i>	117
Figura 88	<i>Consumo del voltaje e intensidad de la ruta completa</i>	119
Figura 89	<i>Consumo energético total de ruta completa</i>	120
Figura 90	<i>Comparativa de consumos energéticos de cada tramo y ruta completa</i>	125
Figura 91	<i>Consumos energéticos de cada sección.....</i>	126
Figura 92	<i>Consumo total energético en porcentaje para cada sección.....</i>	126
Figura 93	<i>Comportamiento de batería en las distintas secciones de rutas.....</i>	128
Figura 94	<i>Comparación de la descarga del SOC (%) de la batería en cada sección de la ruta</i>	129
Figura 95	<i>Comparativa de las distintas autonomías en cada sección de la ruta y general</i>	130
Figura 96	<i>Eficiencia real de la Batería HV.....</i>	131
Figura 97	<i>Relación del peso-potencia respecto a la velocidad.....</i>	132

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 <i>Ley de Ohm</i>	8
Ecuación 2.2 <i>Resistencia interna</i>	9
Ecuación 2.3 <i>Energía almacenada</i>	9
Ecuación 2.4 <i>Potencia</i>	10
Ecuación 2.5 <i>Corriente de descarga</i>	11
Ecuación 2.6 <i>Eficiencia de la batería</i>	14
Ecuación 2.7 <i>Estado de carga de la batería</i>	15
Ecuación 2.8 <i>Oxidación del litio</i>	16
Ecuación 2.9 <i>Reducción del litio</i>	16
Ecuación 2.10 <i>Reacción total de descarga de electrón</i>	16
Ecuación 2.11 <i>Fuerza de resistencia a la rodadura</i>	26
Ecuación 2.12 <i>Coeficiente de resistencia aerodinámica</i>	26
Ecuación 2.13 <i>Fuerza aerodinámico</i>	28
Ecuación 2.14 <i>Fuerza de resistencia pendiente</i>	29
Ecuación 2.15 <i>Seno del ángulo</i>	30
Ecuación 2.16 <i>Pendiente en porcentaje</i>	30
Ecuación 2.17 <i>Fuerza neta</i>	31
Ecuación 2.18 <i>Factor de eficiencia</i>	31
Ecuación 2.19 <i>Fuerza de resistencia longitudinal</i>	31
Ecuación 2.20 <i>Fuerza de resistencias longitudinales</i>	31
Ecuación 2.21 <i>Potencia de tracción</i>	32
Ecuación 2.22 <i>Energía</i>	32
Ecuación 2.23 <i>Potencia de motor eléctrico</i>	32
Ecuación 2.24 <i>Potencia del combustible</i>	32
Ecuación 3.1 <i>Fuerza de tracción</i>	37
Ecuación 3.2 <i>Fuerza de tracción total</i>	37
Ecuación 3.3 <i>Torque</i>	37
Ecuación 3.4 <i>Potencia mecánica</i>	38
Ecuación 3.5 <i>Potencia eléctrica</i>	38
Ecuación 3.6 <i>Torque en la rueda</i>	38

Ecuación 3.7 <i>Torque en el eje motor</i>	38
Ecuación 3.8 <i>Corriente media</i>	56
Ecuación 3.9 <i>Resistencia del divisor de voltaje</i>	60
Ecuación 3.10 <i>Intensidad del divisor de voltaje</i>	61
Ecuación 3.11 <i>Voltaje de entrada del divisor de voltaje</i>	61
Ecuación 3.12 <i>Voltaje de salida del divisor de voltaje</i>	61
Ecuación 3.13 <i>Divisor de voltaje</i>	61
Ecuación 3.14 <i>Eficiencia de la energía</i>	69
Ecuación 3.15 <i>Consumo energético</i>	69
Ecuación 3.16 <i>Autonomía</i>	70
Ecuación 4.1 <i>Fórmula barométrica</i>	74
Ecuación 4.2 <i>Presión barométrica</i>	74
Ecuación 4.3 <i>Presión barométrica a 2200 msnm</i>	74
Ecuación 4.4 <i>Ecuación de la constante universal</i>	75
Ecuación 4.5 <i>Densidad atmosférica de masa</i>	75
Ecuación 4.6 <i>Fuerza de aceleración de masa</i>	77
Ecuación 4.7 <i>Relación de transmisión</i>	79
Ecuación 4.8 <i>Fuerza de gravedad</i>	90
Ecuación 4.9 <i>Sección del área transversal</i>	91
Ecuación 4.10 <i>Porcentaje de la capacidad utilizada</i>	103
Ecuación 4.11 <i>Energía consumida</i>	103

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

Para la redacción de este componente guíese en el Plan de Trabajo de Integración Curricular aprobado en su momento por Honorable Consejo Directivo de la facultad.

1.1 Problema de Investigación.

La contaminación ambiental derivada del uso de petróleo se presenta como un problema de gran envergadura para los motores de combustión interna. Considerando que los hidrocarburos tienen múltiples ventajas como: alta densidad de energía, costos reducidos, gran abundancia y distribución a nivel mundial. Sin embargo, la industria automotriz ha tenido un crecimiento exponencial durante los últimos años, lo cual, hace posible el agotamiento de combustibles derivados de petróleo. A raíz del notable crecimiento es indispensable la búsqueda de nuevas formas de obtener energía. El crecimiento y desarrollo se ha visto favorecido en los sistemas de propulsión eléctrica capaces de reemplazar a los motores tradicionales [1].

Los estudios relacionados con el medio ambiente, especialmente el impacto que causa es la contaminación por transporte motorizado, que representa el 75% a nivel mundial. Millones de vehículos de gasolina en circulación en todo el mundo contribuyen a la contaminación y al consumo de combustible [2].

Ante estos desafíos, la industria automotriz ha desarrollado kits de conversión que incluyen: motor eléctrico, inversor y la batería HV. El propósito es convertir vehículos con motor de combustión interna a vehículos eléctricos. Para ello, es importante el dimensionamiento correcto del vehículo y sus respectivos cálculos. Con la finalidad de que la propulsión del vehículo sea eficiente en carretera [3].

A pesar de la creciente popularidad de la electrificación de vehículos. la falta de estudios en ciudades de altura ha creado un vacío en el entendimiento de este fenómeno, este desconocimiento no solo limita la optimización de la movilidad eléctrica en entornos elevados, sino que también, obstaculiza el desarrollo de soluciones para las motocicletas eléctricas. De modo que el presente estudio busca abordar la eficiencia de las baterías HV en motocicletas convertidas a eléctricas, centrándose en regiones de relieves altos, específicamente la ciudad de Ibarra que está ubicado a 2200 msnm y una presión de 78 kPa [4].

Las baterías de los autos eléctricos son sistemas de almacenamiento de energía que cumplen la función de acumular y almacenar la energía química para ser transformado en energía eléctrica, alimentando el motor eléctrico del vehículo. Siendo las baterías de iones de litio las más comunes en los vehículos eléctricos actuales, en realidad es un conjunto de baterías individuales que forman un paquete de baterías, cada batería está conectada en serie y paralelo, con el fin de ser controlado por un circuito eléctrico específico.

El número de baterías individuales del pack de baterías, así como su tamaño y la forma en que están dispuestas, determina cuánta energía pueden almacenar en kilovatios-hora (kWh). La capacidad del paquete de baterías y su eficiencia son las que determinan la autonomía total de un vehículo eléctrico. Así, cuanto mayor sea el kWh de su batería, más autonomía tendrá el VE [5]. En la presente investigación se plantea la evaluación de aspectos como la eficiencia y consumo energético del vehículo con la finalidad de determinar la autonomía real de la batería HV para un vehículo eléctrico. Esto a razón de que puede variar en condiciones de altura por las condiciones topográficas y terrenos con pendientes que posiblemente se presenten en un ciclo real de conducción, generando una alteración en su eficiencia.

1.2 Justificación

El presente trabajo de grado evalúa la autonomía de la batería de alta tensión resultado de la conversión de la motocicleta MCI a EV y determina la autonomía real mediante pruebas verificando la mejora en rendimiento en ciudades de altura donde los vehículos actuales tienen dificultades.

La investigación se plantea debido a la falta de estudios sobre el rendimiento de los vehículos eléctricos en zonas altas, como las que se encuentran en nuestro país y especialmente en la ciudad de Ibarra que se sitúa en la provincia de Imbabura. Por lo tanto, se considera relevante realizar y difundir estos trabajos de investigación, con el objetivo de contribuir al desarrollo tecnológico local, al aumento de vehículos eléctricos en el parque automotor nacional y a la sensibilización de la ciudadanía sobre las nuevas tecnologías del sector automotriz [6].

Esta investigación demostrará con datos convincentes la notable ventaja que supone instalar un kit de electrificación a un vehículo, pues favorecerá de forma significativa a la movilidad urbana, reduciendo costos y sobre todo disminuyendo la contaminación ambiental con el fin de ser sostenibles con el medio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la eficiencia de la batería HV producto de la conversión de una motocicleta con motor de combustión interna a eléctrico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar y seleccionar la batería de alta tensión (HV).
- Implementar y adaptar la batería de alta tensión a la motocicleta vespa (VXL).
- Analizar la eficiencia de la batería de alta tensión en la ciudad de Ibarra a 2200msnm con una presión atmosférica de 78 kPa.
- Evaluar el consumo energético, la relación de peso potencia y consecuentemente la autonomía de la motocicleta producto de la conversión.

1.4 Alcance

Con el fin de reducir la emisión de gases contaminantes provocados por los motores de combustión interna (MCI) una alternativa eficaz es la conversión a un vehículo eléctrico (EV). Ese proceso está limitado por ciertos factores como: infraestructura inadecuada, innovación tecnológica y puntos de cargas. Actualmente las ofertas de motocicletas eléctricas no se adaptan a las condiciones topográficas de algunas zonas, ni a las expectativas de los usuarios en cuanto a potencia y autonomía. El objetivo de esta investigación es evaluar la eficiencia real de una batería HV, que es la consecuencia del proceso de conversión, en la ciudad de Ibarra con una altura de 2200msnm y una presión atmosférica aproximadamente de 78kPa.

La conversión de un vehículo eléctrico requiere una batería HV adecuada, que se seleccionará según criterios clave: peso, costo, ciclo de vida y densidad energética, que deben superar el rendimiento del motor de combustión interna original. Se implementará una batería de 72V 40Ah, la cual será adaptada a la estructura de una motocicleta Vespa modelo (MLM) de 150cc del año 2001, que pertenece a la categoría L3 según la normativa técnica ecuatoriana RTE INEN 2656 “clasificación vehicular”.

Las pruebas se llevarán a cabo en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, específicamente en el cantón San Miguel de Ibarra, al norte del Ecuador. Las pruebas consistirán en evaluar las eficiencias, consumos energéticos y por ende su autonomía, considerando las secciones: autopista, rural y urbano. La recolección de datos se realizará mediante un data logger capaz

de medir dos parámetros fundamentales como son: el voltaje y la corriente que facilitarán el proceso de conversión a unidades de energía que se consume durante la trayectoria de ensayo, a fin de obtener una eficiencia real para los distintos relieves topográficos en la ciudad de Ibarra.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PRINCIPIOS

2.1.1 *Motocicleta Eléctrica*

La motocicleta eléctrica lleva mucho tiempo formando parte del progreso de la movilidad humana, los cuales se registran desde finales del siglo XIX, dónde se pueden encontrar las primeras patentes, en base al artículo *Popular Mechanic*, publicado en 1911 la cual expone la primera motocicleta eléctrica [7].

A partir de los años 2000, gracias a la creciente popularización de la batería de litio, se evidencia un cambio creciente e innovación en cuanto a la electrificación de las motocicletas.

Hoy en día, el panorama es preocupante debido a las distintas situaciones como: problemas ambientales, el aumento de la temperatura global y el incremento de los precios en combustibles que han desencadenado la electrificación progresiva, con el fin de fomentar el desarrollo de energías limpias [8].

2.1.2 *Generalidades*

Es posible entender un proceso de transformación eléctrica al cambio en cuanto a su sistema de propulsión original [9], la conexión de un sistema que incorpora motores eléctricos y una batería el cual es responsable de proporcionar energía eléctrica. Así, se incorpora al grupo de vehículos eléctricos (EV), por sus siglas en inglés (Electric Vehicle). Bradley C et al., reforzó la idea que, mediante la sustitución del motor de combustión interna de un vehículo de gasolina, por un tren motriz eléctrico, sea posible la conversión a vehículos EV [10].

El objetivo de un proceso de transformación eléctrica podría cubrir preferencias o requerimientos tanto económicos, medioambientales o de rendimiento eléctrico, promoviendo a nivel mundial una era ecológica y reducida en carbono [11]. El estudio de [12], presenta un análisis del ciclo de vida de la cuna a la tumba, en la cual se evidencia que la gasolina causa los efectos más graves de perjuicios que incluyen la salud humana, los ecosistemas y la falta de recursos. En particular, los daños provocados al ecosistema por la gasolina, supera en más de tres veces al de su análogo eléctrico.

Además, según Fleur et al., examinaron las ventajas ecológicas y económicas de las motocicletas eléctricas frente a una tradicional. Los resultados de los análisis tanto en Indonesia

y Tailandia demuestran que “[...] la opción más sostenible es transformar una motocicleta tradicional en una eléctrica, en lugar de comprar una nueva motocicleta eléctrica o seguir usando una convencional. [...]” [13]. Esta noción de transformar una motocicleta es respaldada por Carranza et al., dónde detectaron que, en la etapa de producción, en comparación con la opción tradicional, el impacto medioambiental era superior [14]. Por lo tanto, es conveniente la transformación de la motocicleta, disminuyendo de esta manera la fase de producción y, simultáneamente, reduciendo los contaminantes del entorno.

Los vehículos eléctricos poseen la capacidad de mejorar tanto la accesibilidad como la sostenibilidad en el sector del transporte [15].

Según la investigación de [16], la motocicleta eléctrica es un vehículo que ayuda a mejorar la calidad de vida de los habitantes especialmente en zonas urbanas. Es decir que, es una opción con una alternativa considerablemente aceptable para desplazarse de forma económica, sin ruidos y sin la causa principal de contaminación cómo son los gases de dióxido de carbono provocado por los motores de combustión interna.

Por consiguiente, la implementación de nuevas tecnologías y el uso de energías verdes permiten el desarrollo y la innovación de un transporte más amigable con el medio ambiente. Así mismo, estos vehículos se muestran como una solución de movilidad por ser cero emisiones ya que, presentan precios reducidos de mantenimiento y costos módicos de carga de la batería.

En conclusión, tiene un gran avance y potencial para convertirse en el medio de transporte urbano del futuro.

2.1.3 Conversiones Eléctricas: Motocicletas

En el proceso de conversión de motocicletas de combustión interna a eléctrica, es importante considerar las características técnicas, en cuanto al modelo de la motocicleta.

Drummond, en su obra diseño y construcción de una motocicleta eléctrica, plantea el desarrollo de los elementos principales y los parámetros de rendimiento del sistema. Se detallan tres elementos esenciales para la conversión eléctrica: la batería como fuente de energía, el inversor y el motor eléctrico, son los componentes que deben estar interconectados entre ellos [17], esto concuerda con Firmansyah, y su conclusión de la transformación, la cual se logra reemplazando el sistema de combustión por uno eléctrico y utilizando una batería para el almacenamiento de energía eléctrica [18].

Hay más elementos que intervienen en la transformación, tales como: el acelerador, key switch, el display, y a su vez elementos de mayor relevancia como el convertidor DC-DC, con la finalidad de suministrar energía a los dispositivos auxiliares. Además, se puede poner un variador de frecuencia para sistemas que operan con corriente alterna (AC), estos aparatos transforman la corriente directa (DC) de la batería en AC, a una frecuencia y amplitud necesarias para el motor y controlador de AC [17].

A partir de los componentes fundamentales, estos deben cumplir ciertos requisitos preliminares que satisfagan la necesidad al momento de la verificación de rendimiento del prototipo. Para conseguir esto, es necesario comprender ciertas magnitudes físicas y considerar el comportamiento dinámico al que está orientado el vehículo, para la elección eficaz de los componentes.

2.2 Principio de Funcionamiento de las Baterías

El funcionamiento de una batería [19], utiliza la relación química reversible de reducción-oxidación (redox), la cual consiste en un intercambio de electrones, siendo la oxidación la pérdida y la reducción su ganancia. Dicho de otra forma, es un proceso cíclico donde no desaparecen ni se destruyen, sino que, experimentan un cambio químico y pueden volver a su estado inicial bajo condiciones idóneas. Estas circunstancias se logran cerrando el circuito externo durante la descarga y aplicando una corriente externa para realizar la carga.

Una batería está conectada ya sea en serie o paralelo, este tipo de conexión es para obtener una diferencia de potencial máximo y aprovecharlo adecuadamente en su uso práctico.

Independientemente de la tecnología, diseño o tipo de acumulador, cada celda está compuesta por los siguientes elementos [20]:

Cátodo: electrodo positivo donde se produce la reducción, es decir que recibe electrones.

Ánodo: electrodo donde tiene lugar la oxidación, es decir pierde electrones.

Electrolito: es una sustancia que permite el paso de cationes, es decir electrones cargados positivamente, permitiendo su conducción. Generalmente se los halla en estado líquido, sin embargo, existen en estado sólidos y fundidos.

Separador: mantiene separados el ánodo del cátodo y evita fallos por corto circuito. Generalmente se usan materiales inertes y porosos permitiendo el paso del electrolito.

Contenedor: Están hechos de sustancias que resisten la corrosión química de los demás componentes y fortalecen la resistencia mecánica del acumulador.

Hay muchos tipos de batería que dependen de su composición como de electrodos y electrolitos. La capacidad de fuerza electromotriz de cada material varía y se basa en la calidad de conducción de su corriente eléctrica desde dentro de la celda hacia el circuito externo.

2.2.1 Parámetros Característicos de la Batería

En una batería, lo esencial es conocer sus parámetros característicos, puesto que permiten definir el punto óptimo de operación dentro de un sistema determinado.

Las características más importantes de una batería son [21]: el voltaje nominal, la energía almacenada, la potencia, la energía específica, capacidad de carga/descarga, temperatura de operación, tasa de auto descarga, la eficiencia y la vida útil.

2.2.2 Voltaje Nominal

Es un fenómeno físico que consiste en el empuje de electrones a través de un material conductor dentro de un circuito cerrado, generando el paso de corriente.

El voltaje de la batería disminuye mientras está en uso, por el contrario, el voltaje aumenta cuando se está cargando la batería.

El flujo de corriente ocurre desde el punto de mayor voltaje, hacia el de bajo voltaje. Podemos deducirla utilizando la famosa Ley de Ohm, dónde establece la corriente que fluye por un circuito donde se mantiene la proporción directa con el voltaje y es opuesto a la resistencia.

La fórmula que expresa esta ley es [22]:

$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad [2.1]$$

En una batería, la tensión nominal puede calcularse basándose en su resistencia interna (R_i), que ayuda a crear un modelo eléctrico para las reacciones químicas internas. Si una celda está activa y hay un flujo de corriente, se registra una caída de tensión en la salida, esto se debe a la resistencia interna de la batería. Para determinar la resistencia interna de la celda, no basta con medirla directamente, debe incluirse otra resistencia en serie con un valor muy pequeño en el circuito (R_c) y hacer circular la corriente. Por lo tanto, al aplicar la fórmula que se presenta a continuación, es posible determinar el valor de la resistencia interna [22]:

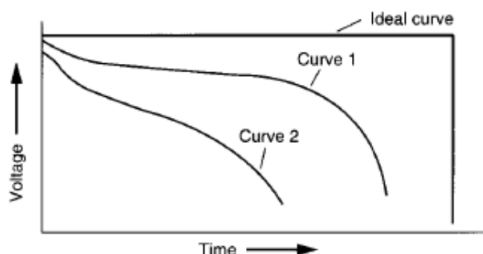
$$R_i = \frac{V}{I} - R_c \quad [2.2]$$

A medida que una celda se descarga su resistencia interna se incrementa, en parte, por la formación de residuos de reacción y al aumento de temperatura producido por el proceso químico. En la figura 1 se presenta la tensión de salida de la celda en ciertas circunstancias de

carga. Es ideal que las celdas de los vehículos eléctricos tengan una resistencia interna mínima, de modo que permita el paso de corriente de manera eficiente [23].

Figura 1

Curvas de una batería de voltaje vs tiempo



Tomado de: Curvas de una batería. Perfil de voltaje vs tiempo [24].

2.2.3 Energía Almacenada

La cantidad de energía que una celda puede almacenar está directamente relacionada con su tensión y la carga que contiene. Para expresar la energía de las baterías, se emplea la unidad conocida como Vatio-hora, dicho de otro modo, la energía que genera un Vatio en una hora. Si se requiere mayor claridad en términos de conversión el Vatio-hora también equivale a 3600 Julios, como se evidencia en la siguiente ecuación [25]:

$$E = V * I \quad [2.3]$$

2.2.4 Potencia

Se define como la cantidad de energía eléctrica transferida por unidad de tiempo [25], en otras palabras, es la cantidad de energía que es suministrada o consumida en un tiempo definido. En el caso de la corriente continua (CC), es la potencia eléctrica generada por un dispositivo en un momento dado, se calcula simplemente multiplicando el voltaje (V), por la intensidad de la corriente (I). En conclusión, la potencia es directamente proporcional tanto al voltaje como a la corriente, lo cual se comprueba en la siguiente ecuación [25]:

$$P = V * I \quad [2.4]$$

2.2.5 Energía Específica

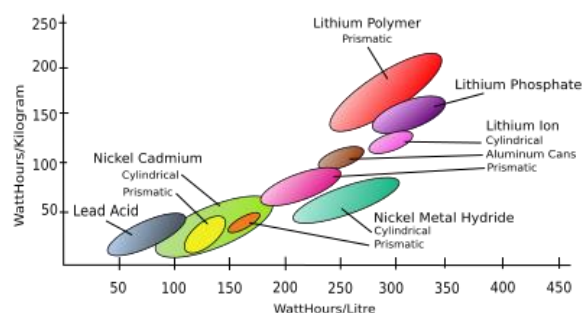
Según [26], es la cantidad de energía eléctrica que contiene la batería en relación con su masa o volumen. Por lo general, se presenta en o vatios-hora sobre kilogramo (Wh/kg) o Vatio-hora por litro (Wh/L). Conociendo los requisitos energéticos del vehículo y la energía específica, se logra comprobar de manera sencilla la masa de la batería. Este valor es solo una referencia,

dado que, la energía almacenada cambia dependiendo de la temperatura y la rapidez de su descarga.

En la figura 2, se ilustra cuánta densidad de energía hay por cada kilogramo y cada litro de diferentes baterías y tecnologías. Las baterías de Ion-Litio destacan por ser las que más energía almacenan por unidad de peso, logrando cifras de entre 150 – 200 Wh/Kg.

Figura 2

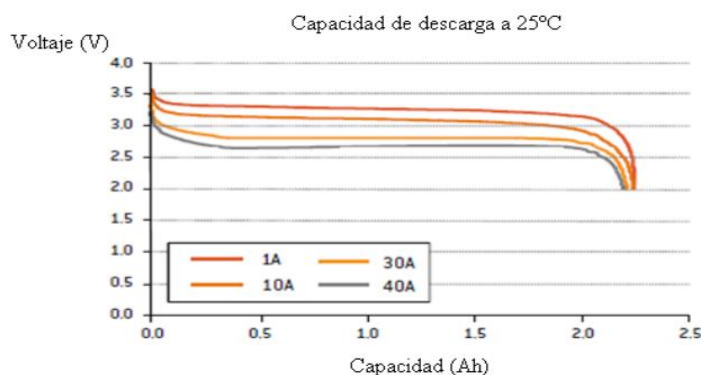
Densidad de energía



Tomado de: Pazmiño et al. Densidad de energía por volumen y masa [27].

2.2.6 Capacidad de Carga / Descarga

El aumento de la corriente de descarga provoca que las pérdidas del circuito se incrementen al máximo, frecuentemente generado por la elevación de la temperatura. La tensión de trabajo disminuye provocando el deterioro de la vida útil de la batería. En situaciones de descarga con niveles inferiores, la tensión de funcionamiento de la batería será casi igual al real o teórico, lo que resulta en una capacidad cuyo valor es muy próximo al calculado. Se ilustra en la figura 3, cómo la carga / descarga de la batería se ve afectada por varias intensidades de descarga a una temperatura ambiente de 25 °C.

Figura 3*Curvas de una batería de ion litio.*

Tomado de: Lee et al. Curvas de la batería de en función de la corriente de descarga a una temperatura constante [28].

Para calcular las corrientes de carga/descarga de una celda, se debe emplear la siguiente expresión matemática [28]:

$$I = M * C_n \quad [2.5]$$

En el cual:

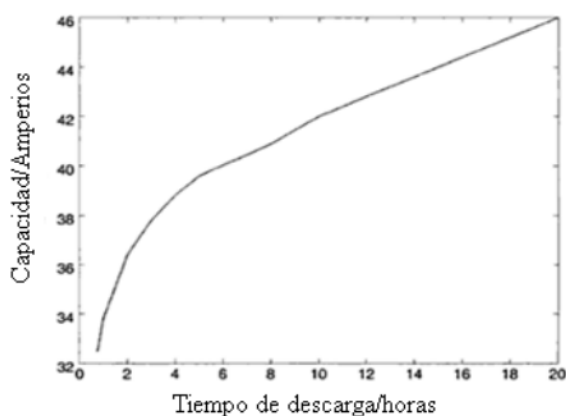
I: descarga de corriente medida en Amperios (A)

M: es la fracción de C.

C: es la capacidad de carga nominal de una celda en amperios-hora (Ah)

n: es el tiempo en horas para el cual dicha capacidad es reportada (h)

Según [29], el valor C representa la cantidad de corriente que fluye a través de un circuito durante un período de una hora, su unidad es 1/h, es decir, si consideramos que una celda tiene una capacidad de 1000 mAh y se descarga o se carga a 1C, la capacidad de esta celda será igual a 1A. Si se carga / descarga 10Ah de corriente asumiendo que la capacidad teórica de la batería es de 10Ah, corresponde a una corriente de 1C. Asimismo, la intensidad de 50mA para una celda de 100mAh significa una corriente de 0,5C. Ocasionalmente, el concepto de capacidad nominal se entiende de forma incorrecta, si tomamos el ejemplo de una batería que almacena una capacidad nominal de 10Ah, no implica que la batería pueda o deba suministrar 1A por 10h, 10A en 1h, o 20A en 0,5h. Cuando se pide o se exige una corriente de carga muy alta la energía útil disponible en los terminales de salida será menor. Según se observa en la Figura 4, el tiempo que se emplea en la descarga, afecta el valor de capacidad que se obtiene de la celda.

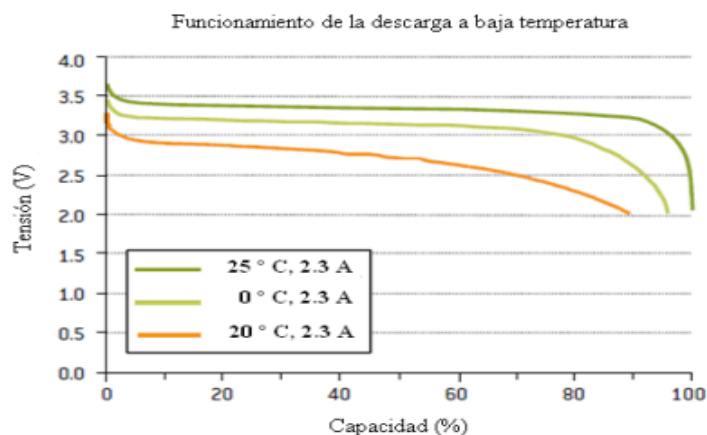
Figura 4*Tasa de cambio de la capacidad*

Tomado de: Infinite Power. Variación de la capacidad de la batería según el tiempo de descarga [30].

2.2.7 Temperatura de Operación

Según [31] La temperatura tiene una influencia significativa en el rendimiento y las propiedades de una batería. Es decir, si la temperatura de la batería baja considerablemente, incrementa la densidad de los electrolitos, provocando que las moléculas se muevan más lentas, aumentando así su resistencia interna, en consecuencia, la batería entrega menos potencia y tiene una menor capacidad útil en este tipo de climas.

De acuerdo con [32], recomienda que la batería debe trabajar en condiciones de 20 °C a 40 °C, de este modo, logra una reducción de la resistencia interna de la batería y el voltaje, lo que también resulta en un aumento de la energía que se pueda usar. En la figura 5 se presenta cómo se comporta una batería de litio a diversas temperaturas.

Figura 5*Curva de descarga de la batería de litio.*

Tomado de: Lee et al. Cambios en las curvas de descarga de la batería de Ion-Litio debido a variaciones de temperatura [28].

2.2.8 Tasa de Autodescarga

Según [33], la batería se autodescarga cuando las reacciones electroquímicas en su interior se intensifican, causando que pierda su energía rápidamente. Pese a que no esté conectada ni en uso, una batería almacenada se descarga de manera progresiva. Hay varias razones detrás de la autodescarga, entre la principal se destaca la temperatura. Si una celda opera a temperaturas extremadamente baja en el caso de 0°C o inferiores como lo afirma [34], el fenómeno de autodescarga se acelera debido al congelamiento de la química interna de la batería, lo que impide que alcance su carga total del 100%, ocurre algo similar si la batería se encuentra en condiciones de alta humedad. El ritmo de autodescarga no es el mismo para todas las baterías, sino que varía de acuerdo con su composición química.

2.2.9 Eficiencia

En términos sencillos la eficiencia es una medida que compara cuánta energía o potencia útil se obtiene de un sistema, respecto a la energía o potencia que se le suministró, esta afirmación también es corroborada por [35], donde menciona que el cálculo de la eficiencia consiste en tomar la energía de salida, dividirla por la de entrada, y expresar ese valor como un porcentaje multiplicado por 100. Cabe mencionar que la eficiencia en el caso del batería depende considerablemente de su resistencia interna y, por ende, de su temperatura de operación.

La eficiencia también se la puede expresar en términos de potencia con la siguiente ecuación matemática [35]:

$$\eta_{\%} = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100 \quad [2.6]$$

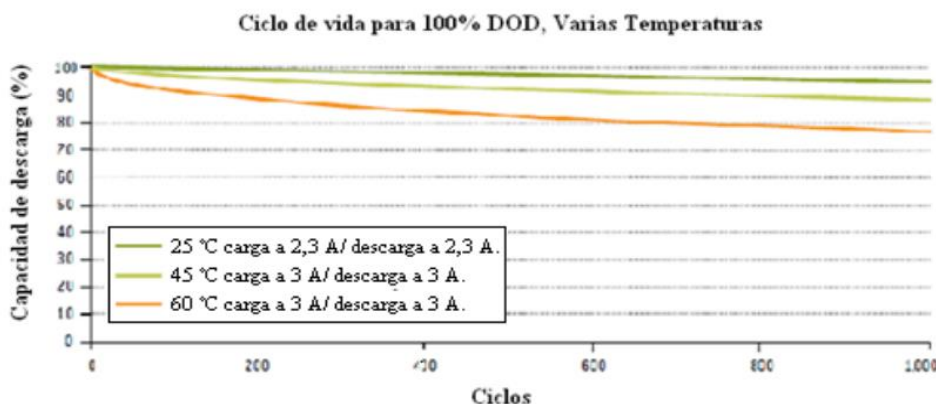
2.2.10 Vida Útil

La duración o longevidad de una batería, es la cantidad de ciclos de carga/descarga que aguanta manteniendo un buen estado de trabajo.

Si bien la vida útil de una batería depende de su química interna, esta también puede ser modificada por parámetros que vienen del exterior como son: la temperatura, efecto memoria, descargas pico, entre otros factores [36]. Se aprecia en la figura 6 el impacto directo de la temperatura, en el cual afecta directamente en los ciclos de carga/descarga de la batería y como resultado baja su capacidad de descarga en las celdas.

Figura 6

Relación entre la temperatura y el número de ciclos de vida de una batería.



Tomado de: Large. Impacto de la temperatura en batería de ion litio y su vida útil [28].

Con respecto al nivel de carga y descarga de la batería no es recomendable realizar ciclos completos y repetitivos, debido a que, resulta a un gran estrés en la batería. De acuerdo con [37], no se recomienda guardar la batería a niveles de carga elevados o vacíos, sino que se debe almacenar entorno 40-50% del nivel de carga.

El envejecimiento de la batería es esencialmente una degradación química, térmica y mecánica que reduce la eficiencia de la batería y por ende su vida útil que puede ofrecer. El uso óptimo de la batería es clave para prolongar su vida útil y evitar el envejecimiento prematuro, esta afirmación se sustenta en la investigación de Ecker et al [38], donde un amplio estudio basado en pruebas de ciclo acelerado reveló que en el caso de las celdas 18650 de litio la batería dura más y pierde menos capacidad a largo plazo si se la utiliza con un nivel de carga del 50%, sin importar que los ciclos de carga/descarga sean prolongados o reducidos.

2.3. Monitoreo del Estado de la Batería

2.3.1 El BMS

El sistema BMS se encarga de detectar condiciones de operación que puedan ser peligrosas y en consecuencia, de tomar las medidas apropiadas [39]. Así mismo, mediante su artículo de investigación [40] el sistema BMS, realiza tareas esenciales como el equilibrado de celdas, el control térmico, la administración del estado de carga (SOC%) y el mantenimiento preventivo protegiendo la batería. El rol que ejerce un sistema de BMS es esencial para prolongar la vida útil de la batería.

2.3.2 Estado de Carga (SOC%)

El SOC representa el porcentaje de energía que una batería eléctrica tiene disponible, respecto a su carga máxima. Según, [41], el estado de carga (SOC%) proporciona una indicación precisa de la energía restante, que se correlaciona directamente con la autonomía del vehículo.

De acuerdo con los autores Pérez et al., la estimación precisa del estado de carga (SOC) de una batería se ve limitada por variables como: la degradación por envejecimiento, el potencial de carga, las diferentes fluctuaciones de temperatura, la tasa de descarga y las malas prácticas de manejo.

Normalmente, el SOC% indica cuánta carga le queda a la batería en comparación con su capacidad total en ese instante [42], es posible determinar la capacidad restante de la batería, expresada en valores porcentuales (%) utilizando la fórmula a continuación:

$$SOC_{(\%)} = \frac{V_{\text{valor actual}} - V_{\text{valor mínimo}}}{R_{\text{ango útil de la Batería}}} (100\%) \quad [2.7]$$

2.3.3 Estado de Salud (SOH)

Según [42], el SOH muestra cuánto se ha deteriorado una batería y se calcula comparando su capacidad actual con la que tenía cuando era nueva. Cuando el SOH de una batería en un vehículo eléctrico baja del 80%, se entiende que ha llegado al final de su primera etapa de uso. A medida que envejecen, las baterías de iones de litio pierden capacidad, aumentan su resistencia y experimentan una disminución de voltaje, lo que dificulta su gestión durante la carga y el uso continuo [43].

2.4 Batería De Alto Voltaje (HV)

Según Han et al., [44], las baterías de alta tensión para vehículos eléctricos son uno de los componentes más importantes, debido a que solo este diseño es capaz de proveer una

considerable cantidad de potencia requerida para la aceleración y movimiento del vehículo a diferentes velocidades. Para fines del proyecto, la elección de la batería para una motocicleta eléctrica varía según las necesidades, incluyendo el rendimiento, la relación de peso potencia y la autonomía deseada, siendo el voltaje nominal un factor crucial.

2.4.1 Batería de Ion Litio

Según Ekberg et al [36], las baterías de Ion-litio se basa en procesos electroquímicos que se pueden revertir. En otras palabras, son reacciones electroquímicas donde los iones de litio fluyen entre el ánodo y el cátodo por medio del electrolito que comúnmente son un tipo de disolución de sal de litio en un disolvente no acuosa, esta idea coincide con la investigación de *Hamer Fonseca* [45]. Al sufrir descargaste la batería, el electrodo negativo (ánodo) libera electrones mediante la oxidación del litio, lo que genera un aumento en el número de oxidación del litio, perdiendo así su electrón e^- [45].



El ion-litio se desplaza por el electrolito, para ser recibido por el electrodo positivo como huésped. Este proceso implica la reducción del material receptor o anfitrión para integrar el ion de litio [45]:



Entonces la reacción total al descargar la batería será [45]:



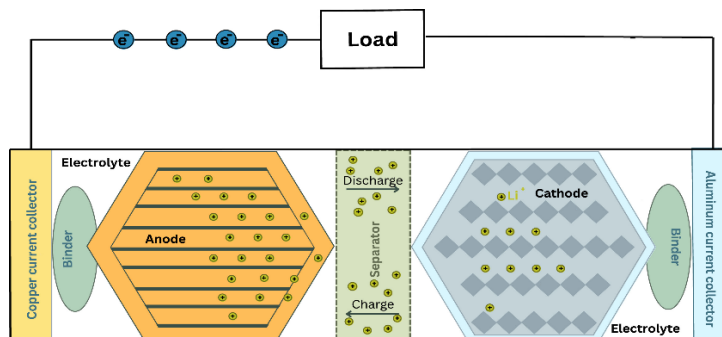
En cambio, para el proceso de carga sucede la reacción contraria.

Así pues, a medida que la batería está suministrando energía (descargándose), la fuerza electromotriz (FEM) produce una diferencia de potencial química, en consecuencia, los iones de litio fluyen del ánodo al cátodo a través del electrolito, y los electrones viajan por el cableado externo para suministrar la energía eléctrica.

Este tipo de batería se destaca por su alta densidad de energía, ligeros en cuanto al peso, la resistencia que tiene al momento de la descarga y la posibilidad de soportar contables ciclos de carga/descarga. Lo que han facilitado la producción de acumuladores de energía que son compactos, ligeros, versátiles en diseño y muy eficientes. En la Figura 7, se muestra de forma sencilla cómo opera la batería a un nivel atómico.

Figura 7

Celda de una batería de ion litio operando a nivel atómico.

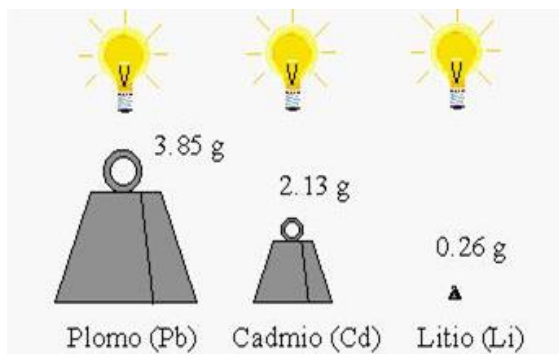


Tomado de: Ekberg et al. Diagrama de funcionamiento de una celda ion litio [36].

❖ Aspectos Positivos

La batería que usa este tipo de tecnología tiene varios puntos a favor:

- Alto Voltaje Nominal: Cada celda de Ion-Litio proporciona 3.7V, el cual se asemeja a la tensión del fosfato de hierro y litio (LFP) con 3.2V.
- Elevada Densidad Energética: Su capacidad de carga es más alta por unidad de volumen y masa, el litio al ser un elemento ligero permite que se almacene mayores cantidades de electrones.
- Bajo Peso: Se puede almacenar la misma cantidad de energía que otras baterías antiguas a diferencia que con un peso menor, como resultado se consume menos energía y aumenta su rendimiento, como se puede apreciar en la figura 8.
- Alta Tasa de Descarga: En el caso de las baterías de lito ferro fosfato (LFP) que se comercializan en el mercado su tasa total de descarga es muy rápida con tan solo 2 minutos.
- Configuraciones Geométricas: Se tiene diferentes configuraciones geométricas como resultado de posibles aplicaciones en diversos componentes desde electrónicos portátiles hasta paquetes de baterías para vehículos eléctricos de grandes capacidades.
- No se produce el efecto memoria.
- Vida de la Batería: de acuerdo con [46], la batería de ion litio para vehículos eléctricos indican más de 3000 ciclos de carga y descarga, utilizando una corriente de descarga de un tercio de su capacidad nominal alcanzando una degradación del 20% de su energía total.

Figura 8*Masa necesaria para producir 1A durante 1h*

Tomado de: Cedib. Masa necesaria para producir 1 Amperio durante 1 hora [47].

❖ Inconvenientes

A pesar de sus puntos a favor, esta tecnología de almacenamiento de energía está lejos de ser perfecta y arrastra varios inconvenientes, entre ellos:

- **Costos:** Inicialmente sus costos son superiores a la variedad de baterías existentes en los mercados.
- **Sobrecalentamiento:** En caso de que una celda supere una temperatura crítica ocasiona una reacción en cadena, provocando la liberación de un gas tóxicos e inflamable, además del aumento de presión y como resultado generando una explosión.
- **Temperaturas de Operación:** De acuerdo con [32], el promedio ideal para un funcionamiento óptimo de la batería de litio esta entre 20 °C a 40 °C, es decir, si las condiciones de temperaturas se encuentran fuera de estos rangos, su rendimiento se reduce progresivamente a medida que se aleje del rango ideal.
- **Carga lenta:** El tiempo de carga de las baterías de iones de litio es un gran impedimento para la adaptación masiva de los vehículos eléctricos, de acuerdo con los resultados de [48].

2.4.2 Características y Propiedades de la Batería HV

- **Batería de 48 voltios:** es lo más común para motocicletas eléctricas ligeras y scooters, presenta un equilibrio entre potencia y eficiencia energética convenientes para zonas urbanas.
- **Batería de 60 voltios:** mayormente utilizados para motocicletas de tamaño medio a grande, ofrece equilibrio entre potencia y autonomía adecuados para sectores urbanos y semi urbanos.
- **Batería de 72 voltios:** es una batería de gama media alta que brinda un equilibrio entre potencia y autonomía, el cual es el adecuado para trayectorias urbanas y suburbanas.

- **Batería de 84 voltios o superior:** son considerados para motocicletas de alto rendimiento y deportivos, tienen una capacidad elevada en cuanto a velocidad y aceleración [49].

Es importante señalar que la autonomía de las motocicletas eléctricas se ve influenciada por el voltaje de la batería, de modo que, un voltaje alto proporciona una mayor capacidad para recorrer rutas extensas.

2.4.3 Tipos de Baterías

En términos generales, las tecnologías de almacenamiento pueden categorizarse en sistemas mecánicos, térmicos, químicos, eléctricos y electroquímicas entre estas tecnologías, el almacenamiento mecánico constituye la modalidad más antigua de almacenamiento energético. A pesar de su relevancia histórica, los sistemas de almacenamiento mecánico se hallan con restricciones importantes, entre ellas la necesidad de grandes cantidades de hidrocarburos [50]. Según Kansal et al., las baterías electroquímicas, especialmente las de iones de litio, son superiores en las aplicaciones actuales de almacenamiento energético gracias a su alta densidad energética. Así también, lo refuerza [51], las baterías de litio demuestran una elevada eficiencia energética, un amplio ciclo de vida, una elevada densidad de potencia, lo que la hace una opción común para el almacenamiento de energía.

La investigación en el campo de las baterías mejoró, resultando en el desarrollo de algunas de las baterías más significativas hasta la fecha.

A continuación, se presentan algunas de ellas:

Batería de plomo ácido: Es una de las tecnologías de baterías recargables más usadas y de manera extendida, está formada por un electrodo positivo de dióxido de plomo, un electrodo negativo de plomo en estado esponjoso y una solución diluida de ácido sulfúrico que actúa como electrolito[50]. Cabe mencionar que este tipo de baterías es muy utilizado en la industria automotriz para fines de arranque, así como para alimentar los sistemas de iluminación y encendido.

Batería de níquel-cadmio (Ni-Cd): Se trata de una batería recargable que utiliza hidróxido de níquel como material del electrodo positivo y cadmio como material del electrodo negativo. Durante la descarga, el hidróxido de níquel en el electrodo positivo experimenta una reacción química con el electrolito, lo que resulta en la liberación de electrones, estos fluyen hasta el electrodo negativo, donde el cadmio reacciona para formar hidróxido de cadmio, este flujo de

electrones es lo que produce la energía eléctrica que alimenta el circuito [52]. Este tipo de baterías son muy concurrentes en dispositivos electrónicos pequeños.

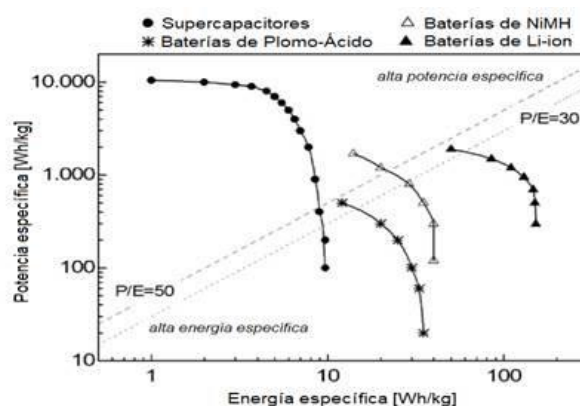
Batería de níquel-hidruro metálico: Al liberarse energía, la aleación de hidruro metálico absorbe los iones de hidrógeno en el electrodo negativo, mientras que, en el electrodo positivo, el hidróxido de níquel cede electrones, lo que genera la corriente eléctrica que fluye por el circuito externo [53]. Este tipo de baterías es muy usado en dispositivos electrónicos de última generación como teléfonos inteligentes y computadoras portátiles.

Batería de ion litio: La composición de esta batería recargable incluye carbono, comúnmente en el polo negativo, grafito para el ánodo y óxido de cobalto en el polo positivo para el cátodo [50]. Según, las declaraciones a favor de las baterías de litio [54] es considerada como una tecnología clave para lograr una transición energética sostenible, siendo las baterías de iones de litio fundamentales para el avance de los vehículos eléctricos.

A continuación, se muestra una comparación entre las diferentes tecnologías de almacenamiento de energía, entre ellas, los distintos tipos de baterías y super capacitores, basada en sus valores de potencia y energía específicas. En la figura 9 se ilustra la forma en que se almacena la energía [55].

Figura 9

Densidad energética de los distintos tipos de baterías.



Tomado de: Mastragostino & Soavi. Comparación energética de los diferentes tipos de tecnologías en baterías [56].

2.5 Problemas de la Batería de Alta Tensión

2.5.1 Condiciones Ambientales

Según Nirmalkar et al., el comportamiento de la batería varía significativamente en función de si se expone a temperaturas altas o bajas, cuando la temperatura baja, su capacidad tiende a reducirse, mientras que la resistencia interna aumenta, siendo inversamente proporcional [57]. Aunque las baterías de iones de litio ofrecen numerosos beneficios, su rendimiento óptimo se restringe a un rango de temperatura limitado, específicamente entre 15 y 40 grados Celsius, este concepto relacionado con la temperatura se ve respaldado por [58], se determinó que a medida que aumenta la altitud, la temperatura de la batería de litio tiende a disminuir, lo que resulta en un funcionamiento más eficiente.

2.5.2 Sistema de Refrigeración de la Batería de Alta Tensión

Los sistemas de enfriamiento de batería más habituales para las baterías incluyen métodos basados en aire y líquido. Según Yang et al., en los sistemas de enfriamiento activo, se requiere energía externa para operar dispositivos mecánicos como: bombas, compresores o ventiladores, que mueven el refrigerante hacia la fuente de calor. Por el contrario, sin la necesidad de energía adicional, los sistemas de refrigeración pasiva utilizan materiales térmicos especiales o estructuras disipadoras de calor en las baterías de iones de litio, promoviendo así una eficiente transferencia de calor al entorno [59]. Combinando ambos sistemas de refrigeración, se logra una disipación de calor superior y una distribución de temperatura más uniforme en la batería.

2.5.3 Ciclos de Carga y Descarga

De acuerdo con los estudios de Ling et al., el proceso de carga finaliza de forma anticipada cuando ciertas celdas se cargan por completo, dejando a otras con capacidad de almacenamiento incompleto, por el contrario, las celdas se interrumpen cuando alcanzan su límite de descarga, a pesar de que otras aún pueden suministrar energía [60]., estos factores conducen sobrevoltajes y a una degradación acelerada de las celdas, lo que eleva el riesgo de sobrecalentamiento, explosión e incendio.

Se presenta ciclos de acuerdo con el funcionamiento de la batería:

Carga: en esta etapa, los iones de electrones vuelven a su estado inicial debido a la energía proveniente de una fuente externa.

Descarga: una corriente eléctrica se genera en esta fase, que es óptima para accionar el motor eléctrico que propulsa el vehículo [61].

2.5.4 Efectos de la Presión Atmosférica en el Rendimiento de la Batería HV

En base a los resultados de las investigaciones de [62], aunque la presión atmosférica no altera directamente la química de las baterías de iones de litio, sí influye en su rendimiento a través de la gestión térmica, como indican los hallazgos de las investigaciones de *Vargas*, los resultados obtenidos revelan que la eficiencia de la batería es superior en zonas de menor altitud, debido a la mayor densidad de aire y, consecuentemente, a la mayor concentración de oxígeno presente en ambientes de baja presión atmosférica. Por el contrario, la presión atmosférica disminuye con la altitud, lo que afecta la densidad del aire y la disponibilidad de oxígeno [58]. El estudio de los datos revela que el rendimiento energético de la batería HV, está directamente relacionado con la presión atmosférica.

2.6 Introducción a la Dinámica del Vehículo

2.6.1 Dinámica del Vehículo.

El proceso de dimensionamiento de los componentes comienza con aquello que genera la fuerza necesaria para propulsar el vehículo [63]. De acuerdo con Santos et al., mediante la dinámica longitudinal el rendimiento del vehículo se ve afectado directamente por su masa total, que al aumentar la inercia favorece al desgaste de neumáticos cómo también de carreteras y disminuye la eficiencia del combustible al exigir más al motor [64]. El propósito de este estudio, que aborda vehículos diseñados para el movimiento sobre tierra, cómo es el caso de las motocicletas, se consideran fundamentales las maniobras de manejo, aceleración, giro y frenado.

El comportamiento dinámico del vehículo se define por la interacción de diversas fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo[65], a continuación, se presentan las fuerzas que se resisten al avance:

- Resistencia rodadura: F_{RR}
- Resistencia aerodinámica: F_A
- Resistencia a la gravitatoria: F_G

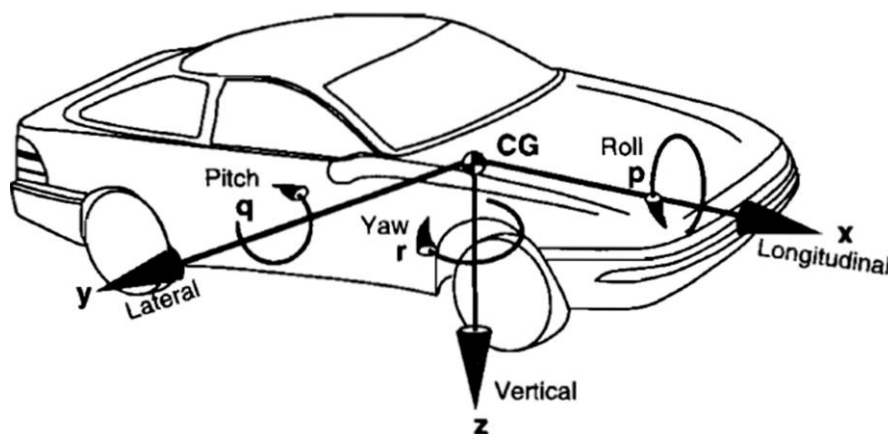
El interés principal en el análisis de la dinámica de un vehículo se enfoca en examinar la respuesta del vehículo ante las fuerzas generadas, considerando distintas condiciones de conducción y alineaciones particulares[66].

2.6.2 Sistemas de Coordenadas del Vehículo

Majdoub et al. Resalta que La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), ha establecido normas estandarizadas para el sistema de ejes de los vehículos. Para llevar a cabo los cálculos y el análisis de los resultados, se determinó un sistema de coordenadas cartesianas que expresó [67], cómo se puede presentar en la figura 10.

Figura 10

La norma SAE J670



Tomado de: SAE. Sistema de ejes del vehículo [67]

Los puntos de las coordenadas del sistema son:

x: plano longitudinal hacia adelante.

y: plano lateral hacia el lado derecho.

z: plano hacia abajo respecto al vehículo.

p: velocidad de Roll respecto al eje x.

q: velocidad de Pitch de acuerdo con el eje y.

r: velocidad Yaw referente al eje z.

CG: centro de gravedad.

El método de Newton-Euler destaca como una herramienta fundamental en el análisis dinámico de articulaciones con seis grados de libertad (GDL), en el caso de un vehículo. Traslación a través de los ejes x, y, y z, que corresponden a las direcciones longitudinal, lateral y vertical. Movimiento de giro respecto a los ejes x, y, z asociados al roll, pitch y yaw, respectivamente [67].

La complejidad de un vehículo radica en ser un sistema mecánico integrado por diversos componentes con fines de cálculo, se supone que la masa completa del vehículo se encuentra localizada en un punto, el cual es el centro de gravedad (CG). Además, según Santos et al., el rendimiento dinámico de un vehículo se ve críticamente afectado por su masa, siendo este el parámetro más influyente [65]. En relación con esto, cabe destacar que la masa total del vehículo afecta de dos formas notables.

La fuerza de gravedad: Establece las fuerzas de reacción del suelo sobre los neumáticos, y, en consecuencia, las fuerzas de fricción y de rodadura que surgen por la interacción.

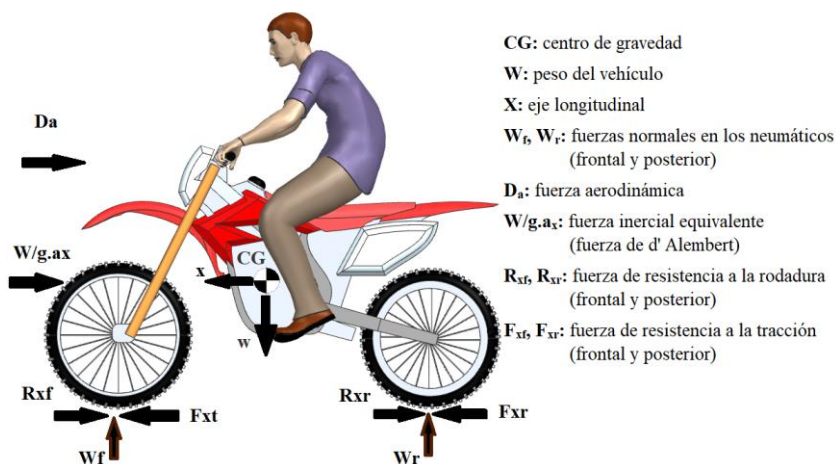
La inercia: La masa del vehículo incide en oponer resistencia, afectando de manera negativa en aceleración o frenado, y también, es un factor determinante en los neumáticos al transferir cargas al acelerar, frenar o girar [68].

2.6.3 Desplazamiento Longitudinal.

El vehículo se desplaza en una trayectoria que se alinea con el eje x, que corresponde a su dirección longitudinal, en esta dirección, el movimiento se ve obstaculizado por varias fuerzas[65] como se aprecia en la figura 11.

Figura 11

Fuerza de resistencia longitudinal



Tomado de: Adán Glowacz. Fuerzas que principalmente resisten el movimiento en dirección longitudinal [69]

2.7 Las Fuerzas que se Oponen Principalmente al Movimiento de Avance

2.7.1 Fuerza de Resistencia a la Rodadura

Es la fuerza que se opone al avance entre el neumático y la pista, dicho de otro modo, establece las fuerzas que posibilitan romper la resistencia a la tracción, el frenado y la dirección del vehículo, teniendo en cuenta las fuerzas longitudinales y laterales, según se indicó en su libro “Teoría de los Vehículos Automóviles” [70]. Además, la fuerza que dificulta el movimiento se produce por la histéresis en los neumáticos[71].

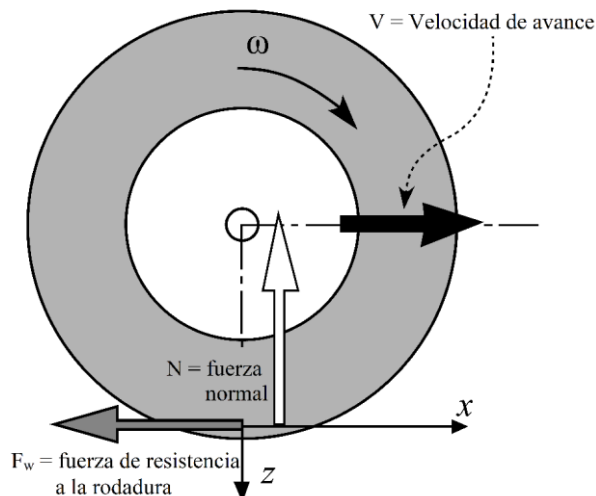
Asimismo, con el aporte de Bouteldja et al., la resistencia a la rodadura, en función del tipo de neumático y los escenarios de conducción, representa entre el 20 y 30% del gasto total de combustible de un vehículo [72].

En la Figura 12, se aprecia que la fuerza actúa en sentido contrario al desplazamiento del vehículo.

Fuerza de resistencia a la rodadura

Figura 12

Fuerza de resistencia a la rodadura



Tomado de: Netzsch. Dirección de la fuerza de resistencia a la rodadura [72]

La fuerza de fricción por rodadura se define a través de una ecuación [71].

$$F_{RR} = \mu_{RR} mg \quad [2.11]$$

Por lo tanto, μ_{RR} es el coeficiente de resistencia a la rodadura siendo un valor adimensional, la masa (m) y la gravedad (g), depende de la cantidad de presión y tipo de neumático, M_{RR} su valor se determina por medio de la siguiente fórmula.

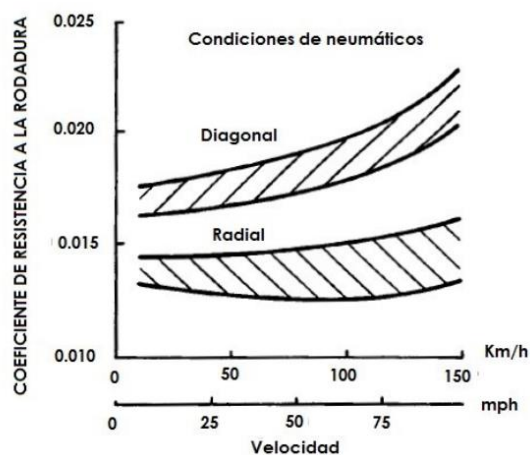
$$\mu_{RR} = \frac{F}{G} \quad [2.12]$$

Se denomina F a la fuerza necesaria para mover el eje del neumático en dirección horizontal, mientras que G representa la carga vertical soportada por el neumático sobre una superficie horizontal plana [71].

El diseño del neumático influye considerablemente en su resistencia a la rodadura [73] . Se puede observar en la figura 13 y figura 14, los coeficientes de rodadura a distintas velocidades. Además, se presenta una variedad de neumáticos para vehículos de pasajeros, junto con sus especificaciones de presión de inflado y capacidad de carga.

Figura 13

Variación del coeficiente de rodadura



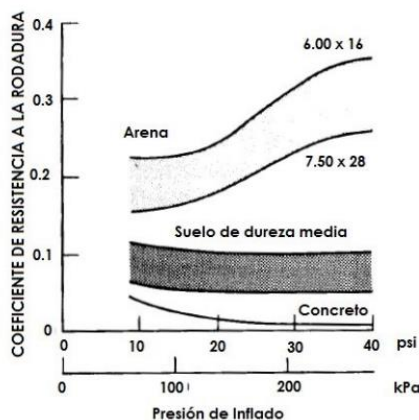
Tomado de: Yahia A. Coeficiente de rodadura [72]

Se presenta la variación del coeficiente de resistencia a la rodadura de los neumáticos para automóviles de turismo, tanto radiales como diagonales, en condiciones de carretera plana y lisa, bajo cargas y presiones de inflado estándar [73].

También se analiza la relación entre el coeficiente de resistencia a la rodadura, la presión de inflado del neumático y las diferentes superficies de rodadura.

Figura 14

Coeficiente de rodadura con presión de inflado.



Tomado de: Wiratkasem K. Coeficiente de resistencia a la rodadura con nivel de presurización de inflado en distintas superficies [74].

2.7.2 Fuerza de Resistencia a la Rodadura

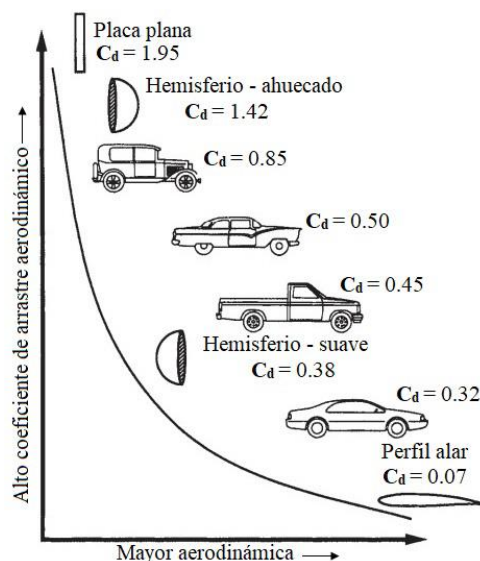
La aerodinámica de un vehículo influye tanto en la resistencia que el aire opone a su movimiento (arrastre o drag), como en la fuerza que lo mantiene adherido al suelo (sustentación o lift) o lo eleva (carga aerodinámica o downforce), siendo fundamental la ley de Bernoulli para entender este principio [75]. De igual manera, esta noción se ve respaldada por Sheng, el movimiento de un vehículo se ve obstaculizado por la resistencia aerodinámica, una fuerza que depende de la presión atmosférica, el tamaño frontal del vehículo y la velocidad del automóvil en relación con el viento [76].

A continuación, se presenta la ecuación que explica con mayor precisión la resistencia aerodinámica [76].

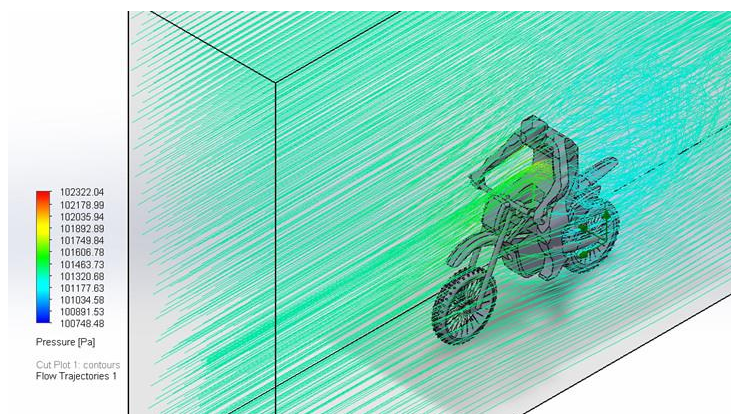
$$F_A = \frac{\rho * A * C_d * V^2}{2} \quad [2.13]$$

En donde, F_A define la fuerza de arrastre aerodinámico, ρ para la densidad del aire, el área frontal del automóvil (A), el coeficiente aerodinámico C_d y la velocidad del vehículo (V).

Tal como se evidencia en la Figura 15, el coeficiente de arrastre aerodinámico (C_d), varía según la forma y el tipo de vehículo.

Figura 15*Fuerza aerodinámica*

Tomado de: Sheng R. Influencia de la forma del vehículo en su coeficiente aerodinámico [76]
 Para determinar el coeficiente C_d , se emplea un análisis de fluido computacional (CFD), abreviado en inglés como (Computational Fluid Dynamics), para el cual es necesario un modelo CAD del objeto de estudio, tal como se aprecia en la Figura 16.

Figura 16*Coeficiente aerodinámico (C_d)*

Tomado de: Cifuentes Recalde. Análisis CFD en software Solidworks [77].
 Mediante un software de análisis CFD, se procede a estudiar el modelo CAD, con el fin de obtener el coeficiente C_d y la fuerza F_A .

2.7.3 Fuerza de Resistencia a la Rodadura

Según Zhuang et al., la resistencia por pendiente se constituye como una fuerza contraria al desplazamiento, debido a la atracción gravitacional de la Tierra, esta resistencia por pendiente es directamente proporcional al seno del ángulo de inclinación de la carretera y al peso total del vehículo, para superar la resistencia por pendiente y permitir el avance del vehículo, el motor debe generar una fuerza equivalente o superior [78].

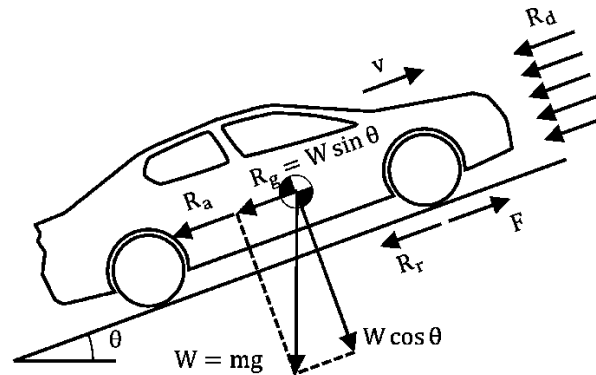
Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$F_p = W * \text{sen}(\theta) \quad [2.14]$$

Dónde, F_p representa la fuerza, W es el peso del objeto de estudio y α es el ángulo de inclinación del suelo.

Figura 17

Resistencia por pendiente

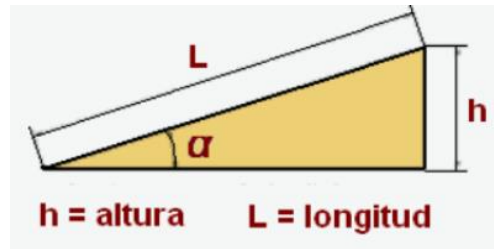


Tomado de: Studocu. Fuerza de ascenso por pendiente [79]

El grado de inclinación de una carretera o camino se establece por la relación entre la diferencia de altura y la distancia horizontal recorrida [79].

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{h}{L} \quad [2.15]$$

$$\text{sen}(\alpha) * 100 = \text{pendiente en \%} \quad [2.16]$$

Figura 18*Ángulo de inclinación*

Tomado de: Studocu. Ángulo de inclinación del terreno [79]

2.7.4 Fuerza Aceleración de Masas

Mediante la segunda ley de Newton, se calcula la fuerza neta que está en función de la aceleración [80], este sistema es el efecto directo de la fuerza neta, sin embargo, también es necesario considerar el efecto de inercia de las piezas rotatorias conectadas en la transmisión de potencia de la motocicleta, por esta razón, se incorpora un factor γ_m , que se denomina factor de masa.

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar la fuerza neta:

$$F_{net} = \gamma_m m a \quad [2.17]$$

En el cual m es la masa y a es la aceleración del objeto.

$$\gamma_m = 1.04 + 0.0025(\varepsilon_{Gear} * \varepsilon_{Diff})^2 \quad [2.18]$$

Los términos ε_{Gear} y ε_{Diff} , representan la relación de transmisión de los engranajes y del diferencial, componentes de la cadena de transmisión de potencia del vehículo.

2.8 Análisis de Fuerzas Longitudinales en Unidades Eléctricas

2.8.1 Total de Fuerzas longitudinales

Se propone que el cálculo de la potencia requerida para el motor eléctrico se base en la fuerza resultante, que, a su vez se obtiene al considerar cinco fuerzas que influyen en el movimiento de la motocicleta [81].

La ecuación en estudio se define como:

$$F = F_{rr} + F_A + F_G + F_{AC} \quad [2.19]$$

En dónde, se representa F como la fuerza de tracción resultante, fuerza de aceleración F_{ac} , fuerza de resistencia a la rodadura F_{rr} , fuerza de arrastre aerodinámico F_A y

la fuerza de contribución del acenso por pendiente F_g .

Para determinar la potencia requerida del motor eléctrico, Maxwell también incluye estas fuerzas que resisten el movimiento, plantea un modelo matemático, representado mediante una ecuación diferencial no lineal de segundo grado [82]. Con la ayuda de software matemático, es posible analizar y simular el rendimiento y comportamiento del sistema, visualizando los resultados en gráficos.

$$F_{Motor} = F_{Inertial} + F_{Rolling} + F_{Drag} + F_{Gravity} \quad [2.20]$$

Zhang et al., con el fin de analizar el modelo de una motocicleta eléctrica de competición, se implementan herramientas de simulación y software matemático, considerando la resistencia a la rodadura y el arrastre aerodinámico [82].

2.9 Potencia y Energía

2.9.1 Potencia de tracción

La cantidad de potencia que un vehículo necesita para desplazarse a una velocidad y aceleración específicas en una carretera se obtiene al multiplicar la fuerza de tracción total por la velocidad lineal del vehículo [83], el resultado se expresa en kW.

$$P_{tracción} = F_{tracción} * V \quad [2.21]$$

La energía se define como el producto del voltaje (V) por la corriente (I), lo cual da como resultado la potencia. Al integrar esta expresión en función del tiempo, se obtiene como resultado la energía.

$$E = \int_0^t V(t) * I(t) dt \quad [2.22]$$

2.9.2 Potencia del Motor Eléctrico

La potencia de un motor eléctrico, medida en kW, se puede determinar a partir de la potencia de tracción, utilizando la fórmula que se plantea a continuación:

$$P_{motor} = \frac{P_{tracción}}{\eta_{transmisión}} \quad [2.23]$$

Igualmente, usando la misma potencia de tracción, se puede calcular cuánta potencia necesita el combustible, o la batería en un vehículo eléctrico, mediante la siguiente fórmula [84]:

$$P_{combustible} = \frac{P_{tracción}}{\eta_{motor\ eléctrico} \eta_{descarga\ de\ la\ batería}} \quad [2.24]$$

CAPÍTULO III

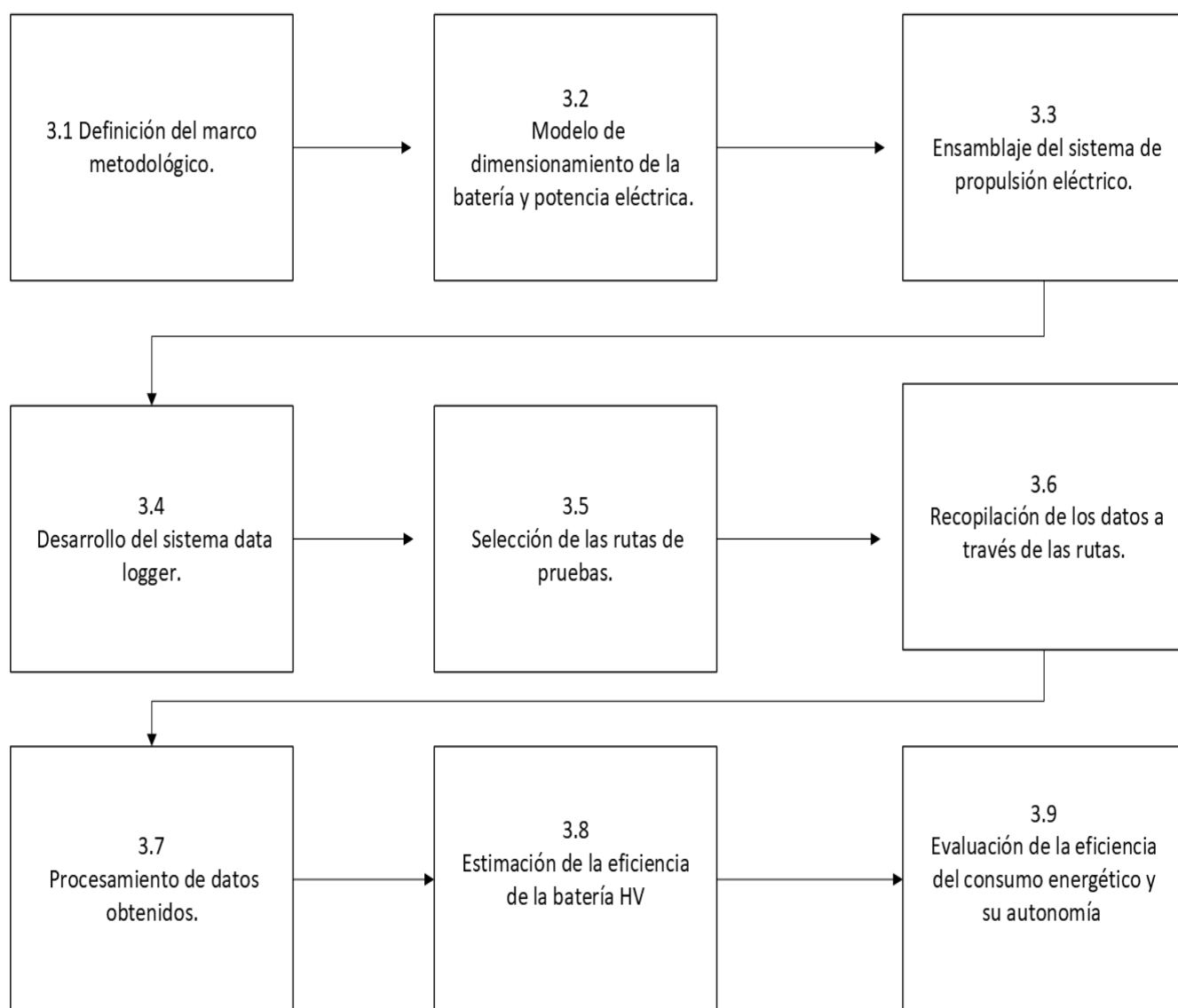
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Definición Marco Metodológico

Para lograr los objetivos planteados, este capítulo refleja el proceso metodológico aplicado. Organizamos las tareas paso a paso, de forma que sea entendible con la máxima claridad posible, de modo que los resultados sean comprobados y verificados.

Figura 19

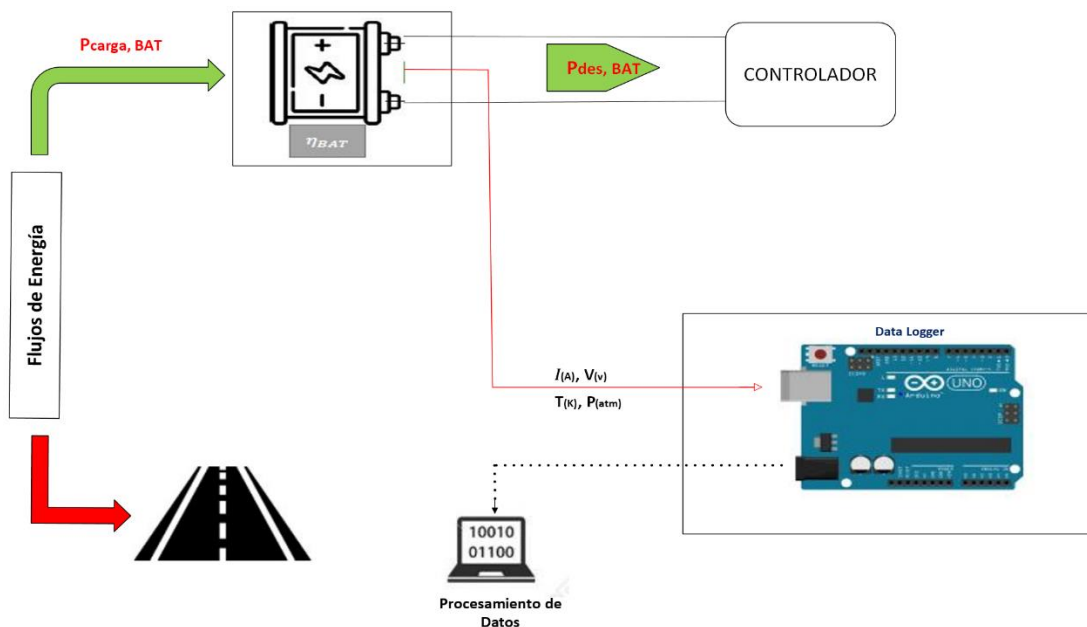
Diagrama de flujo del proceso de análisis de la eficiencia de la batería HV.



Habiéndose definido la hoja de ruta en general, el siguiente paso crucial, es detallar qué y cómo haremos la actividad principal que en este caso es medir la eficiencia de la batería HV y en consecuencia su autonomía producto de la conversión de la motocicleta a eléctrica mediante la metodología con un enfoque cuantitativo y un diseño de investigación cuasiexperimental. Por consiguiente, se diseñó el siguiente esquema, dónde se aprecia el procedimiento para la toma de datos.

Figura 20

Metodología para el cálculo de la eficiencia de la batería HV



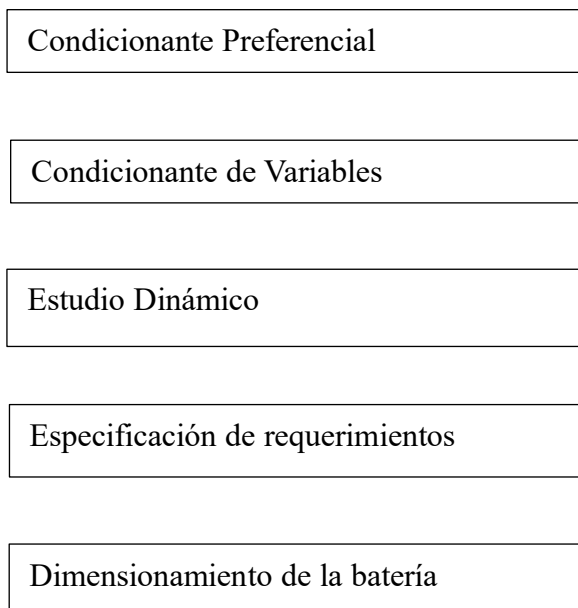
Como se visualiza en la figura 20, se propone en este apartado un sistema para estimar la potencia mecánica y eléctrica requerida en el proceso de electrificación de una motocicleta. Además, se logra obtener el dato de la eficiencia de la batería HV durante la ruta de ensayo a una altura de 2220 msnm y una presión de 78 kPa, por lo tanto, al momento de la carga se procede con el flujo de energía que va desde la red eléctrica hasta la batería, en cuanto a la descarga usamos el data logger, desarrollado para medir tensión y corriente que, al multiplicar el voltaje por la corriente, se calcula la potencia, lo que a su vez permite cuantificar la energía total suministrada por la batería, además, se considera la medición de la presión y temperatura, factores que influyen en el rendimiento de la batería.

La prueba comenzó con la batería totalmente cargada, y durante el recorrido de la ruta, los datos se registraron y almacenaron en el data logger con extensión .CSV (valores separados en

comas), permitiendo que el archivo sea fácilmente importado y analizado en cualquier programa de hoja de cálculo como Microsoft Excel, R Studio, entre otros, en un intervalo de segundo a segundo, logrando la descarga de la batería en condiciones de tráfico real. Una vez que se calcularon los valores de potencia para cada segundo, se realizó la conversión a unidades de energía (Wh) y mediante la aplicación de fórmulas estándar de la eficiencia (energía de salida vs energía de entrada), este parámetro nos permitió evaluar el rendimiento de la batería. Finalmente, permite calcular la autonomía de la motocicleta producto de la conversión de combustión a eléctrica.

3.2 Modelo de Dimensionamiento de la Batería y Potencia Eléctrica.

3.2.1 Modelo Planteado



3.2.2 Condicionante Preferencial

Para calcular la potencia necesaria en la conversión de una motocicleta a un sistema eléctrico, se requiere obtener datos sobre las características del vehículo y las condiciones del entorno de trabajo, que afecta la manera en que se conduce y la respuesta del vehículo en movimiento. Según este modelo, consiste en obtener información sobre las preferencias y el estilo de conducción del usuario, llamado *condicionante preferencial*.

La información pertenece a los siguientes datos:

- Aceleración
- Velocidad máxima

- Ángulo del suelo

Autonomía

En la tabla 1, se registra información acerca de las preferencias del usuario, información que se utiliza para el análisis del modelo.

Tabla 1 Condiciones iniciales propuestos por el usuario

Número	Parámetro	Unidades
1	Aceleración	[m/s ²]
2	Velocidad máxima	[m/s]
3	Ángulo del suelo	%
4	Autonomía	horas

Dado que los parámetros están relacionados con el propósito y la manera en que se conduce la motocicleta, su valor es determinado por el usuario que conduce.

La autonomía es un dato fundamental que se utiliza como criterio de selección de la batería en la fase de ensamblaje real de la motocicleta.

3.2.3 *Condicionante Variable*

Los datos que varían por las propiedades del vehículo y sus condiciones ambientales de operación se han denominado *condicionante de variables*.

Es necesario contar con los siguientes parámetros.

- Masa del conductor
- Masa de la motocicleta
- Área frontal de la motocicleta
- Radio de la rueda
- Densidad del aire
- Temperatura del ambiente.

En la tabla 2, se registran datos que no dependen de las preferencias del usuario, sin embargo, algunos de estos datos pueden ser mejorados para optimizar el rendimiento de la motocicleta.

Tabla 2 Datos iniciales para los cálculos

Número	Parámetros	Unidades []
1	Masa del conductor	kg
2	Masa de la motocicleta	kg
3	Área frontal de la motocicleta	m ²
4	Radio de la rueda	m
5	Densidad del aire	Kg/m ³
6	Temperatura del ambiente	C

3.2.4 Estudio Dinámico

El proceso denominado como *estudio dinámico*, implica la resolución matemática para calcular la fuerza de tracción.

El valor de la fuerza de tracción se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$F_t = F_{rr} + F_a + F_g + F_{net} \quad [3.1]$$

Desglose de la ecuación:

$$F_t = (\mu_{rr} * m * g) + \left(\frac{\rho * A * C_d * V^2}{2} \right) + (m * g * \sin\theta) + (\gamma_m * m * a) \quad [3.2]$$

3.2.5 Especificaciones de Requerimientos

Esta sección se dedica a la determinación del torque, la potencias eléctrica y mecánica, cuyos resultados son cruciales para la selección del equipo eléctrico en la conversión.

Torque

En términos simples, el torque, es la fuerza que causa la rotación de un objeto, en base a lo que expone [85], se obtiene usando la siguiente fórmula:

$$T = F_t * r \quad [3.3]$$

En el cual F_t , es la fuerza de tracción, y r , medido en metros, es el radio del neumático en el que se transmite la potencia.

Potencia mecánica y eléctrica

Según [86], la potencia mecánica es la relación entre el trabajo efectuado y el tiempo empleado para realizarlo, podemos hallarlo mediante la siguiente ecuación:

$$P_m = F_t * V \quad [3.4]$$

Siendo la potencia mecánica P_m , que será igual al producto entre la Fuerza de tracción F_t , por la velocidad V .

Asimismo, es fundamental para la elección del motor eléctrico, mediante la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_{m_e}} \quad [3.5]$$

Dónde, η_{m_e} la eficiencia del motor eléctrico puede estar catalogado por fichas técnicas del propio fabricante.

3.2.6 Dimensionamiento de la Batería

Una vez que se realicen los cálculos de dinámica longitudinal, con una velocidad de 100km/h, se hallará el valor de la fuerza total de resistencia o de tracción, la cual se multiplicará por el radio de la rueda, dando como resultado el torque requerido en rueda, mediante la siguiente expresión matemática:

$$T_R = F * r \quad [3.6]$$

Este valor hallado, será dividido para la relación de transmisión que tiene los engranes motriz y conducido, que estarán acoplados a la motocicleta, obteniendo la siguiente formula:

$$T_{eje\ motor} = \frac{T_{Rueda}}{R_i} \quad [3.7]$$

El valor del torque en el eje del motor será fundamental para determinar qué tipo de motor cumplirá las exigencias para alcanzar una velocidad pico máximo de 100km/h, mientras se conoce el tipo de motor juntamente con sus capacidades de operación y potencia nominal, será más sencillo la elección de la batería para su correcto funcionamiento.

En aplicaciones de tracción, es común encontrar voltajes como 24V, 48V y 72V.

Por consiguiente, la elección de una batería con un voltaje nominal de 72V, será ideal para un rendimiento de alta potencia, cumpliendo con el propósito de los parámetros relacionados con las preferencias y el estilo de conducción del usuario, como la velocidad máxima, aceleración y la autonomía que se desea conseguir.

Finalmente, la batería será elegida de acuerdo con el tipo de tecnología que manejen a sus propiedades químicas y los costos en el mercado, con el fin de que brinden un mayor rendimiento durante la operación real de la batería en la motocicleta, considerando el relieve variado topográfico que presenta la ciudad de Ibarra.

3.3 Ensamblaje del Sistema de Propulsión Eléctrico

Esta noción de vehículos eléctricos citada por Bradley C et al., dónde se define que es posible construir un vehículo eléctrico mediante la "conversión", es decir, la sustitución del motor de combustión interna de un vehículo de gasolina existente por un tren motriz eléctrico [10].

3.3.1 Kit de Conversión a Eléctrico

Un kit de conversión a eléctrico es un conjunto de elementos que permiten convertir un vehículo de gasolina a uno eléctrico. Para ello es necesario retirar el motor, el depósito de gasolina, sistema de escape, el sistema de propulsión, la transmisión y todo aquello que haga que la motocicleta sea de combustión, para sustituirlo por los elementos del kit.

En la fase de inicio se desmontó todas las piezas que conforman la parte mecánica de la motocicleta, en caso de averías de algunos sistemas como el de dirección y frenos, se procedió con su debida reparación.

El objetivo esencial de esta transformación es conectar el kit de conversión en el cual se observar en la tabla 2, incluye el cuerpo principal como es la batería, inversor y motor eléctrico, con la finalidad de formar parte del grupo de vehículos eléctricos EV.

Tabla 3 Componentes del kit de conversión a eléctrico

Cantidad	Modelos y descripción de productos	Precio por unidad (\$)
1	4kW AC motor	290
1	Controlador	250
1	Programador	220
1	Convertidor de voltaje	80
1	Batería de Ion-Litio 72V 40Ah	900
1	Llaves de encendido	10
1	Interruptor de llave	10
1	Arnés de cables	45
1	Acelerador manual	25
	Total	1 830

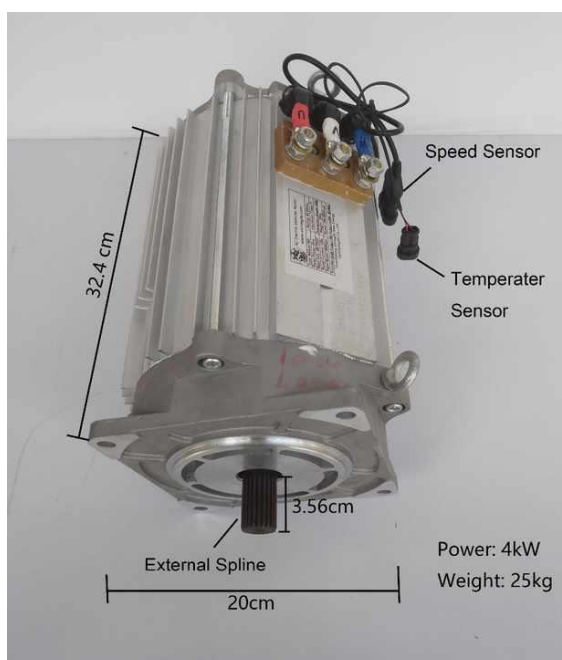
Tomado de: Comparativa de los distintos componentes del kit de conversión y sus precios [87].

3.3.2 Motor Eléctrico

De acuerdo con *Cavagnino*, se puede describir el modo en que un motor asíncrono trabaja mostrando que “el rotor es un seguidor” [87], formando un campo magnético que gira producido en el estator. Es clave comprender que el motor asíncrono en el cual se puede observar en la figura 21, es capaz de generar par motor en todo el rango de velocidades, incluyendo el estado de reposo.

Figura 21

Motor asíncrono de 4kW



Tomado de: Shinegle motor. Motor assíncrono de 4 kW 72V [88].

En cuanto a sus características, el motor asíncrono utiliza corriente alterna trifásica, así, se crea un campo magnético que gira, conocido como campo magnético rodante dónde, siempre adelanta al rotor, creando un desfase angular pequeño (entre un 3% y un 6%), asimismo, este tipo de motores son muy utilizados por las industrias especialmente por sus características como: bajos costos, escasas vibraciones, motores de alta fiabilidad, y una elevada eficiencia. Se encuentran en una amplia gama de usos, entre ellos los vehículos eléctricos, el suministro de energía eléctrica a hogares, empresas, industrias y demás [89], tal como se puede ver en la Tabla 4, en la cual se resaltan las características más importantes del motor elegido.

Tabla 4 Características del motor Shinegle asíncrono de 4 kW.

Motor a síncrono CA (4 kW / 72V)

Características	
Tensión nominal	72V
Potencia nominal	4 kW
Velocidad nominal	3000 rpm
Nivel de protección	IP54
Nivel de aislamiento	H
Corriente nominal	65 A
Par nominal	12,7 Nm
Velocidad máxima	6000 rpm
Sistema de Trabajo	S2-60 min
Modo de enfriamiento	Automático
Peso	21 Kg

Tomado de: Ficha técnica del fabricante Shinegle. Motor asíncrono de corriente alterna 4 kW [88].

3.3.3 Batería de Alto Voltaje (HV) de Ion Litio

La conexión de una batería se basa bajo dos criterios ya sea en paralelo o en serie como lo afirma [90]. Mediante procesos electroquímicos la batería está diseñado para convertir energía química en energía eléctrica.

Las distintas baterías de litio presentan propiedades como: un menor peso, ciclo de vida prolongado y mayor capacidad de energía por unidad másica y volumétrica cuando son comparadas con otros tipos de baterías.

Se ha optado por la adquisición de la batería de 72V 40Ah, debido a que el motor adquirido para este proyecto es de 4kW y es compatible para tensiones de 72V mencionado en su ficha técnica del fabricante que se encuentra en la tabla 4. La batería de litio es de la marca Anvolan, donde en la tabla 5 se presenta la ficha de especificaciones.

Tabla 5 Características técnicas de la batería de ion litio

Marca	ANVALON	Peso	20Kg
Lugar de Origen	Guangdon, China	Voltaje Nominal	72V
Capacidad nominal	40Ah	Tipo de batería	NCM Li-ion

Carcasa	Metal	Corriente de descarga (pico)	103A (500ms) 133A (1000ms)
Corriente de descarga	40Ah	Corriente de carga	20A máximo
Ciclo de vida	500-1000veces	OEM/ODM	Batería del ODM del OED

Tomado de: Anvalon. Especificaciones de la batería de 72V 40Ah [90]

Figura 22

Batería de Ion Litio 72V 40Ah



Tomado de: Anvalon. Batería de ion litio 72V 40Ah [90]

3.3.4 Programador

El programador tiene la capacidad de cambiar los parámetros del controlador y verificar su funcionamiento a través de una interfaz, asimismo, muchos de los parámetros del controlador están optimizados y no necesitan cambios. Este programador tal y como se puede observar en la figura 23, tiene dos modos, siendo el A para cambiar parámetros y el modo B para monitorizar su funcionamiento.

Figura 23*Programador del kit de conversión***3.3.5 Convertidor de Voltaje**

Según *Runze Wang et al.*, [91] sus funciones principales es modificar el nivel de voltaje de una fuente de energía eléctrica para que coincida con lo que requiere el dispositivo o sistema conectado, disminuye un voltaje de entrada más alto a un voltaje de salida más bajo. Para el caso de nuestros componentes adquiridos este convierte 72 voltios a 12 voltios garantizando el aislamiento eléctrico, lo que implica una separación completa entre la fuente de entrada y la carga de salida, para prevenir riesgos y cumple también la función de estabilización, asegurando un voltaje de salida uniforme incluso ante la inestabilidad de la fuente de entrada o las diferentes exigencias del dispositivo conectado.

Figura 24*Convertidor de voltaje*

Tomado de: Shinegle. Componente para convertir voltaje [88]

3.3.6 Controlador

De acuerdo con *Hu J, et al.*, [92] el controlador actúa como el cerebro electrónico del vehículo, se trata de un equipo de dispositivos diseñado para gestionar, regular y supervisar el funcionamiento de sistema, gestionando tareas a través de múltiples unidades de control ya sean interruptores o procesadores, lo que significa que dirige el flujo de potencia desde la batería hacia el motor, actuando como un inversor que convierte la corriente continua proveniente de la batería de 72V a corriente alterna trifásica variable, en cuanto la frecuencia y voltaje que el motor asíncrono requiere para su giro.

Asimismo, interpreta la demanda del conductor a través del acelerador (pedal de puño) y determina con precisión la potencia requerida, el controlador modula la frecuencia y el voltaje de la corriente alterna, un aumento en la frecuencia resulta en una mayor velocidad, mientras que un voltaje más alto incrementa el par motor.

Figura 25

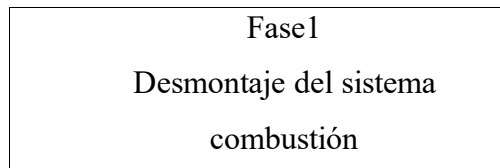
Controlador del kit de conversión

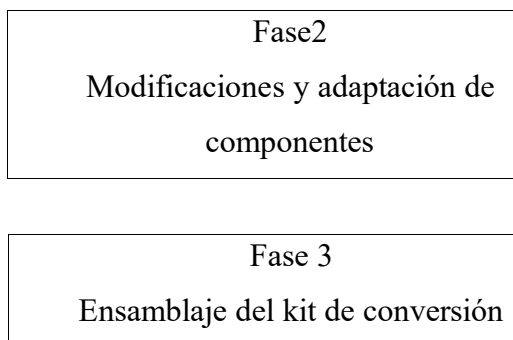


Tomado de: Shinegle. Controlador para conversión a eléctricos [88]

3.3.7 Ensamblaje final de la moto eléctrica, producto de la conversión.

Diagrama de fases de Conversion a electrificación





3.3.7.1 Desmontaje del Sistema Combustión.

En la fase inicial se desconectó y retiró la batería de 12V, se drenó los fluidos, vaciando el tanque de combustible facilitando la extracción del depósito de gasolina, se extrajo la caja de cambios, el cárter y el tubo de escape. Se procedió con la desconexión de todos los cables eléctricos, esencialmente los soportes del pivote principal para retirar el motor y la transmisión del chasis, permitiendo liberar espacio para los distintos elementos del kit de instalación.

3.3.7.2 Modificaciones y Adaptación de Componentes.

En la segunda fase se requirió la modificación del eje posterior de la motocicleta específicamente de la tijera, esto debido a que es el soporte principal entre el eje de la rueda y la estructura de chasis, al tener un motor de 4kW con una batería de 72V y una potencia teórica de 2880 Watt la relación de transmisión de cadena se vio forzada a ser remplazada para condiciones de optimo funcionamiento. Estos componentes al tener un mayor espesor y peso fue necesario utilizar una tijera de mayores dimensiones y con una estructura más robusta que pueda soportar las distintas cargas.

En el eje frontal, fue necesario el reemplazo de las ruedas delanteras a causa de su avanzado estado de deterioro. Además, se optó por una estructura de hierro como la base para el asentamiento de la batería de litio, el cual se realizó de acorde a las dimensiones necesarias para la batería.

3.3.7.3 Ensamblaje del kit de Conversión.

Este último proceso de ensamblaje se ejecutó mediante el kit de conversión con distintos elementos utilizados como: el motor de 4kW, la batería de Ion-Litio de 72V 40Ah, el controlador, el programador, el convertidos de voltaje, el pedal de aceleración y el cableado eléctrico. Se procedió con la conexión de acuerdo con el diagrama facilitado por el fabricante, dando inicio de conexión desde la batería hacia el divisor de voltaje, pasando por el controlador

el cual otorgar la potencia necesaria al motor eléctrico, provocando el giro en el eje de las ruedas. Estos son los componentes adquiridos que permiten la conversión de una motocicleta a gasolina modelo Vespa (MLM) a una eléctrica, como se evidencia en la figura 26.

Figura 26

Conversión de la motocicleta de combustión a eléctrica



3.4 Desarrollo Del Sistema Data Logger

3.4.1 Data Logger.

De acuerdo con [93] un data logger es un instrumento que se encarga de monitorear y registrar diferentes datos en tiempo real. Dicho de otro modo, los data loggers son instrumentos pequeños y autónomos alimentados por una batería, su diseño incluye tres componentes principales: un microprocesador para controlar las funciones, una memoria SD dedicada a guardar los datos con la fecha y hora actualizada y sensores de medición dónde obtiene datos en tiempo real. Para ver y analizar los datos recolectados, se emplea un software específico con el cual se interactúa a través de una computadora.

3.4.1.1 Principales Características.

Se procedió con la búsqueda e investigación [94] de los data loggers en cuanto a sus especificaciones, siendo las más destacadas:

- Su diseño compacto garantiza la portabilidad, siendo lo suficientemente pequeño y ligero para su traslado.
- El registrador ofrece intervalos de muestreo programables y flexibles, permitiendo la captura de datos desde lapsos de segundos hasta varias horas.

- Es esencialmente un equipo que tiene un bajo consumo energético, dado que estos sistemas están diseñados para operar de forma continua durante semanas, meses o incluso años.
- Presenta una capacidad de almacenamiento de datos considerable, esto dependiendo de su tarjeta SD, y la capacidad de duración de la batería para dicho proyecto a fines de ser realizado.
- Bajo presupuesto debido al reducido costo de los materiales y su diversa adquisición disponible en los mercados.
- El sistema solo necesita una conexión PC con una interfaz que facilite la programación y la descarga de datos por parte del usuario de forma rápida y sin complicaciones.

3.4.1.2 Aplicaciones

Los registradores de datos pueden diseñarse para monitorear una amplia gama de variables ambientales, entre ellos los más comunes son: la temperatura, la humedad, la presión y corriente. Además, en funciona bien en pruebas vehiculares permitiendo registrar variables dinámicas durante las pruebas de rendimiento o seguridad, incluyendo la velocidad, aceleración, vibraciones y la temperatura del motor.

3.4.2 Arduino Uno

Es una herramienta de hardware abierto compuesta por una placa microcontroladora y un software de desarrollo libre, su diseño busca facilitar el uso de la electrónica en una amplia gama de proyectos de distintas disciplinas de acuerdo con [95].

Las tarjetas incluyen un microprocesador, que actúa como una pequeña computadora compacta en un solo chip, dispone de varios pines que funcionan como puntos de conexión de entrada y salida para conectarse a cualquier dispositivo periféricos desde sensores y actuadores hasta otros módulos electrónicos.

En otras palabras, la placa Arduino Uno aporta con la automatización al sistema, volviéndola accesible a todos los usuarios a través de técnicas de programación.

La conexión por cable se realiza utilizando protocolos como I_2C , Ethernet y SPI, Facilitando la conexión con una amplia gama de componentes, tales como sensores, actuadores y otros dispositivos.

Es un interfaz de software que permite esencialmente a los usuarios programar y subir los códigos en la placa de Arduino, buscando que gestione y cumpla diferentes funciones mediante el uso del lenguaje de programación que toma como base C/C++. Adicionalmente, el Arduino IDE cuenta con un interfaz gráfico intuitivo [96].

A continuación, se detallan las especificaciones técnicas del Arduino Uno [97]:

Microprocesador: mega328P (8-bit)

USB: ATmega16U2

Conector USB: USB-B hembra

Voltaje de operación: 5V DC

Voltaje de alimentación: 6V - 20V DC (7-12V recomendado)

Pines digitales I/O: 14 (6 salidas PWM)

Entradas analógicas: 6 (ADC 10-bit)

Corriente entrada/salida por pin: 40mA máx.

Frecuencia de reloj: 16 Mega Hertz

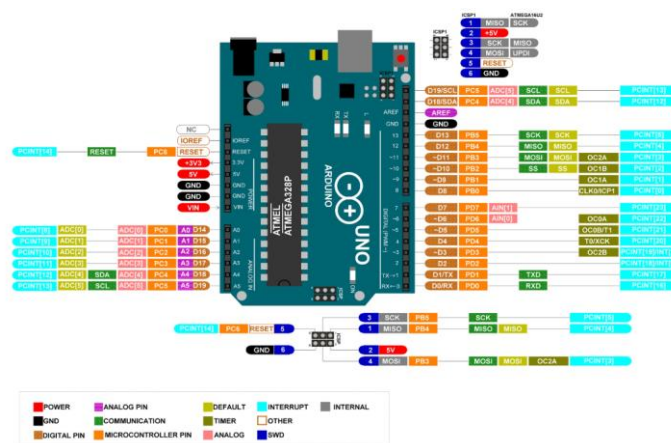
Incorpora: cable USB de 30cm

Dimensiones: 73*53*13 mm

Peso: 30 gramos

Figura 27

Estructura de la placa Arduino Uno



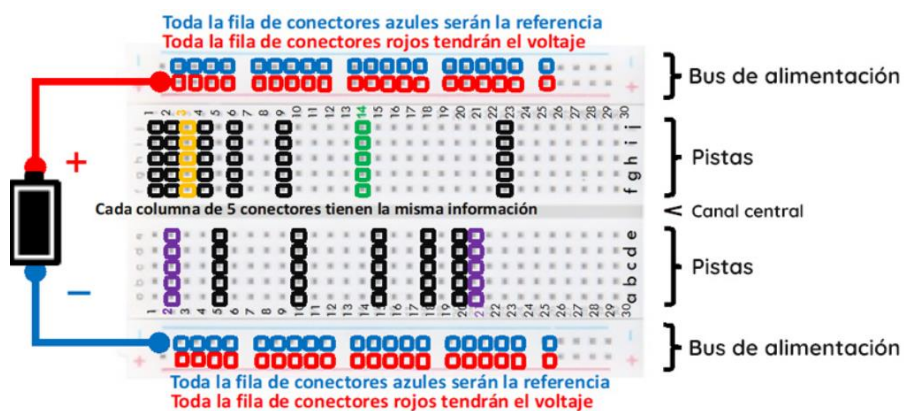
adaptabilidad y sencillez, el protoboard se convierte en un instrumento esencial para la creación y prueba de circuitos electrónicos.

Hay varias partes esenciales que conforman un protoboard y son [99]:

- Carril de alimentación: Estos son los rieles ubicados a los lados que ofrecen puntos extra de conexión para el suministro eléctrico, facilitando la distribución de energía por toda la placa.
- Buses de conexión: Se trata de las bandas metálicas que se extienden a lo largo del protoboard, las cuales hacen posible la conexión entre los distintos puntos de la rejilla de orificios.
- Buses de Alimentación: Son líneas conductoras de metal designadas para el suministro de energía, identificadas normalmente como positivo (+) y negativo (–), y sirven para dar corriente a los componentes del circuito.
- Agarre de Componentes: Estos son los lugares específicos donde se introducen y conectan los elementos electrónicos, como resistencias, capacitores o LEDs.

Figura 28

Secciones de la placa Protoboard



Tomado de: Vobu. Componentes de la placa Protoboard [99]

Especificaciones técnicas del Protoboard [100]:

- Puntos de contacto: 830
- Contactos de bronce fosforoso y níquel plata
- Vida útil de más 10.000 inserciones
- Soporte en plástico ABS
- Compatible con las fuentes para protoboard MB-102
- Dimensiones: 165*55*8 mm

- Peso: 80 gramos

Ventajas del Protoboard [98]:

- Ofrecen un manejo sencillo y son muy útiles en la práctica.
- Son componentes portátiles por ende fácil de llevar de un lado a otro.
- Se pueden utilizar de forma repetida el número de veces que se requiera.

Desventajas:

- Existe el riesgo de que los cables de conexión (jumpers) que se utilicen presenten fallas de conducción o se encuentren dañados.
- No son apropiadas para trabajar con componentes que consumen mucha energía.
- La corriente máxima que puede soportar un protoboard, oscila entre 3 y 5 amperios (A).
- Estos dispositivos generalmente funcionan a bajas frecuencias, típicamente en el rango de 10 a 20 megahercios (MHz).

3.4.4 Módulo de Lector de Memoria MicroSD Card

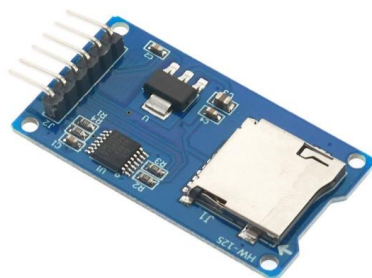
El propósito principal del dispositivo es transmitir la información a un servidor, se vuelve necesario guardar ciertos datos localmente.

Conforme a [101], es un componente que facilita el acceso y la gestión de datos en una Micro SD, empleando el protocolo SPI. Por esta razón, las señales de control están claramente identificadas con los nombres que corresponden a dicho bus de comunicaciones. El módulo es compatible con tarjetas microSD y micro SDHC. Además, integra el chip conversor de voltaje lógico, lo que le permite comunicarse tanto a 3.3V como a 5V.

Se puede integrar con Arduino y con cualquier tipo de microcontrolador o placa de desarrollo.

Figura 29

Módulo lector de memoria microSD



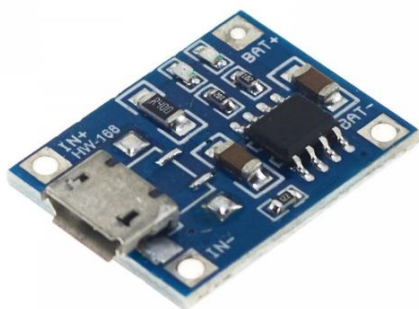
Tomado de: Kingston Technology. Lector de memoria SD Técnicas [102]

3.4.5 Módulo Cargador de Batería TP4056

De acuerdo con [103], el módulo cargador USB para baterías de litio 18650 de 1A facilita la carga de baterías LiPo/LiOn de una sola celda, el cargador es apto para baterías con una tensión nominal de 3.7V y un voltaje de carga máxima de 4.2V. Es perfecto para recargar baterías LiPo 18650 o las celdas de iones de litio como por ejemplo los que se encuentran en los teléfonos inteligentes. La corriente de carga estándar es de 1 amperio (A), pero este valor puede ajustarse si se modifica la resistencia R3.

Figura 30

Módulo Cargador TP406



Tomado de: Naylamp Mechatronics. Puerto de carga [103]

Especificaciones técnicas [104]:

- Voltaje de alimentación: 4.5V a 5.5V DC
- Tipo de cargador: CC/CV
- Carga de intensidad en continua definido a 1A (ajustable mediante la alteración de resistencias)
- Carga de tensión en CV: 4.2V
- Precisión de carga 1.5%
- Entrada tipo Micro-USB
- Led Rojo: muestra cuando está cargando
- Led Verde: muestra de carga completa
- Precaución: no tiene protección a polaridad inversa
- Chip de carga: TP4056
- Dimensiones: 22*17 mm
- Peso: 1,6 gramos

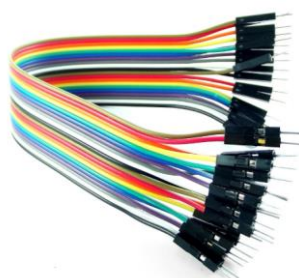
Es importante considerar que se prohíbe conectar circuitos extra en los terminales positivo y negativo de la batería, pues estos puntos solo deben usarse para la batería. El voltaje aquí es variable más no constante y el cargador TP4056 está diseñado para cargar solo una batería a la vez. Está prohibido utilizarlo para cargar configuraciones de baterías en serie o en paralelo.

3.4.6 Cable Jumper Dupond Macho a Macho

Conforme a [105] este cable Dupont es muy práctico que ayudara a simplificar enormemente la tarea de conectar los módulos con tu placa Arduino. Así como también, el jumper es una pequeña pieza que sirve para unir dos conexiones y cerrar un circuito, siendo su función principal del cable macho a macho facilitar la conexión y es especialmente compatible con protoboards, tarjetas Arduino y diversos sensores.

Figura 31

Cable jumpers conexión de macho a macho



Tomado de: Avelectronics. Cables de conexión para circuitos eléctricos [106]

Especificaciones Técnicas [106]:

Este tipo de cables jumpers al ser ajustables y flexibles, permiten una conexión y desconexión más sencilla haciendo que el proyecto sea ordenado, fiable, más robusto y con un proceso de corrección de errores más ágil.

3.4.7 Tipos de Sensores

De acuerdo con las investigaciones de [107] y el aporte de [108] los sensores más comunes operan fundamentalmente utilizando métodos ópticos o magnéticos, estos sensores traducen las magnitudes físicas originales como el campo magnético generado por el flujo eléctrico en datos cuantitativos.

Existen diferentes tipos de sensores que en términos generales son los encargados de proporcionar datos a fin de monitorearlos en condiciones reales diversos sistemas para lograr

que una maquina o equipo tenga tiempos de inactividad, de esta manera maximizando la eficiencia de los sistemas.

3.4.7.1 Sensor de Corriente ACS758-150B

Este tipo de sensor facilita la medición de corriente DC o AC por medio de efecto hall, La clave de su funcionamiento reside en que efectúa esta medición de forma indirecta o sin contacto físico con el conductor por donde circula la corriente y no perder energía por efecto Joule, resulta altamente eficiente para mediciones de corriente en elementos clave como motores, actuadores y sistemas de alimentación o almacenamiento en baterías, tal como establecen las investigaciones de [109].

El sensor ACS758-150B [110] en su estructura interna el dispositivo tiene un sensor de efecto Hall de alta calidad que mide de forma precisa mediante un camino de cobre cerca del chip que lleva la corriente que se va a medir. Al fluir la corriente por la pista conductora se genera un campo magnético y este es capturado por el circuito de efecto Hall, el cual emite un voltaje que es proporcional a la intensidad de dicha corriente. La precisión del dispositivo se maximiza gracias a que la señal magnética se detecta muy cerca del transductor Hall.

Cuando la corriente aumenta a través de la vía principal de cobre desde el terminal 4 al 5, el voltaje de salida del dispositivo se incrementa con una pendiente positiva que supera la mitad del voltaje de alimentación ($>V_{cc}/2$) que corresponde a la trayectoria empleada para la detección de la corriente. Con una resistencia característica de $100\ \mu\Omega$ (micro ohmios) en su interior, la ruta conductora proporciona una baja pérdida de potencia.

Figura 32

Sensor de corriente ACS758-B150

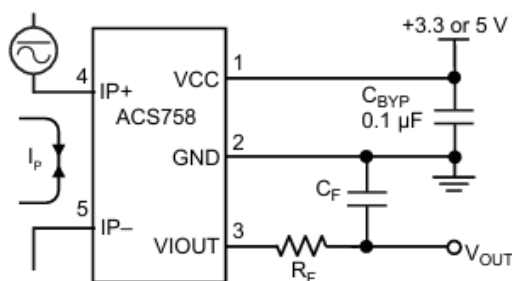


Tomado de: Ssdielect. Sensor de intensidad [110]

Para empezar a usar el sensor lo primero es conectar el conductor de corriente a los bornes, es necesario cortar el conductor y unir cada extremo de los bornes. El siguiente paso requiere alimentar el módulo utilizando los terminales de VCC (5V) y tierra (GND).

Figura 33

Diagrama de Pines del Sensor ACS758-150B



Tomado de: Alldatasheet. Circuito interno del sensor de corriente [110]

- 1 VCC: Terminal de alimentación del dispositivo.
- 2 GND: Terminal de tierra de la señal.
- VIOU: Salida de la señal analógica.
- IP+: Terminal para la corriente en muestreo positivo.
- IP-: Terminal para la corriente de muestreo negativo.

De acuerdo con [110] el sensor ACS758, es un tipo de sensor que envía una señal analógica. El voltaje de salida (V_{out}) varía de acuerdo con la corriente alterna o directa primaria de muestreo. I_P varía de acuerdo con el rango especificado. Y C_F representa la mejor manera de manejar el ruido, con valores que dependen de la aplicación.

El módulo tiene una salida analógica que emite un voltaje directamente proporcional a la corriente que se está midiendo. Para leer la señal analógica de salida el sensor puede conectarse directamente a una entrada ADC (convertor analógico-digital) de un microcontrolador como un Arduino. Se puede emplear la siguiente fórmula para calcular la corriente medida [111]:

$$I = (A_{OUT} - 2,5) * 10 \quad [3.8]$$

Dónde:

I: Corriente medida (A)

A_{out} : Salida analógica (V)

2,5: Voltaje de desplazamiento

10: Sensibilidad inversa (A/V)

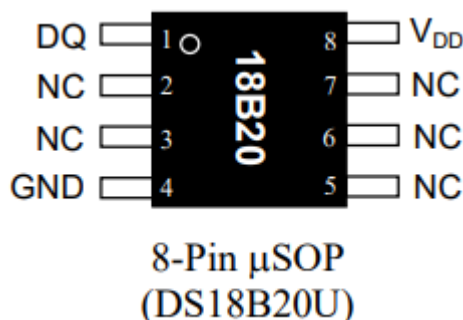
3.4.7.2 Sensor de Temperatura Digital DS18B20

De acuerdo con [112] el DS18B20 es un sensor de temperatura de tipo digital que se comunica usando el protocolo 1-Wire. Este protocolo solo requiere un pin para el intercambio de datos y permite conectar varios sensores en la misma línea de comunicación.

Este sensor está diseñado para registrar magnitudes de temperaturas en un rango operativo amplio, que comprende desde -55°C hasta 125°C con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ en el rango de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$. El dispositivo presenta una resolución que facilita la conversión de temperatura en señal digital de entre 9 y 12 bits dentro de un intervalo de 750ms (milisegundos). Esta característica aporta diversas ventajas en aplicaciones, abarcando la gestión térmica en sistemas de climatización, el monitoreo constante de la temperatura en equipos o maquinarias, hasta la dirección y supervisión de sistemas industriales.

Figura 34

Pines del sensor de temperatura DS18B20



Tomado de: Naylamp. Conexiones de alimentación y tierra [112]

Descripción de los pines:

- GND: Tierra
- DQ: Entrada y salida de datos
- VDD: Voltaje de alimentación
- NC: Sin conexión.

Este sensor puede ser alimentado de dos maneras:

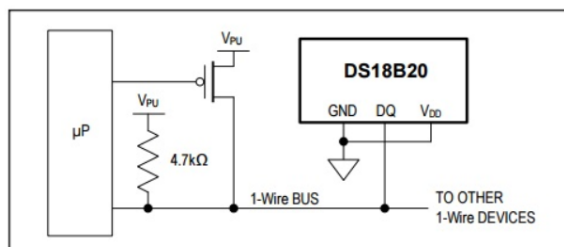
Alimentación a través del Pin de Datos

Con este método, el sensor extrae energía directamente del pin de datos cuando el voltaje es alto. Dicha energía se almacena en un condensador para seguir funcionando cuando el pin de datos tiene un voltaje bajo. Esta técnica se denomina "Parasite Power" y es ideal para

conexiones a larga distancia o en espacios reducidos, ya que elimina la necesidad de un cable de alimentación (VDD) según establece [113]. La conexión se debe realizar siguiendo el siguiente diagrama:

Figura 35

Diagrama de conexión a través del pin de datos



Tomado de: Alldatasheet. Circuito interno del sensor [113]

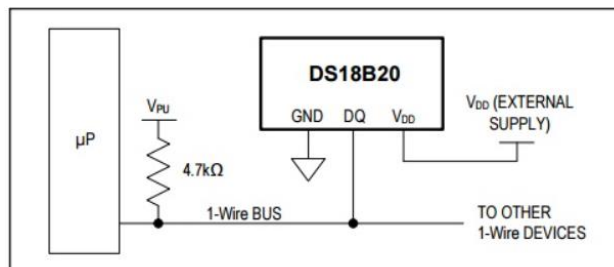
Hay que observar que, en este esquema, los pines de tierra (GND) y alimentación (VDD) están unidos a la tierra del circuito (GND). Esta conexión es fundamental para que el modo de "Parasite Power" se active. El MOSFET que aparece en el esquema es necesario para las operaciones que requieren más corriente, como las conversiones de temperatura o la transferencia de datos desde la memoria EEPROM. En estos momentos, el MOSFET evita caídas de voltaje que podrían ocurrir si solo se dependiera de la resistencia de alimentación.

Alimentación Usando una Fuente Externa

El sensor se alimenta por su pin VDD, asegurando así que el voltaje de operación sea estable e independiente del estado o actividad de la línea 1-Wire. El esquema de conexión se presenta así:

Figura 36

Diagrama de alimentación de una fuente externa



Tomado de: Alldatasheet. Fuente de alimentación del sensor [113]

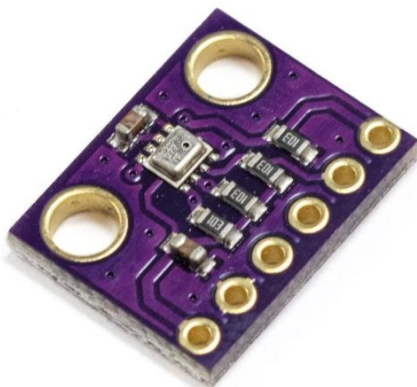
3.4.7.3 Sensor de Presión BMP280

Según [114] el BMP280 es un sensor barométrico capaz de determinar la altura sobre el nivel del mar, su capacidad como altímetro se fundamenta en la correlación existente entre la presión atmosférica y la altitud. Se caracteriza por su gran exactitud y un consumo bajo de energía. Este sensor ofrece una capacidad de medición que cubre presiones entre 300 y 1100 hPa (Hecto Pascal). El sensor utiliza la tecnología piezo-resistiva de BOSCH, destacando por su sólida resistencia a interferencias electromagnéticas, su precisión, consistencia en la medición y su rendimiento constante a través del tiempo. Está diseñado para una conexión sencilla con microcontroladores, permitiendo el uso de las interfaces I2C o SPI, y trabaja con una tensión lógica de 3.3V.

Este tipo de sensores permite medir la altitud de forma sumamente precisa y las medidas de altitud que entrega este sensor alcanzan una precisión de hasta 1 metro.

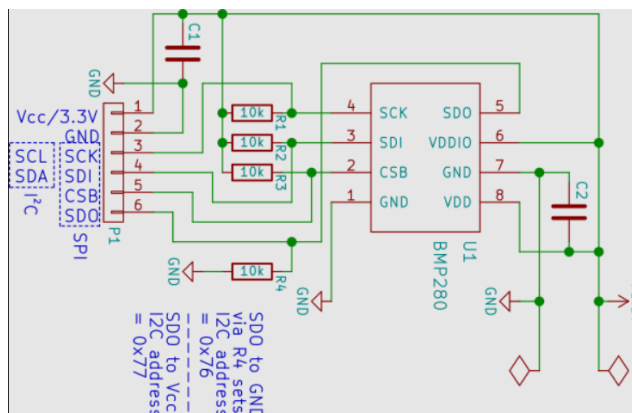
Figura 37

Sensor de presión BMP280



Tomado de: Prometec. Sensor de presión atmosférico [114]

Administración de Energía:

Figura 38*Diagrama de bloque del sensor BMP280 [116]*

Tomado de: Alldatasheet. Diagrama interno de conexión del sensor [115]

Este tipo de sensor tiene dos entradas de alimentación diferentes [115]:

- VDD: Fuente de alimentación principal para todos los bloques funcionales analógicos y digitales internos.
- VDDIO: Pin de alimentación separados, que se usa para la interfaz digital.

El dispositivo incluye un sistema de reinicio automático que, al encender la alimentación, se encarga de restablecer todos los circuitos lógicos y dejar los valores de los registros en su estado inicial. No se imponen límites a la rapidez con la que suben o al orden en que se aplican los niveles de VDD y VDDIO. Una vez que se conecta la alimentación, el sensor pasa a un estado de reposo.

- SDI, SDO, SCK o CSB: Evite mantener cualquiera de los pines de comunicación en estado lógico alto si la alimentación de entrada/salida VDDIO está apagada. Hacerlo podría dañar permanentemente el dispositivo debido al exceso de corriente que fluye a través de los diodos de protección ESD.
- La ausencia de VDD mientras VDDIO esté presente hace que los pines de interfaz adopten el estado de alta impedancia. En consecuencia, el bus de comunicación puede ser utilizado sin restricciones antes de que se suministre la alimentación VDD del BMP280.

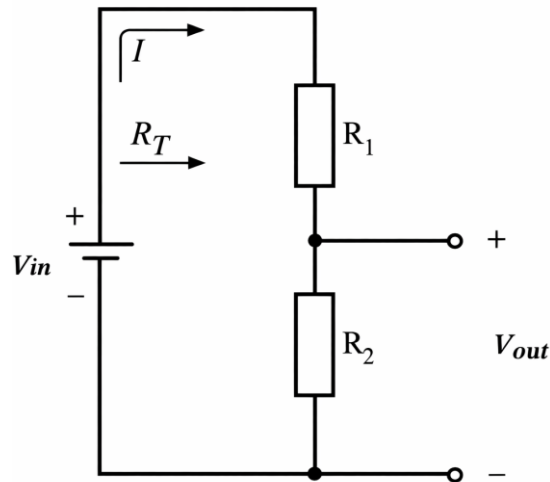
El ciclo de medición del BMP280 incluye la toma de temperatura y de presión, y ambos procesos permiten un sobre muestreo configurable. Tras completarse la medición, los datos obtenidos pueden ser procesados por un filtro IIR opcional. Este filtro sirve para eliminar fluctuaciones de presión momentáneas.

3.4.7.4 Divisor de Voltaje

De acuerdo con Pascual et al., [116] la regla del divisor de voltaje define que la salida en un resistor específico en serie del circuito, es igual al producto de la resistencia por la tensión de entrada, dividido entre la resistencia total de los elementos en serie.

Figura 39

Divisor de voltaje



Tomado de: Robert L, Análisis de circuitos eléctricos [117]

$$R_T = R_1 + R_2 \quad [3.9]$$

$$I = \frac{V_{in}}{R_T} \quad [3.10]$$

Al aplicar la ley de Ohm:

$$V_{in} = IR_2 = \left(\frac{V_{in}}{R_T}\right) R_2 = \frac{R_2 V_{in}}{R_T} \quad [3.11]$$

Obteniendo la siguiente formula:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_T}\right) \quad [3.12]$$

Aplicando la regla de divisor de voltaje se obtiene:

$$V_{out} = 84V \left(\frac{46k\Omega}{820k\Omega + 46k\Omega}\right) = 4.46V \quad [3.13]$$

$$R_1 = 820k$$

$$R_2 = 46K$$

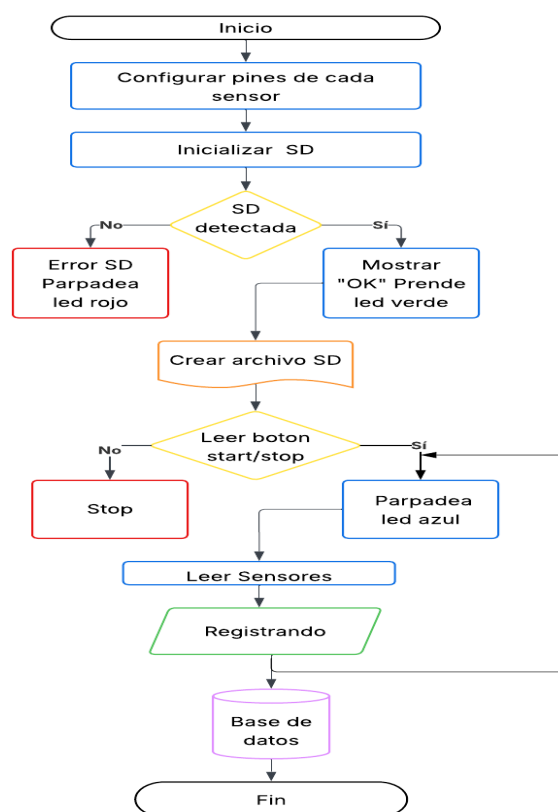
$$V_{in} = 84V$$

$$V_{out} = 4.46V$$

El divisor de voltaje se aplica para reducir la tensión de entrada y obtener una tensión de salida menor, permitiendo obtener valores que se puedan registrar por el Arduino que posteriormente será almacenado en un archivo digital.

Figura 40

Diagrama de Flujo de lectura del data logger



Se evidencia que, mediante este proceso, los datos fueron almacenados correctamente en la memoria SD, lo que permite realizar un análisis adecuado generando resultados confiables sobre la autonomía, consumo energético y la eficiencia de la batería en condiciones reales de operación. A continuación, la descripción del proceso que realiza el data logger para el registro de datos.

Figura 41*Fragmento de código para inicializar la memoria SD*

```

69 Serial.print("Iniciando SD... ");
70 if (!SD.begin(chipSelect)) {
71     Serial.println("FALLO");
72     while (true) {
73         digitalWrite(ledRojo, !digitalRead(ledRojo));
74         delay(250);
75     }
76 }
77 Serial.println("OK");
78 digitalWrite(ledVerde, HIGH);|
79
80 // Cabecera CSV
81 SD.remove("datalog.csv");
82 File f = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
83 if (f) {
84     f.println("Tiempo_us,Temp_DS18B20_C,Temp_Amb_C,Presion_hPa,Altitud_m,Corriente_A,Analogico");
85     f.close();
86 } else {
87     Serial.println("Error al crear datalog.csv");
88 }
89

```

Este fragmento de código inicializa la tarjeta SD, verifica que funcione correctamente, indica el estado mediante el led y luego crea un archivo datalog.csv añadiendo en el archivo la cabecera de las variables que serán registradas: tiempo, temperatura, presión, altitud, corriente y voltaje si la memoria SD falla, el sistema entra en un bucle de error, haciendo parpadear el led rojo.

Figura 42*Fragmento de código para leer los sensores*

```

129 // --- Corriente ACS758-150B ---
130 int rawI = leerSuavizado(CORRIENTE_PIN);
131 float vOut = rawI * (5.0 / 1023.0);
132 float I = (vOut - ACS_VZERO) / ACS_SENS_V_PER_A;
133
134 // --- Otra entrada analógica (ej. divisor de 72V->ADC) ---
135 int rawA = leerSuavizado(ANALOGICO_PIN);
136 float vAdc = rawA * (5.0 / 1023.0);
137 float analogicoFiltrado = vAdc * 18.80; // ajusta tu factor real
138

```

El siguiente bloque de código lee y filtra señales analógicas del Arduino convirtiendo los valores a voltaje real, calcula la corriente medida por el sensor ACS758-150B usando su voltaje

de referencia y sensibilidad. También se registra una señal de una segunda entrada analógica proveniente de un divisor de voltaje.

Figura 43

Fragmento de código para guardar el archivo datalog.CSV

```

149 // Guarda en SD
150 File f = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
151 if (f) {
152     digitalWrite(ledAzul, HIGH);
153     f.print(t); f.print(",");
154     f.print(tempMotor); f.print(",");
155     f.print(tempAmb); f.print(",");
156     f.print(presion); f.print(",");
157     f.print(altitud); f.print(",");
158     f.print(I); f.print(",");
159     f.println(analogicoFiltrado);
160     f.close();
161     digitalWrite(ledAzul, LOW);
162 } else {
163     Serial.println("Error al abrir datalog.csv");
164 }
165

```

Este bloque de código permite leer el archivo datalog.csv en la tarjeta SD y se registran en columnas los datos recopilados en formato CSV, guardando de forma ordenada parámetros como el: tiempo, temperaturas, presión, altitud, corriente y señal analógica filtrada, mientras los datos son registrados se enciende una LED azul como señal de un correcto funcionamiento, luego cierra el archivo para asegurar la integridad de los datos y si ocurre un error al abrir el archivo, notifica el fallo por el monitor serial.

3.5 Selección de las Pruebas de Ruta

La ruta seleccionada está ubicada en la provincia de Imbabura, que presenta un relieve topográfico variado en ciudad de Ibarra donde se sitúa a una altura de 2220msnm, con una presión atmosférica de 78kPa, de acuerdo con los datos proporcionados del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Imbabura [118].

Figura 44*Topografía de la ruta seleccionada*

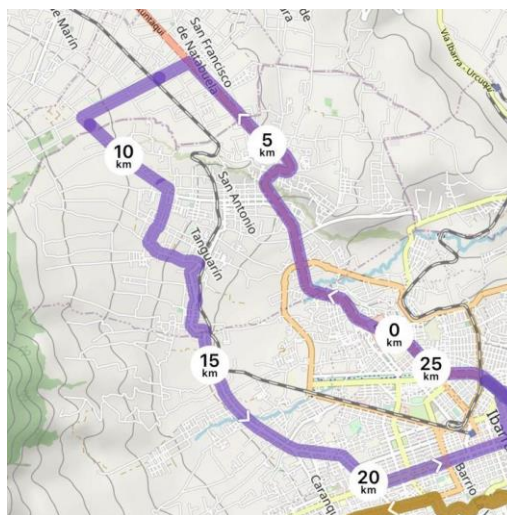
Tomado de: Topo GPS. Relieve topográfico de la ruta de ensayo [118]

Se definieron 3 situaciones de prueba representativo, un tramo de ruta periférica que contine un ascenso pronunciado, donde se logre obtener una mayor demanda energética para vencer la fuerza por pendiente.

Otro tramo que consta de la zona rural con el fin de determinar el consumo de energía de la batería, de modo que se verifique el esfuerzo de resistencia a la rodadura por la variación del tipo de terreno en el trayecto.

Y el último tramo en la zona urbana, que a pesar de tener poca variación de inclinación de terrenos tiene diversos factores que se involucran durante el ensayo como la congestión vehicular, límites de velocidades, intersecciones y semáforos son factores que afectan en la demanda energética de la batería.

Esta ruta comprende un ciclo completo, siendo el mismo punto de inicio donde se completa la ruta, que comprende 25.9km el total de la ruta recorrida.

Figura 45*Selección de la ruta de prueba*

Tomado de: Topo GPS. Trayectoria de ruta completa [118]

3.5.1 Aplicación de Registro de los Datos en Ruta

La aplicación para fines de estudio es Topo GPS, una aplicación orientada a la navegación y la documentación de registro de datos en entornos de aire libre. Se destaca porque su función principal es proporcionar mapas geográficos detallados de alta precisión.

Para el caso de registro, se instaló esta aplicación en un teléfono móvil Android y la unidad de recepción GPS. La actividad de registro se lleva a cabo en la ruta seleccionada de 25.9km de distancia, teniendo una alta precisión de ubicación.

La capacidad de recolección de estos datos incluye el tiempo, la velocidad, la distancia recorrida y la altitud los cuales son datos fundamentales para el análisis de la eficiencia de la batería.

3.6 Recopilación de los Datos a Través de la Ruta

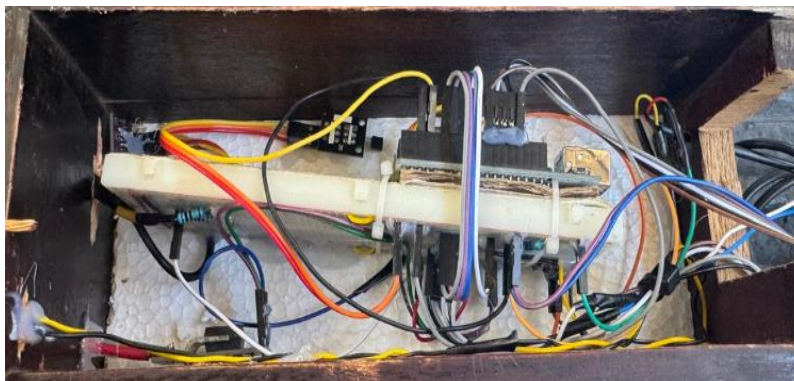
Para el registro de datos durante la trayectoria de la ruta se realizó mediante el data logger desarrollado con Arduino Uno. Este dispositivo compacto y portátil es capaz de grabar los datos en tiempo real, logrando medir la tensión, la corriente y temperatura con una frecuencia de 1 segundo para el registro de dato. Una vez terminado la ruta se conecta a una computadora, lo que permite observar las señales graficas grabadas segundo a segundo en lo que respecta al trayecto del recorrido.

El data logger desarrollado bajo el entorno de Arduino Uno, mide señales eléctricas con alta precisión, capturando y registrando datos en condiciones de tráfico real. Gracias a su diseño

compacto y portátil es capaz de ser movilizado, lo que hace ideal para trabajos que requieren de movilidad o trabajos de campo.

Figura 46

Ensamble del Data logger



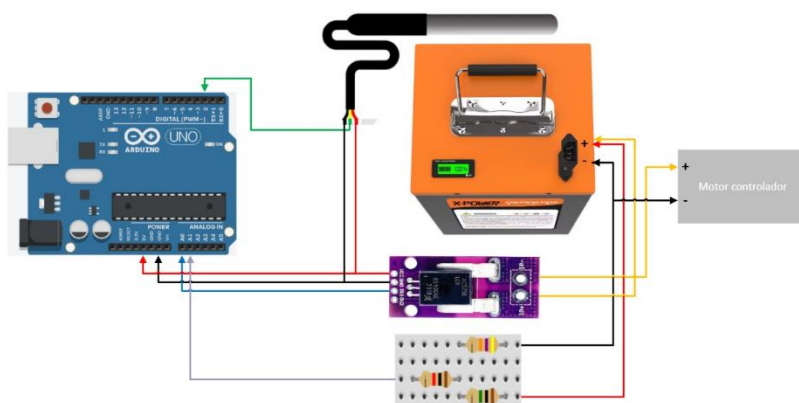
En la figura 47 se muestra un esquema de la conexión donde se conecta los cables de cada uno de los componentes. Se tiene un sensor de presión conectado directamente en la batería.

También, dos cables de color amarillo provenientes del sensor de corriente polo positivo y negativo, que se conectan en serie al borne positivo de la batería con el fin de medir la lectura de la señal eléctrica. Por otro lado, se tiene el divisor de voltaje con tres resistencias de 1M, 47k Ω y 1k Ω cuya función es bajar la tensión nominal de 72V en rango de 0 a 5V, el cual está dentro del rango funcional del Arduino conectado en paralelo, proveniente tanto del borne positivo con el cable de color rojo y negativo con el cable de color negro de batería, donde el Arduino recibe para su posterior interpretación de señal eléctrica.

Siendo la tensión e intensidad dos parámetros fundamentales para la obtención de energía consumida segundo a segundo en unidades de [Wh] y por ende la obtención de eficiencia de la batería de Ion litio.

Figura 47

Conexión del data logger con la batería de Ion Litio para la lectura de datos



Para analizar con mayor detalle los datos obtenidos del registro de toda la ruta, se sincroniza los datos .CSV tanto del data logger como los datos registrados de velocidad, altura con el fin de saber la inclinación del terreno y distancia recorrida mediante la aplicación Topo GPS.

3.7 Procesamiento de datos Obtenidos

La selección de la ruta establecida se fundamentó bajo criterios cuantitativos tipográficos, siendo la razón principal de elección de la ruta bajo condiciones de variación de altura, debido a que no existen documentación previa que analice la eficiencia de la batería en ciudades de altura, específicamente bajo las condiciones críticas topográficas y los relieves característicos de nuestro contexto local de la ciudad de Ibarra.

Los datos obtenidos del data logger así como de la aplicación Topo GPS en cada tramo son descargados en formato .CSV y procesados en una hoja de cálculo. Dónde, se procede con los cálculos de pendiente en cada punto utilizando la diferencia de altura y la distancia recorrida en cada tramo. El método empleado permitió una clara representación del relieve topográfico de la ruta, facilitando la posibilidad de estudiar estos tramos con el fin de analizar la eficiencia de la batería de Ion litio y sus consumos energéticos en cada sección, lo que permite la verificación directa entre las condiciones de la ruta recorrida y el rendimiento de la motocicleta.

3.8 Estimación de la Eficiencia de la Batía HV

Para la estimación de eficiencia de la batería de alta tensión del litio, que fundamentalmente es un factor que indica las condiciones de pérdida y calidad de la batería, dicho de otro modo, mide la pérdida total de energía en un ciclo completo, bajo diversas condiciones de tráfico real

que involucra tanto la topografía como la temperatura, por consecuencia, el rendimiento de la batería es afectado directamente.

En este caso la cantidad total de energía acumulada en la batería siempre será superior a la energía que puede entregar, presentando pérdidas de forma contante como se establece en la segunda ley termodinámica [119] siendo estas pérdidas en forma de calor.

Mediante el uso de la ecuación que se presenta a continuación se obtiene la eficiencia de la batería HV [120]:

$$\eta = \frac{E_{\text{energía salida}}}{E_{\text{energía entrada}}} * 100\% \quad [3.14]$$

n: eficiencia de la batería [%]

Energía de entrada: medida en [kWh]

Energía de entrada: medida en [kWh]

Dicho procedimiento servirá para determinar el comportamiento de la batería bajo condiciones reales de la región local. Mediante el uso de esta ecuación se podrá determinar qué tan eficiente es la batería de Ion Litio a una altura de 2220msnm con una presión atmosférica de 78kPa y sus notorios relieves topográficos.

3.9 Evaluación de la Eficiencia del Consumo Energético y su Autonomía

El estudio para evaluar la autonomía y la eficiencia del consumo energético de la motocicleta modelo Vespa (MLM) en la ciudad de Ibarra con una altura de 2220msnm, se requiere medir la cantidad total de energía consumida en unidades de [Wh] en cada tramo, además, de la distancia total recorrida correspondiente en cada tramo medida en unidades de [km]. Se entiende al consumo energético como la energía total empleada para transformar la energía química almacenada en la batería, en energía eléctrica. Con el fin de generar movimiento a la motocicleta. Siendo estos dos parámetros fundamentales para la obtención de la eficiencia del consumo energético y consecuentemente su autonomía. La siguiente ecuación matemática permite calcular el consumo energético y la autonomía [121]:

$$\eta_{\text{Energética consumo}} = \frac{\text{Consumo energético [Wh]}}{\text{Distancia total recorrida [km]}} \quad [3.15]$$

Mediante otro factor de ecuación se obtiene la autonomía [121]:

$$Autonomía = \frac{Capacidad\ total\ de\ la\ batería\ [Wh]}{C_{onsumo\ energético}\ \left[\frac{Wh}{Km}\right]} \quad [3.16]$$

Para la obtención de capacidad total de la batería durante la trayectoria se utilizará el rango útil de carga en que la batería gaste durante su recorrido en cada sección del tramo.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El contenido de este capítulo incluye la descripción de la ruta de ensayo para el análisis de los resultados encontrados, organizados según la secuencia presentada:

- (I) Dimensionamiento de la batería HV
- (II) Adaptación de la batería
- (III) Consumo energético: Sección Autopista
- (IV) Consumo energético: Sección Rural
- (V) Consumo energético: Sección: Urbana
- (VI) Consumo energético: Ruta Completa
- (VII) Eficiencia de la Batería: Sección Autopista
- (VIII) Eficiencia de la Batería: Sección Rural
- (IX) Eficiencia de la Batería: Sección Urbana
- (X) Eficiencia de la Batería: Ruta Completa
- (XI) Autonomía de la motocicleta para cada tramo
- (XII) Autonomía de la motocicleta de la ruta completa.

El procedimiento que se presentó ayudara a llevar los resultados y análisis de manera organizada con la finalidad de sea comprendida de manera sencilla.

4.1 Dimensionamiento de la Batería HV

Se llevó a cabo los cálculos de dinámica longitudinal con el fin de seleccionar la batería HV de Ion Litio adecuado para fines de movilidad de la motocicleta, modelo Vespa (MLM) con alta potencia.

4.1.1 Registro de Variables Preferenciales del Usuario

La información presentada en la tabla 6 son parámetros preferenciales del usuario para las condiciones que debería cumplir la motocicleta. Se incorpora un valor mínimo de inclinación del terreno dado que la alta velocidad requerida no necesariamente debe ser constante, sino que puntualmente alcance durante cortos intervalos de tiempo.

Tabla 6 Registro preferencial del usuario

Parámetro	Valor
Velocidad Máxima	100km/h
Inclinación del terreno	0,5%
Autonomía	>50km

4.1.2 Registro de Variables

La tabla 7 incluye los datos de la motocicleta modelo Vespa (MLM), estos valores son relevantes para realizar los cálculos de fuerzas de tracción de la motocicleta.

Tabla 7 Registro de datos de la motocicleta

Parámetro	Valor
Masa de piloto	80 kg
Masa de la motocicleta	116kg
h(altura)	1,14m
a(ancho)	0,68m
A (área frontal)	0,77m ²
Cx (Coeficiente aerodinámico)	0,64
μ (coeficiente de resistencia aerodinámico)	0,0134
Densidad del aire	0,91kg/m ³

4.1.2.1 Masa de la Motocicleta

El valor de la masa obtenida es de 116kg de la motocicleta, que conforma todos los componentes de la motocicleta modelo Vespa (MLM) del año 2001.

Figura 48*Masa de la motocicleta*

4.1.2.2 Masa del Piloto

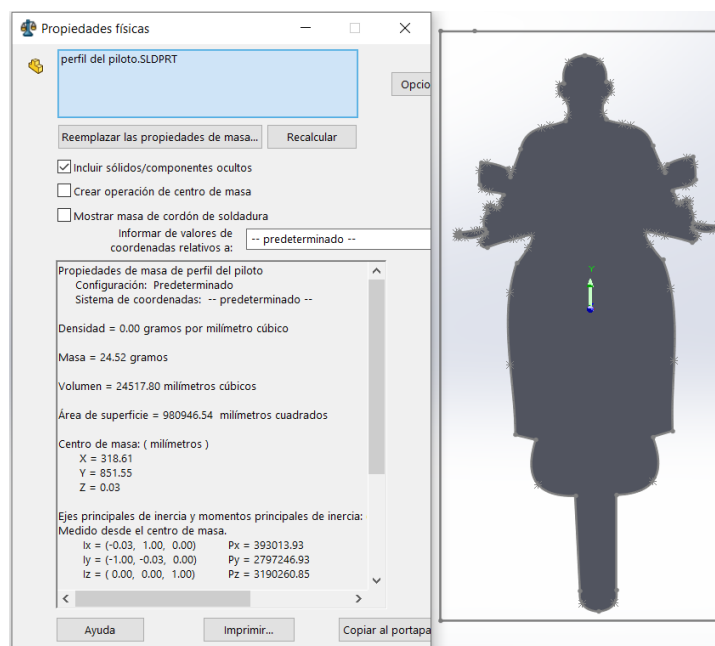
Para la medición de la masa del piloto fue colocada una balanza de suspensión de alta precisión, que dio como resultado un total de 80kg.

Figura 49*Masa del piloto*

4.1.2.3 Área Frontal

Se creó un modelo CAD de la motocicleta y el piloto utilizando el software SolidWorks con licencia estudiantil, para calcular el área frontal de la motocicleta. Con un resultado total de 0.98m².

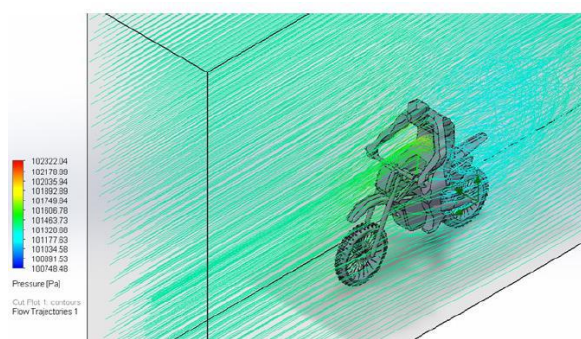
Figura 50
Área frontal de la Motocicleta



4.1.2.4 Coeficiente Aerodinámico

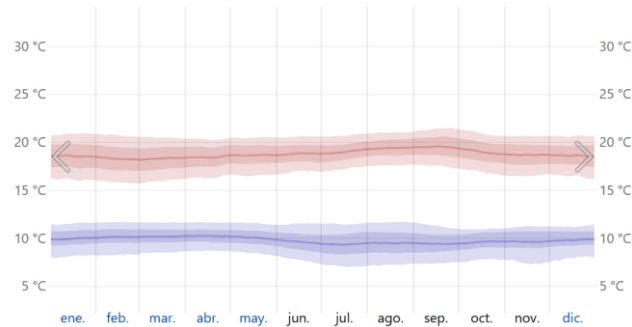
De acuerdo con los estudios de “Análisis dinámico de la Motocicleta” [122]. Obtuvieron un valor de coeficiente aerodinámico (C_d) de 0.64 este coeficiente se consiguió mediante la simulación del modelo CAD en un programa de análisis CFD.

Figura 51
Coeficiente aerodinámico de la motocicleta [121]



4.1.2.5 Temperatura Ambiente

De acuerdo con [123] la temperatura ambiente promedio en la ciudad de Ibarra oscila entre 18°C y 20°C.

Figura 52*Temperatura promedio anual en la ciudad de Ibarra [122]*

Para los diseños de cálculos se estableció con 20 grados centígrados (°C)

4.1.2.6 Densidad del Aire

La presión atmosférica en la ciudad de Ibarra a una altura de 2220msnm se calcula con la siguiente fórmula barométrica o también conocida como fórmula de la atmósfera estándar [124]:

$$\rho = \rho_o \left(1 - \frac{L * h}{T_o} \right)^{\frac{g * M}{R * L}} \quad [4.1]$$

Donde:

ρ : es la presión a la altitud deseada.

ρ_o : es la presión estándar al nivel del mar (101 325 Pa).

L : es el gradiente adiabático de temperatura (aproximadamente 0,0065 K/m).

h : es la altitud sobre el nivel del mar en metros.

T_o : es la temperatura estándar al nivel del mar (aproximadamente 288,15 K).

g : es la aceleración debida a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).

M : es la masa molar del aire (aproximadamente 0,029 kg/mol).

R : es la constante de gas para el aire seco (aproximadamente 8,314 J/(mol·K)).

$$\rho_{2220msnm} = 101325 \left(1 - \frac{0,0065 * 2220}{288,15} \right)^{\frac{9,81 * 0,029}{8,314 * 0,0065}} \quad [4.2]$$

$$\rho_{2220msnm} = 77,314 \text{ kPa} \quad [4.3]$$

Una vez hallada la presión atmosférica en la ciudad de Ibarra a una altitud específica 2220 msnm. Se aplica la siguiente ecuación de la constante universal de los gases y la temperatura [125]:

$$\rho_a = \frac{P}{RT} \quad [4.4]$$

Donde:

P= es la presión atmosférica [kPa]

R= es la constante del gas universal (aire) [J/kg K]

T= temperatura en grados Kelvin [K]

$$\rho_{Ibarra} = \frac{\text{Presión atmoférica[kPa]}}{\left(\text{Constante de los gases ideal} \left[\frac{kPam^3}{kg^k} \right] \right) (295,15 K)} \quad [4.5]$$

$$\rho_{Ibarra} = \frac{77,314 [kPa]}{(0,287 \left[\frac{kPam^3}{kg^k} \right] (295,15 K)}$$

$$\rho_{Ibarra} = 0,91 \frac{kg}{m^3}$$

4.1.3 Cálculo de las Fuerza Total de Resistencias

Estas fuerzas de resistencias son las sumatorias de todas las fuerzas que actúan en contra del movimiento de la motocicleta, mediante la ayuda de la dinámica longitudinal se procede con los cálculos de cada una de las fuerzas.

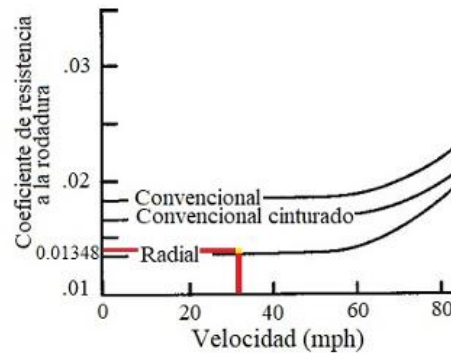
4.1.3.1 Cálculo de la Fuerza de Resistencias a la Rodadura

Se calculó el coeficiente a la rodadura μ_{rr} , la masa de la motocicleta fue determinada y la constate de la gravedad se establece 9.81m/s², para fines de cálculo.

Mediante la linealización de los datos representados en la figura 13, que representa la velocidad en tres tipos de neumáticos como indica la figura 53 y su coeficiente de resistencia a la rodadura.

Figura 53

Coeficiente de resistencia a la rodadura de acuerdo con la linealización del neumático



Tomado de: Yahia A. Coeficiente de resistencia a la rodadura [72]

Po consiguiente se remplaza este valor en la ecuación 2.11.

$$F_{RR} = \mu_{rr} * m * g \quad [2.11]$$

$$F_{RR} = (0,0134)(196kg) \left(\frac{9,81m}{s^2} \right)$$

$$F_{RR} = 25,76 N$$

4.1.3.2 Cálculo de la Fuerza de Resistencias Aerodinámico

Para el cálculo del arrastre aerodinámico, se utilizó el valor encontrado en el estudio de “Análisis del Dinámico de la Motocicleta” que está en la sección 4.2.2.5

Siendo el valor de arrastre aerodinámico de:

$$C_d = 0,64$$

Entonces estos valores se remplazan en la ecuación detallada en la ecuación 2.13 y se utiliza una velocidad de 100Km/h par el diseño de cálculo.

$$F_A = \frac{\rho * A * C_d * V^2}{2} \quad [2.13]$$

$$F_A = \frac{\left(\frac{0,91kg}{m^3} \right) (0,98m^2) (0,64) \left(\frac{27,7m}{s} \right)^2}{2}$$

$$F_A = 225,8N$$

4.1.3.3 Cálculo de la Fuerza de Resistencias por Pendiente

Los cálculos para hallar la fuerza por pendiente, es fundamental conocer el grado de inclinación de la carretera, dónde estable la relación de altura y la distancia recorrida mediante la ecuación 2.15.

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{h}{L} \quad [2.15]$$

$$\text{sen}(\alpha) * 100 = \text{pendiente en \%}$$

Para diseños de cálculos, con el fin de llegar a su velocidad máxima se toma en cuenta una pendiente pequeña del 0.5%

$$\alpha = \text{artan}\left(\frac{0.5}{100}\right) = 0,28^\circ$$

$$0,28^\circ \left(\frac{\pi * \text{rad}}{180^\circ}\right) = 4,88 \times 10^{-3}$$

$$\text{sen}(\alpha) = 4,88 \times 10^{-3}$$

$$F_G = m * g * \text{sen}(\alpha) \quad [2.14]$$

$$F_G = 196 \text{ kg} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 4,88 \times 10^{-3}$$

$$F_G = 9,38 \text{ N}$$

4.1.3.4 Fuerzas de Resistencia de Aceleración de Masa

La fuerza de aceleración de masas está representada en función de la aceleración del sistema. Además, se involucra la rotación de las piezas internas de transmisión afectando la entrega de potencia dentro del vehículo. Por lo tanto, se añade el factor de masa (γ_m).

$$\gamma_m = 1,04 + 0,0025(\varepsilon_{\text{Gear}} * \varepsilon_{\text{Diff}})^2 \quad [2.18]$$

Donde:

$\varepsilon_{\text{Gear}}$: Relación de transmisión de engranajes

$\varepsilon_{\text{Diff}}$: Relación de transmisión de un diferencial

Al no tener un grupo diferencial en la motocicleta el valor será 1 para los cálculos.

Sustituyendo en la ecuación general de aceleración de masas el cual esta detallado en la sección 2.7.4 su formulación quedaría:

$$F_{AC} = m * a * \gamma_m \quad [4.6]$$

$$\begin{aligned} F_{AC} &= m * a * 1,04 + 0,0025 \left(\varepsilon_{Gear} * \varepsilon_{Diff} \right)^2 \\ F_{AC} &= (196kg)(0,64)(1,04 + 0,0025(3,23 * 1)^2) \\ F_{AC} &= 136,06 \text{ N} \end{aligned}$$

4.1.3.5 Fuerzas de Resistencias Totales

La sumatoria de todas estas fuerzas que actúan sobre la motocicleta serán las necesarias para que el vehículo avance a una velocidad especificada en el rango 80 a 100km/h, que son el objetivo del diseño.

Esta ecuación se encuentra detalla en la sección 2.8.1

$$\begin{aligned} F_{RT} &= F_{rr} + F_A + F_G + F_{AC} \\ F_{RT} &= 25,76N + 225,8 \text{ N} + 9,38 \text{ N} + 136,06 \\ F_{RT} &= 397 \text{ N} \end{aligned} \quad [2.19]$$

4.1.3.6 Cálculo de Torque y Potencia

El torque requerido en la salida de la transmisión es el producto del resultante de fuerza total de resistencia por el radio del neumático de la motocicleta.

Siendo la ecuación del torque la siguiente:

$$T = F_{RT} * r \quad [3.3]$$

Donde T el torque en [Nm], F_{RT} es la fuerza [N] total calculada para una velocidad de 100km/h, y r es el radio del neumático posterior en [m].

$$\begin{aligned} T &= 397 \text{ N} * 0,21\text{m} \\ T &= 83,37 \text{ Nm} \end{aligned}$$

4.1.4 Cálculo de la Relación de Transmisión

La relación de transmisión en un vehículo, en este caso de la motocicleta es la relación entre la velocidad de giro del motor y la de las ruedas de un vehículo, cuya cantidad de dientes en el piñón motriz fueron de 13 dientes y el piñón conductor de 42 dientes. Efectuando el cálculo con la siguiente fórmula:

$$R_i = \frac{Z_{\text{piñon conducido}}}{Z_{\text{piñon conductor}}} = \frac{Z_{\text{piñon conducido}}}{Z_{\text{piñon motriz}}} \quad [4.7]$$

$$R_i = \frac{42}{13}$$

$$R_i = 3,23$$

4.1.5 Relación Torque en Rueda y Coeficiente de Transmisión

El resultado de una división entre los valores del torque requerido en la rueda para la relación de transmisión conlleva la obtención del par de torsión requerido en el eje del motor, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$T_{\text{eje motor}} = \frac{T_{\text{Rueda}}}{R_i} \quad [3.7]$$

$$T_{\text{eje motor}} = \frac{83,37 Nm}{3,23}$$

$$T_{\text{eje motor}} = 25,81 Nm$$

4.1.6 Selección Del Motor Eléctrico

De acuerdo con el torque necesario en el eje del motor, para alcanzar una velocidad de 100km/h, se procede con la búsqueda de fichas técnicas de motores eléctricos asíncronos dado que su configuración tiene una tasa alta de eficiencia al ser motores trifásicos [126].

Figura 54*Reporte de desempeño de motores eléctricos***MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS**

Rotor en jaula de ardilla.

Ventilación exterior IC 411, servicio continuo S1.

Aislamiento clase 155 (F), grado de protección IP 55.

Motores de aluminio serie **IE3-MS**Motores de Fundición serie **IE3-EG**

Velocidad síncrona 1500 rpm - 4 polos																400 V, 50 Hz		
TIPO	Potencia		M _n N.m	n rpm	Eficiencia clase IE3 EN 60034-2-1			I _n 400 V A	I _s /I _n	Cosφ	M _s /M _n	M _v /M _n	J Kg·m ²	Nivel sonoro dB(A)	m Kg			
	kW	CV			100%	75%	50%											
Motores de aluminio serie IE3-MS	IE3 - MS 80 2	-	0,75	1	5,13	1390	80,0	80,0	78,8	1,69	8	0,78	2,20	2,20	0,002285	58	12,8	
	IE3 - MS 90 S	-	1,1	1,5	7,52	1390	84,1	84,4	80,1	2,4	8	0,79	2,2	2,2	0,003842	61	16,2	
	IE3 - MS 90 L	-	1,5	2	10,18	1400	90,0	90,0	81,4	3,19	8	0,80	2,20	2,20	0,004685	61	19,2	
	IE3 - MS 100 L1	-	2,2	3	14,82	1410	90,0	90,0	86,2	4,60	8	0,80	2,20	2,20	0,008754	64	25	
	IE3 - MS 100 L2	-	3	4	20,07	1420	87,7	87,8	86,9	6,12	8,5	0,81	2,2	2,2	0,011063	64	29,5	
	IE3 - MS 112 M	-	4	5,5	26,57	1430	90,0	90,0	88,4	8,02	8,5	0,82	2,20	2,20	0,015292	65	37,8	
	IE3 - MS 132 S	-	5,5	7,5	36,28	1440	90,0	90,0	89,3	10,80	8,5	0,83	2,20	2,20	0,034464	71	58,8	
	IE3 - MS 132 M	-	7,5	10	49,14	1450	90,4	90,6	91,6	14,3	8,5	0,84	2,2	2,2	0,043597	71	68,2	
	IE3 - MS 160 M	-	11	15	71,58	1460	90,0	90,0	91,8	20,30	8,5	0,86	2,20	2,20	0,105373	75	96,8	
IE3 - MS 160 L	-	15	20	97,60	1460	92,1	92,5	91,9	27,2	8,5	0,87	2,2	2,2	0,137038	75	111,4		

Tomado de: Ecologic Motors. Desempeño de los motores trifásicos [126]

De acuerdo con este catálogo de desempeño de los distintos tipos de motores para las diversas necesidades de potencia requerida, se puede observar que el tipo IE3-MS 112 M, es ideal ya que la entrega de torque es de 26,57Nm según datos técnicos de la figura 54, frente al torque requerido de 25,81Nm de modo que alcancé una velocidad de 100km/h.

En este caso la elección del motor eléctrico se basa de acuerdo en datos y especificaciones técnicas de motores eléctricos, siendo el ideal un motor trifásico asíncrono de 4kW, para fines de conversión de nuestra motocicleta modelo Vespa (MLM) de 150cc del año 2001.

4.1.6.1 Selección De la Batería

Para la selección de la batería se realizará en dos fases:

Primera Fase: constará las distintas tecnologías de la batería recargables.

Segunda fase: se procederá a elegir de acuerdo con la química de la batería elegida.

4.1.6.2 Criterios de Selección de las Batería Recargables

Los criterios de selección se basaron de acuerdo con las siguientes condiciones que se presentan [127], [128], [129], [130]:

- **Densidad Energética:** Mide la cantidad de energía que puede guardar en relación con su masa o volumen

- **Vida Útil:** Es referente a cuánto tiempo puede funcionar una batería de manera efectiva antes de que su rendimiento caiga por debajo de un nivel aceptable.
- **Eficiencia de carga/ descarga:** La eficiencia energética es la métrica más importante en términos prácticos, ya que mide la pérdida de energía total del ciclo completo (carga y descarga).
- **Voltaje por Celda:** El voltaje es un criterio muy importante ya que se mide en voltios para determinar cuántas celdas tiene una batería, su conexión es en serie para alcanzar una tensión requerida.
- **Peso:** El peso es la Densidad Energética Gravimétrica, que mide cuánta energía puede almacenar la batería por unidad de peso.
- **Costo en un paquete de 1kWh:** Los costos suelen compararse mejor por capacidad de energía almacenada dólar por kilovatio-hora (\$/kWh)

Tabla 8 Características de las distintas tecnologías de batería

Características	Ion-Litio	Níquel-hidruro metálico	Plomo Ácido
Densidad energética [Wh/kg]	100 - 200	60 - 120	30-50
Vida Útil [ciclos]	1000 - 6000	500 - 1000	300 - 800
Eficiencia de carga y descarga [%]	90%-95%	80% - 90%	70%- 85%
Voltaje por celda[V]	3,6V	1,2V	2V
Peso en un paquete de 1kWh [kg]	4 – 10kg	10 – 17kg	20 – 33kg
Costo [\$/kWh]	\$150 – \$250	\$250 - \$500	\$100 - \$200

Tomado de: Mallick et al. Propiedades de los distintos tipos de baterías [128]

La calificación se basa en un sistema de puntuación normalizado de 1 a 5. El criterio de referencia establece que la característica técnica con el valor más elevado recibe la puntuación máxima de 5. Las puntuaciones restantes fueron calculadas mediante una regla de tres en proporción lineal, utilizando el valor máximo como 5 (100%) de la referencia para obtener los puntajes proporcionales del resto de elementos.

Tabla 9 Valor de puntuación

Puntuación	Estado
5	Excelente
4	Muy bien
3	Bien
2	Malo
1	Pésimo

Tabla 10 Matriz de selección de las distintas tecnologías de baterías

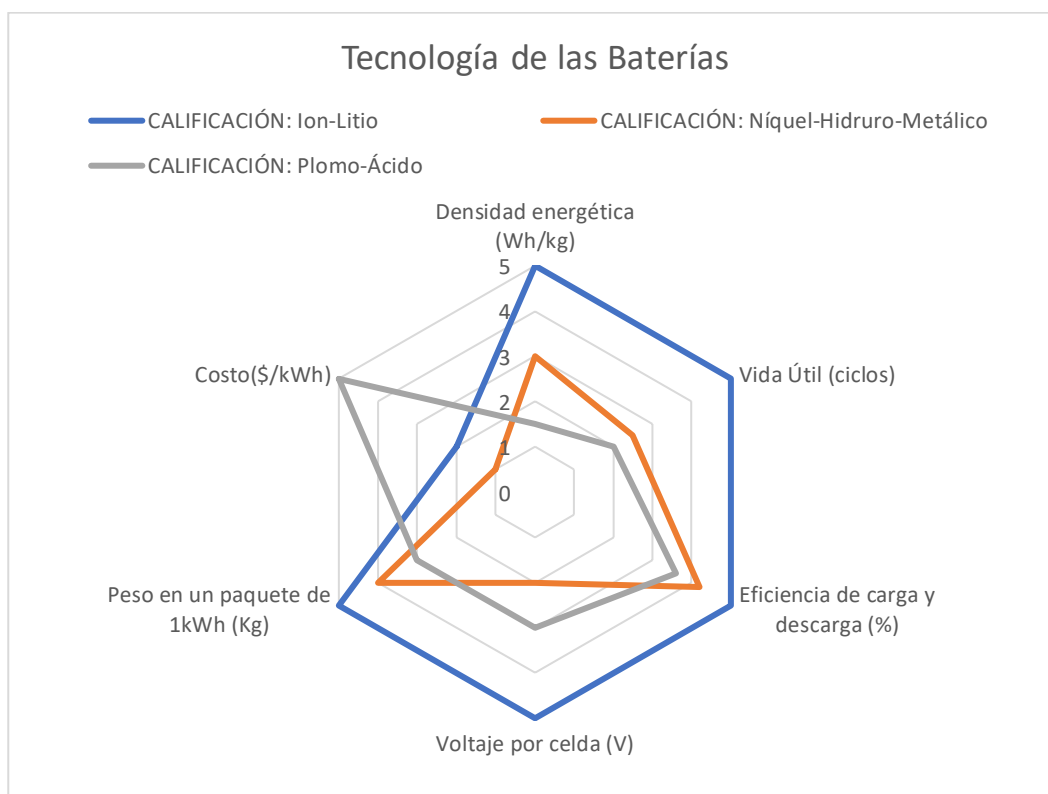
Características	Ion-Litio	Níquel-hidruro metálico	Plomo Ácido
Densidad energética (Wh/kg)	5	3	1,5
Vida Útil (ciclos)	5	2,5	2
Eficiencia de carga y descarga (%)	5	4,2	3,6
Voltaje por celda(V)	5	2	3
Peso en un paquete de 1kWh(kg)	5	4	3

Costo (\$/kWh)	2	1	5
TOTAL=	4,5	2,78	3,01

De acuerdo con la puntuación alcanzada cada tipo de tecnología de batería se muestra la gráfica 55.

Figura 55

Tipos de Baterías según su tecnología



Tal como se aprecia en la gráfica de radar, la tecnología que destaca en la mayoría de las características técnicas es la batería de Ion Litio, ocupando mayor margen de la gráfica estelar, siendo la mejor opción para el proyecto de conversión de la motocicleta de combustión a eléctrica, la tecnología de Litio.

4.1.6.3 Criterios de Selección de la Batería de Litio y su Química

Dado que la batería de Ion Litio fue la mejor opción para fines del proyecto se procede con la selección de la química de este tipo de batería[127], [129], [130], [131]:

- **Densidad Energética:** La clave de los avances en vehículos eléctricos proviene de la alta densidad energética, permitiendo el almacenamiento a su máxima capacidad con el menor impacto posible en cuanto al peso de los paquetes de batería.
- **Tensión Nominal:** El voltaje es un parámetro fundamental asociado a la configuración de celdas o baterías que permiten una conexión en serie a fin de obtener una tensión requerida.
- **Ciclo de Vida:** Es la cantidad de repeticiones permisibles de carga y descarga que la batería tiene previo a que experimente una pérdida importante de su capacidad original.
- **Descarga Máxima:** Es un valor concerniente con la cantidad de intensidad máxima que la batería libera medida en Amperios.
- **Temperatura de operación:** Esta magnitud es fundamental por criterios de seguridad, por el grado de sensibilidad a temperaturas elevadas. En caso de que se excedan valores operativos incrementa el riesgo de incendio.
- **Precio:** El elevado costo de la tecnología de batería de Ion-litio obliga a evaluar este criterio cuidadosamente al seleccionar las celdas de la batería.
- **Tamaño:** Dadas las limitaciones de espacio disponible en la motocicleta Vespa VXL, el tamaño de la batería es una consideración crucial. Por ello, se busca que su geometría se adapte de la mejor manera posible al espacio disponible.

Tabla 11 Batería según su composición química

Características	LI-NCM (níquel manganeso cobalto)	LiFePO4 (LFP)	Óxido de Litio y Manganeos (LMO)
Densidad Energética [Wh/kg]	170 – 270 Wh/kg	100 – 160 Wh/kg	100 – 150 Wh/kg
Tensión Nominal [V]	3,6 – 3,7V	3,2V	3,7V
Ciclo de Vida [ciclos]	1000 – 2000 ciclos	3000 – 6000 ciclos	1000 – 3000 ciclos

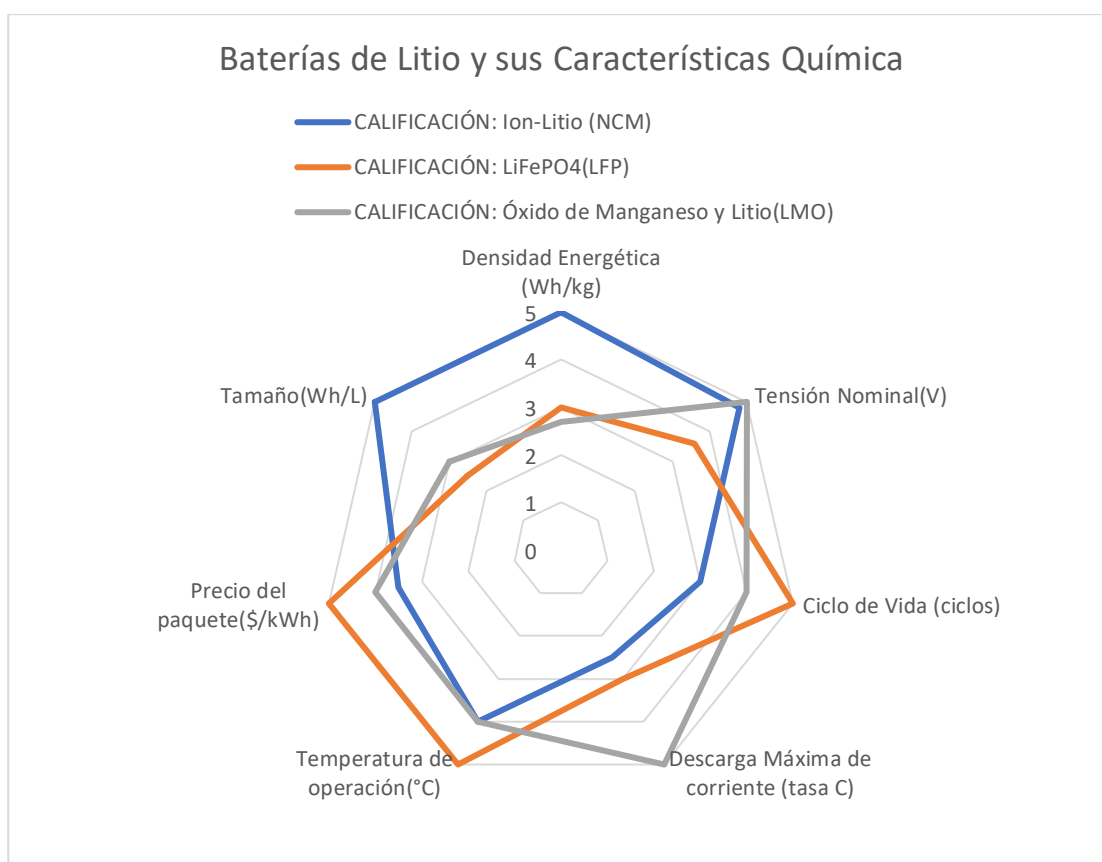
Descarga Máxima de corriente [Tasa C]	1 – 3 C	2 – 5 C	2C – 10C
Temperatura de operación [°C]	-20 a 50 °C	-30 a 60 °C	-30 – 50 °C
Precio del paquete [\$/kWh]	\$150 - \$250	\$100 - \$200	\$150 - \$220
Tamaño [Wh/L]	450 – 750Wh/L	220 – 350Wh/L	250 – 400Wh/L

Toma de: Tian et al. Propiedades químicas de la batería [125]

Tabla 12 Matriz de selección de la batería según su química

Características	Ion-LITIO (NCM)	LiFePO4 (LFP)	Óxido de Litio y Manganeos (LMO)
Densidad Energética (Wh/kg)	5	3	2,7
Tensión Nominal (V)	4,8	3,6	5
Ciclo de Vida (ciclos)	3	5	4
Descarga Máxima de corriente (Tasa C)	2,5	3	5
Temperatura de operación	4	5	4

Precio del paquete (\$/kWh)	3.5	5	4
Tamaño (Wh/L)	5	2,5	3
TOTAL=	3,97	3,87	3,95

Figura 56*Batería de Litio y sus propiedades químicas*

Al ser todas estas baterías que poseen tecnología de litio excepto en su composición completa están muy a la par. Sin embargo, el níquel al ser un elemento reactivo siendo este el que reacciona con el litio, cuanto mayor es la proporción de níquel mayor es la densidad energética. Es por esta razón que cuando se requiere capacidades de alta potencia como es el caso de conversión de la motocicleta de combustión a eléctrica alcance una velocidad de 100km/h es lo más ideal.

En cambio, se trata de las baterías LFP el material activo es el hierro y su actividad redox de reducción y oxidación, es decir de ganancia y pérdida de electrones no son tan fuertes, esto hace que el rendimiento de las baterías LFP sea inferior frente a una de NCM.

Finalmente, la elección ideal para aplicaciones de alta potencia se requiere de la utilización de tecnologías NCM.

4.1.6.4 Selección de la Batería de Ion Litio (NCM)

Es posible la adquisición de distintos tipos de batería y con diferentes capacidades en el mercado, los cuales se optaron por tres para su selección:

Tabla: Selección de la batería de acuerdo con su capacidad

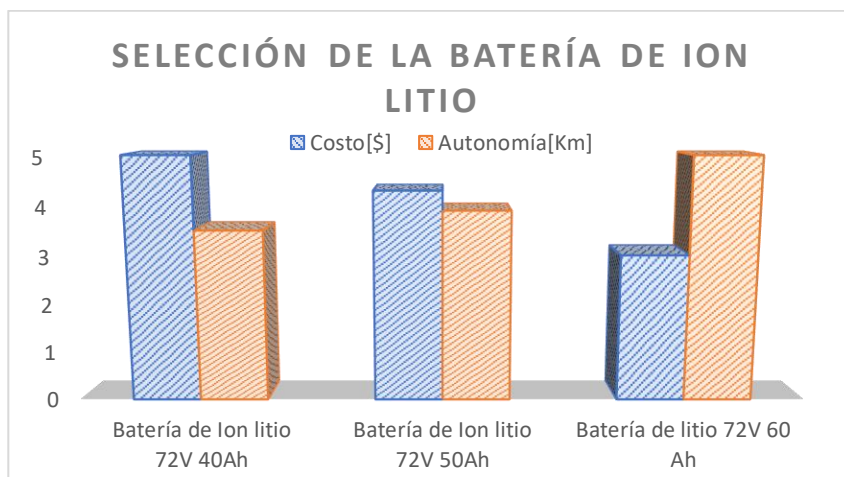
Batería de Ion litio 72V 40Ah	Batería de Ion litio 72V 50Ah	Batería de litio 72V 60 Ah
		
Voltaje Nominal 72V	Voltaje Nominal 72V	Voltaje nominal 72V
Corriente de descarga 40A -60Ah	Corriente de descarga 50A – 80Ah	Corriente de descarga 60A – 90Ah
Corriente de descarga Máx. 100A	Corriente de descarga Máx. 150A	Corriente de descarga Máx. 180A
Capacidad Nominal 2880Wh	Capacidad Nominal 3660Wh	Capacidad Nominal 4320Wh
Costo: \$890	Costo: \$1050	Costo: \$1300

Tomado de: Anvalon. Tecnología de las baterías y sus capacidades [90]

Tabla 13 Matriz de calificación

	Batería de Ion Litio 72V 40 Ah	Batería de Ion Litio 72V 50 Ah	Batería de Ion Litio 72V 60 Ah

Costo	5	4.3	3
Autonomía estimada	3.5	3.9	5
Total=	8.5	8.2	8

Figura 57*Selección de la batería de Ion Litio*

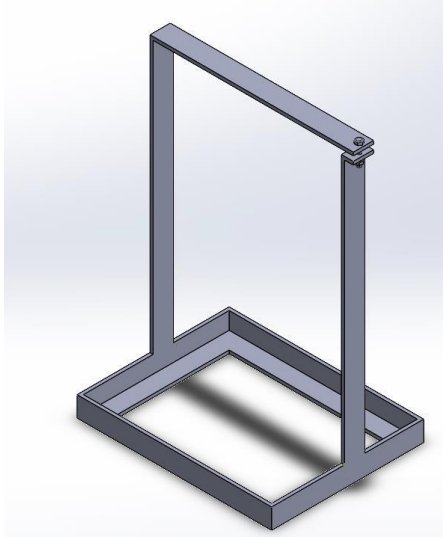
Se consideró altamente el valor de los costos, debido a que el precio de las tecnologías de baterías de Ion Litio es elevado en el mercado, ya que este tipo de batería se aplica en los vehículos híbridos, eléctricos y la electromovilidad actual. Además, como se parecía en la figura (@), el beneficio del costo autonomía es relativamente mejor frente a las otras capacidades de batería.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se procede con la elección de la batería de Ion Litio de 72V 40Ah, con el propósito de conversión de la motocicleta de combustión a eléctrica de alta potencia.

4.2 Adaptación de la Batería en la motocicleta

Para la adaptación de la batería en la motocicleta, se procedió con el diseño donde debe ajustarse al espacio físico disponible en la motocicleta.

El soporte es la base para la batería de litio de 72V 40Ah, el cual fue desarrollado en SolidWorks que es un software de tipo CAD, permitiendo la creación y ensamblaje de modelos 3D.

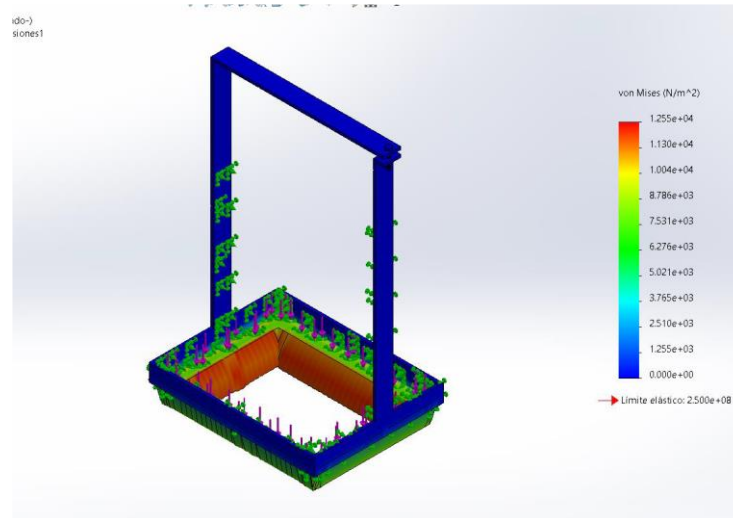
Figura 58*Base estructural de la batería*

Dado a las condiciones del peso de la batería y el espacio reducido en la motocicleta, se optó por una base que sea capaz sujetar a la batería de forma segura, permitiendo la estabilidad estática de la batería bajo condiciones de movimientos.

4.2.1 Análisis Estático de la Base Estructural

El soporte de la base para la batería se formó a partir de una lámina de acero A36 de 4mm de espesor.

Se aprecia que, en la base inferior de la estructura se le aplica una fuerza de 200N, esta fuerza representa el peso que debe soportar la base estructural, debido a que la batería tiene un peso de 20Kg.

Figura 59*Carga de esfuerzo aplicado en la base estructural*

La carga de esfuerzo aplicado es debido a su peso de 20 Kg, ya que está relacionado directamente con la constante de la gravedad 9.81m/s², por su ecuación de la fuerza.

$$F = m * g \quad [4.8]$$

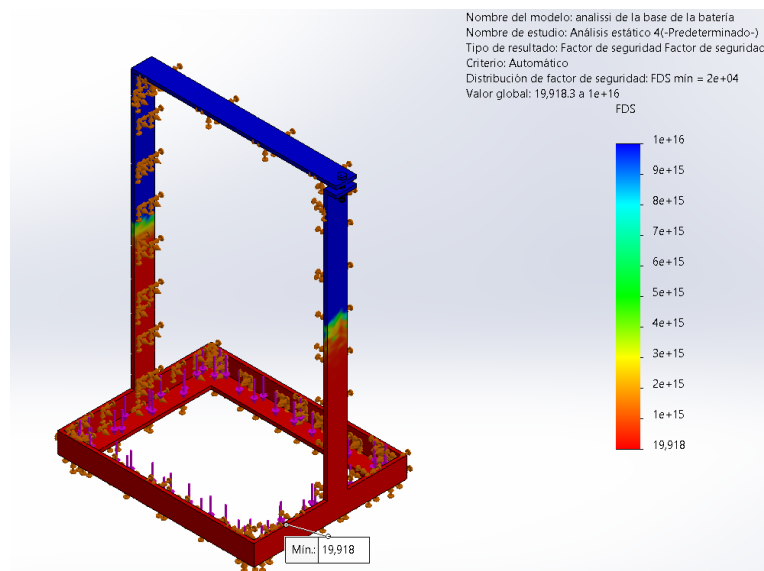
$$F = 20kg * \frac{9.81m}{s^2}$$

$$F = 196.2 N$$

La mayoría de la estructura está en verde y azul, lo que indica que las tensiones son bajas y la estructura está sobradamente fuerte para soportar 200N.

4.2.2 Factor de Seguridad del Soporte

Este factor puede medir cuantas veces puede ser resistente la base estructural para no tener fallas. El Factor de Seguridad se calcula dividiendo la resistencia del material por el esfuerzo máximo real que experimenta la pieza bajo las cargas aplicadas.

Figura 60*Factor de seguridad para el soporte de la base*

Se puede observar que la base del marco inferior donde se aplica la mayor carga tiene un factor de seguridad de aproximadamente 15, lo que quiere decir es que la parte más débil de la estructura es de 15 veces más fuerte. Por lo que no habrá ningún problema con la sujeción de la batería. Es importante recordar que el análisis es estático por lo que la base se expondrá a variaciones de velocidad en condiciones reales de desplazamiento, a pesar de ello la estructura resistirá sin problema.

4.2.3 Conductor Principal

De acuerdo con [132] todo material que permite el desplazamiento de electrones tiene la capacidad de transmitir corriente eléctrica.

Se procede con el cálculo del área transversal del cable para el sistema de corriente directa de la batería hasta el controlador, empleando la ecuación [133]:

$$S = \frac{2PL}{\gamma e U} \quad [4.9]$$

Dónde:

S= sección transversal del cable

2= Factor de ida y vuelta del cable

P= Potencia nominal en [W]

L= Longitud del cable en [m]

Y= Conductividad eléctrica específica del material del conductor [$m/\Omega mm^2$]

e= La caída de tensión máxima permitida.

$$S = \frac{2 * (2880W)(1.20m)}{\left(56 \frac{m}{\Omega mm^2}\right) (72V * 0.2\%)(72V)}$$

$$S = 13.88mm^2$$

Se multiplica por el factor de seguridad de 1.50 y la sección final del conductor es:

$$S_{fs} = 13.88mm^2 * 1.50$$

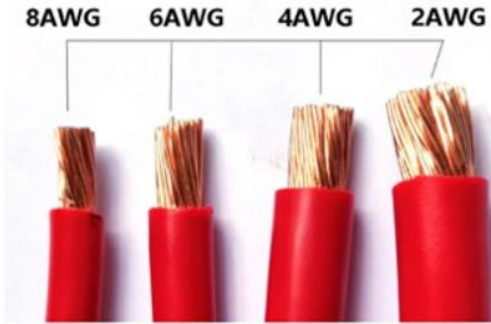
$$S_{fs} = 20.83mm^2$$

De acuerdo con la hoja de especificaciones técnicas del calibre de los cables conductores, American Wire Gauge (AWG) [134]. Se utiliza como cable principal que va dese la batería hacia el controlador, siendo el conductor calibre AWG #4 con una sección transversal de $20.83mm^2$.

Figura 61

Ficha técnica del calibre de los conductores

Specification Reference Sheet				
AWG	Outer Diameter		Cross Section	Resistance
	mm	inch	(mm ²)	(Ω/km)
2	6.54	0.2576	33.62	0.53
4	5.19	0.2043	21.15	0.84
6	4.11	0.162	13.3	1.33
8	3.26	0.1285	8.37	2.11



Tomado de: AWG. Calibre de los cables según la norma americana [134]

4.2.4 Adaptación de la batería en la Motocicleta

La adaptación de la batería en la motocicleta se realizó gracias a su fuerte estructura, como ya se analizó en el software SolidWorks demostrando que es seguro la adaptación de la batería, ya que para condiciones de un peso reducido es suficiente una lámina de acero de 4mm de espesor.

Figura 62*Adaptación de la batería en la motocicleta*

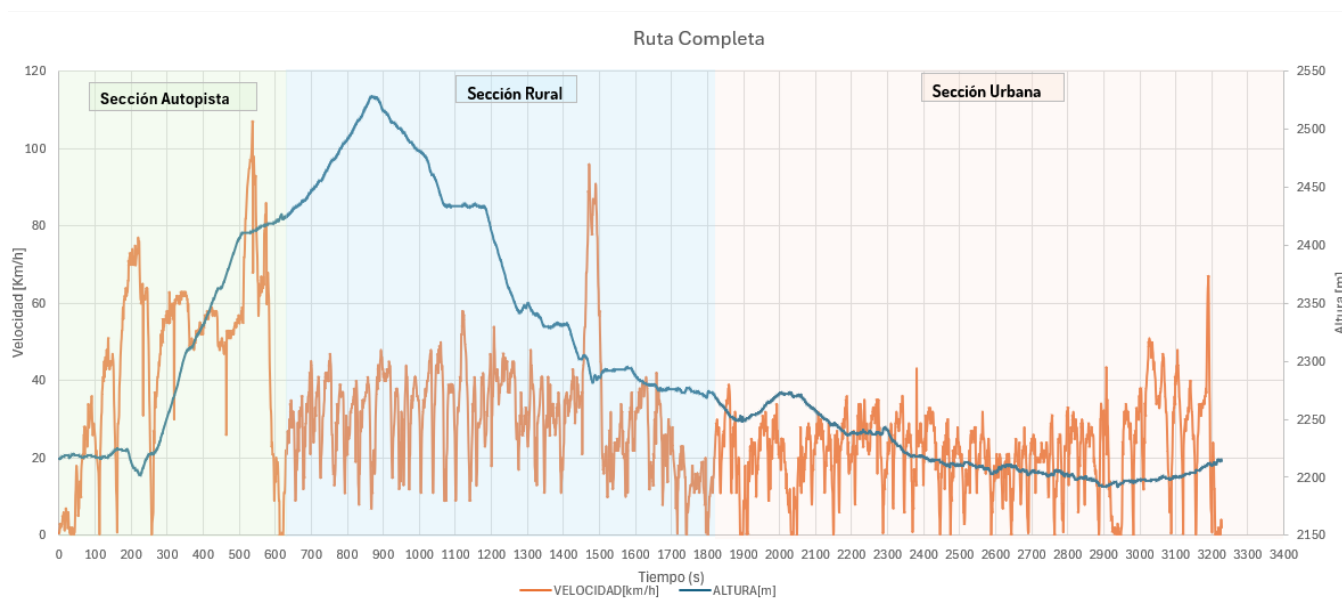
4.3 Rangos de Velocidad y Altura de la Ruta de Ensayo

Una vez finalizada la ruta completa se obtuvieron 3 228 datos registrados con una frecuencia de 1Hz. En la tabla 14 se especifica los parámetros del ciclo completo de conducción.

Tabla 14 Características de los valores obtenidos durante la ruta completa

Parámetro	Valor
Tiempo	3 228 segundos
Velocidad Máxima	102 km/h
Velocidad Media	29.98 km/h
Distancia	25.9 km
Altura máxima	2 529m.s.n.m
Altura mínima	2 192m.s.n.m
Altura promedio	2 311m.s.n.m
Diferencia de altura	337 m
Pendiente ascendente promedio	4%

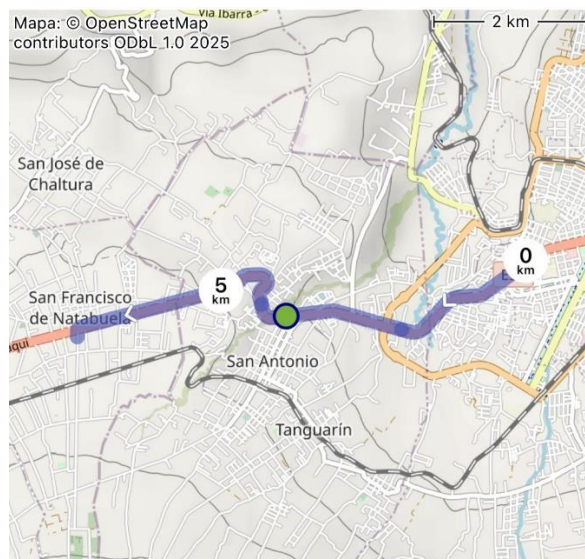
Pendiente descendente promedio	4%
-----------------------------------	----

Figura 63*Ciclo de conducción de la ruta completa*

4.4 Sección Autopista

4.4.1 Trayectoria del Tramo Autopista

En la figura 64, se puede observar el recorrido de la sección autopista en la ruta experimental, que comprende una trayectoria de 7Km en la panamericana E35, dando inicio en la calle 5 de diciembre y Carretera Panamericana 2763- Ibarra, cubriendo todo el ascenso de San Antonio, finalizando esta sección en la entrada de San Francisco de Natabuela.

Figura 64*Trayectoria del tramo autopista*

Tomado de: Topo GPS. Tramo de recorrido de la sección autopista [118]

4.4.2 Parámetros de Movimiento y Altitud

El recorrido de la sección autopista tuvo una duración de 610 segundos, la altura mínima fue de 2216msnm mientras que la altura máxima fue de 2421msnm que se alcanzó a lo largo de la trayectoria, con una diferencia de 205m. En la tabla 15, se representan los valores máximos y mínimos, incluyendo los porcentajes de inclinación, velocidad máxima, velocidad media y la distancia.

Tabla 15 Características de la sección Autopista

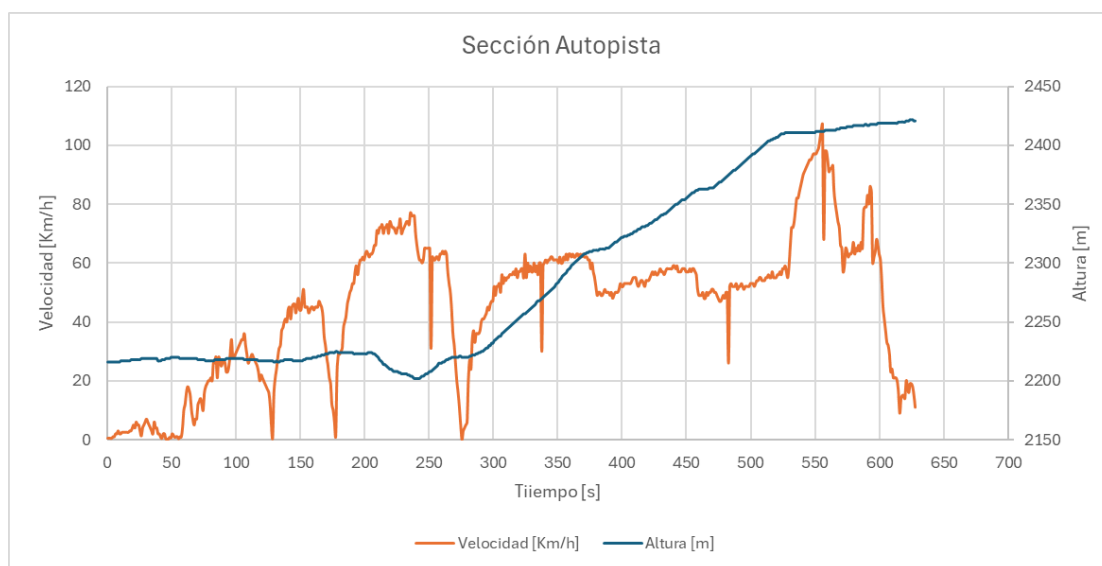
Parámetro	Valor
Tiempo	610 segundos
Velocidad Máxima	102 km/h
Velocidad media	41.33 km/h
Distancia	7 km
Altura máxima	2 421msnm
Altura mínima	2 216msnm
Altura promedio	2 312msnm
Diferencia de Altura	205m

Pendiente picos máxima	8%
Pendiente ascendente promedio	4%
Peso total motocicleta + piloto	196Kg

La figura 65, comprende los datos de velocidad y altura de la sección autopista:

Figura 65

Ciclo de conducción del tramo autopista



4.4.3 Parámetros Registrados Mediante Data Logger

Los valores registrados con el data logger, facilitó la lectura de datos con una frecuencia de 1Hz. Es importante mencionar que la batería 72V 40Ah, alcanza una carga completa a los 85V (100%) y una descarga completa cuando llega a los 64V (0%). Esta prueba se llevó a cabo con la batería completamente cargada que fue de 85V, llegando al punto final de la sección autopista con 80.6V, lo que resultó una descarga de 4.4V para este tramo. En la tabla 16, se puede observar los valores máximo y mínimo de la temperatura, voltajes y corrientes.

Tabla 16 Datos registrados con el data logger

Parámetro	Valor
Datos registrados	610 datos
Voltaje inicial de la batería	85V

Voltaje final de la batería	80.6V
Descarga de la batería	4.4V
Corriente mínimo	0.7 A
Corriente máxima	188.49 A
Corriente promedio	35.89 A
Temperatura máxima	27.87
Temperatura mínima	22.5

4.4.4 Altura, Presión Atmosférica y Temperatura de la Batería

La temperatura máxima que se registro fue de 27.87 °C durante el tramo, mientras que la mínima fue de 22.5 °C, este incremento de temperatura se debe a la pendiente de ascenso promedio del 4%. En la figura 67, se aprecia que la altura se eleva hasta 2421 msnm mientras que, la presión atmosférica baja 75.39 kPa, esto se debe a que moléculas como el oxígeno y nitrógeno presentes en la atmosfera tienen un peso determinado, a medida que la altura aumenta existen menos cantidad de partículas, lo que genera un peso inferior, provocando de esta forma la caída de presión atmosférica.

Figura 66

Altura y temperatura de la batería

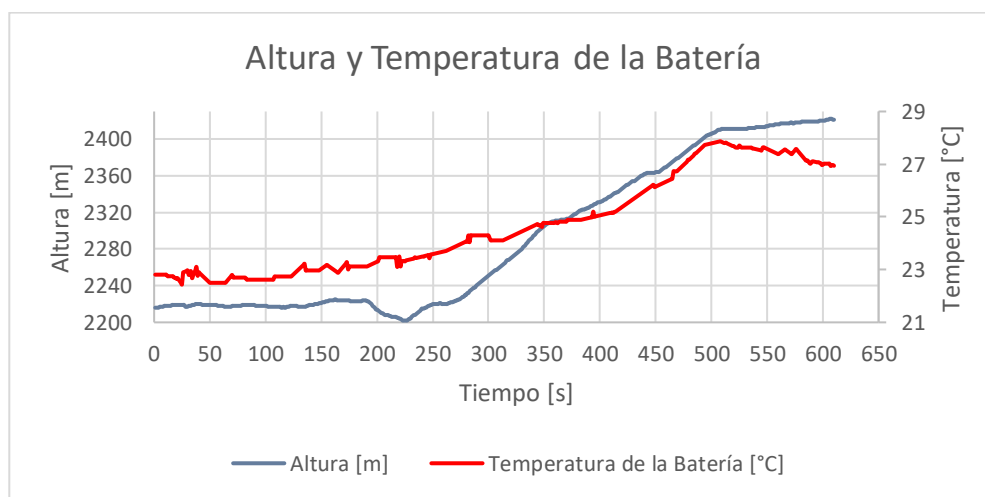
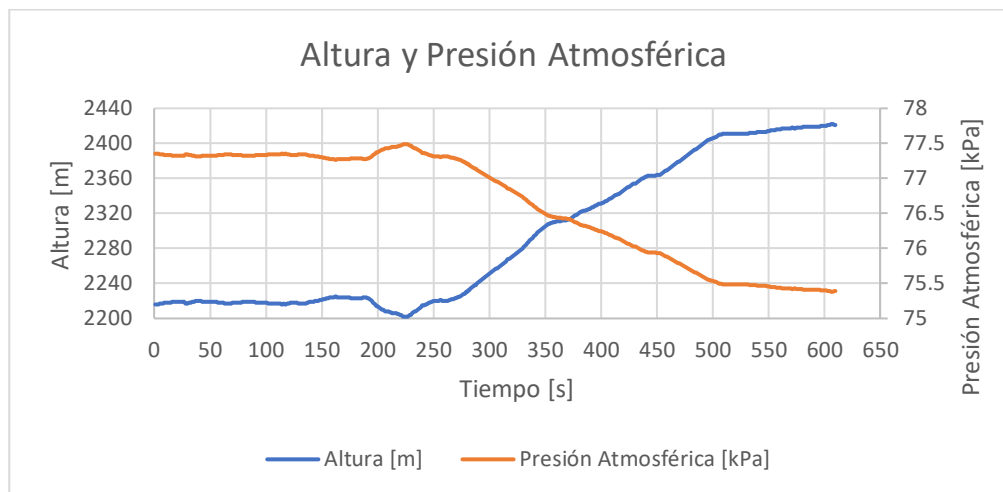
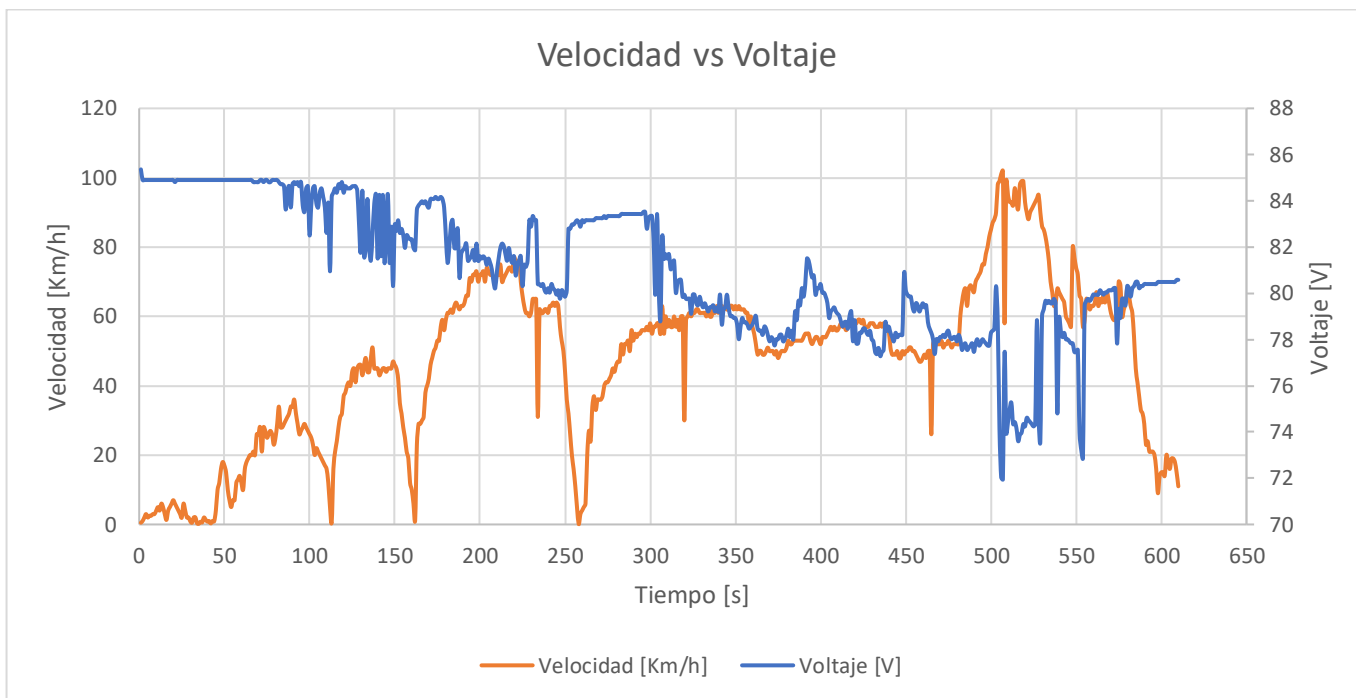


Figura 67*Altura vs presión atmosférica***4.4.5 Voltaje vs Velocidad**

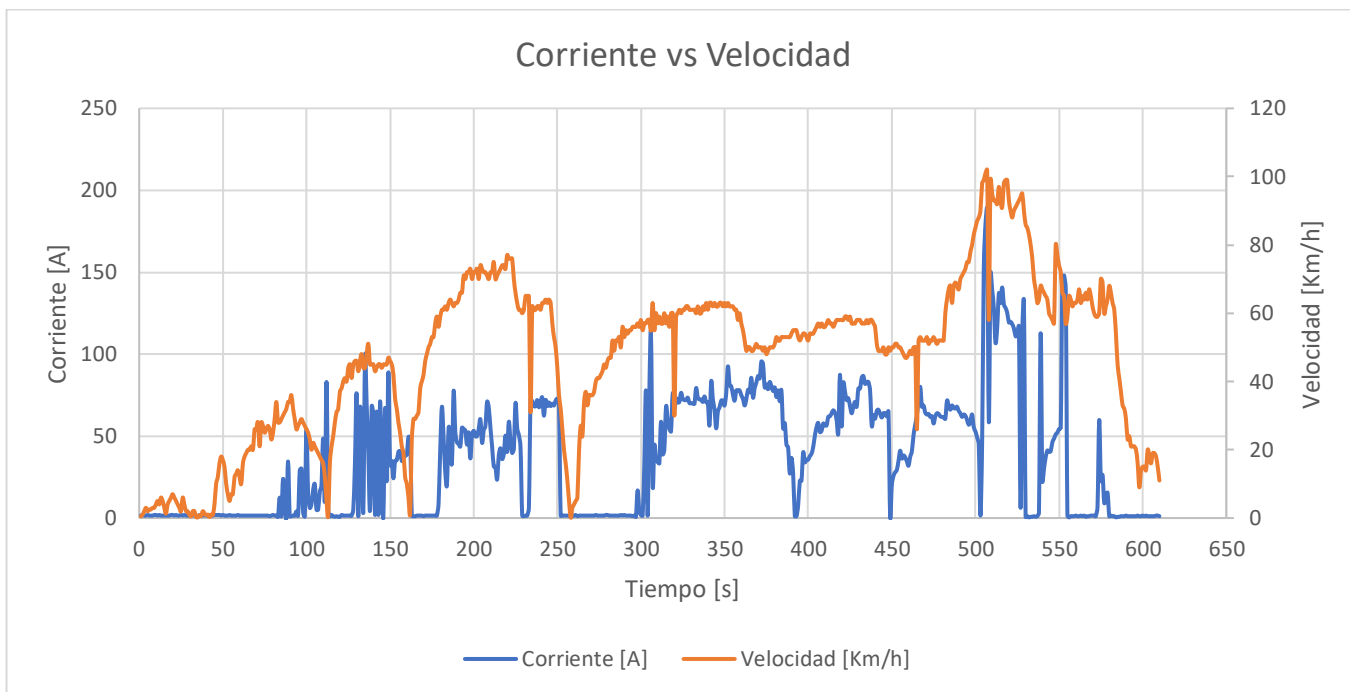
En cuanto al voltaje de descarga que sufrió la batería durante este tramo fue de 4.4V, donde se dio inicio con 85V a carga completa, llegando al final de la trayectoria autopista con 80.6V, lo cual es representativo debido a que, esta trayectoria es ascendente con una pendiente de inclinación media de 4%, con una variación de altura de 205m y una distancia total de 7km, pese a estas condiciones, la velocidad promedio alcanzada es de 41.33km/h. Durante el recorrido se registró en el segundo 508 una caída de tensión hasta 71.95V a razón de que la velocidad máxima fue de 102km/h, lo que significa una aceleración intensa provocando la drástica caída de tensión mencionada.

Figura 68
Voltaje de la batería en tráfico real

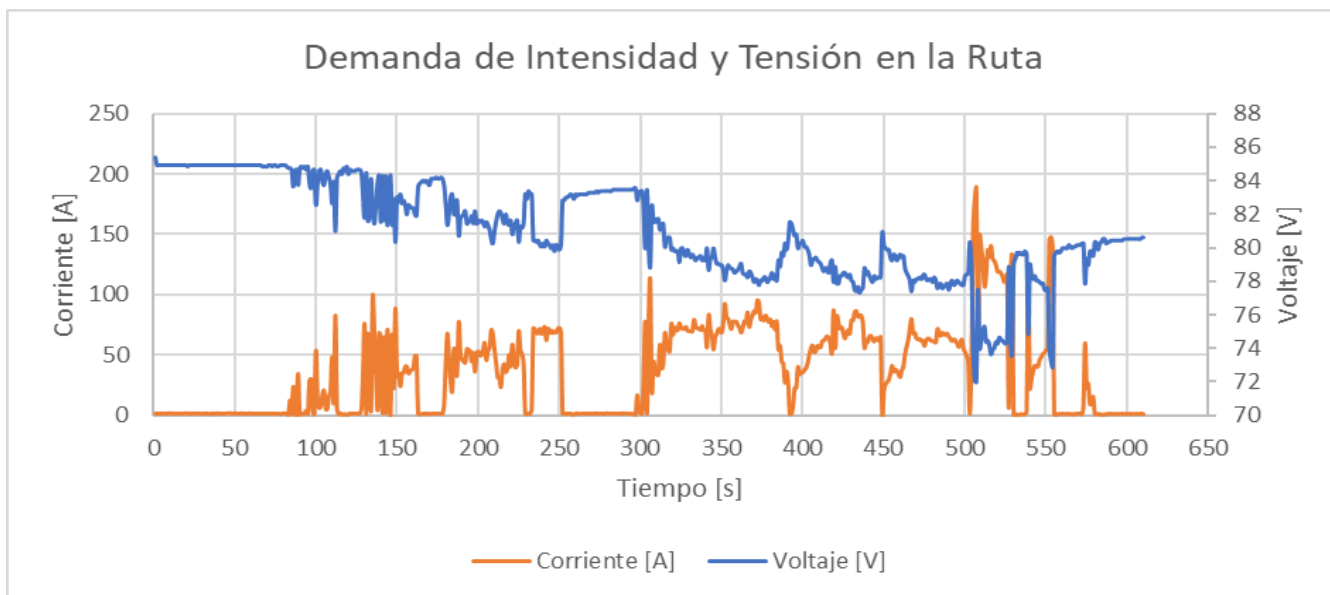


4.4.6 Corriente vs Velocidad

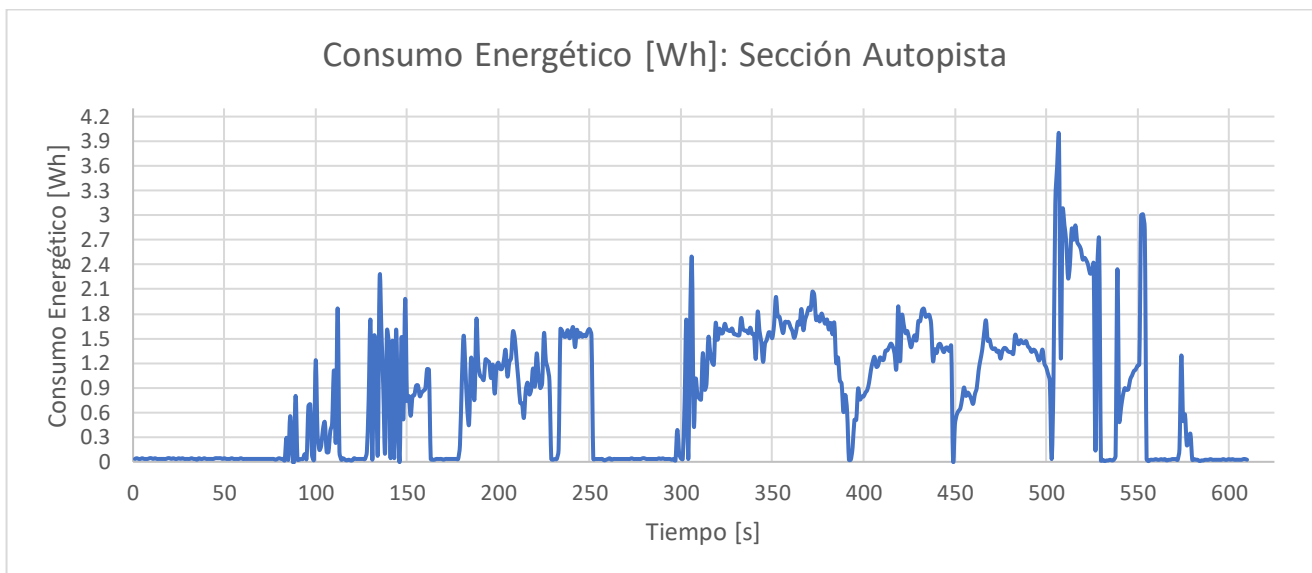
La intensidad máxima registrada para esta sección es un pico 188.49 A, esto debido a la condición de aceleración que demanda una gran cantidad de corriente. De acuerdo con la gráfica 69, este pico de corriente corresponde a una máxima exigencia de velocidad presentada para este tramo que es de 102km/h. Debido a que la trayectoria tiene un pendiente ascendente promedio del 4% y picos que alcanzan 8%, por ende, la corriente media es de 35.89A.

Figura 69*Demanda de corriente en función de la velocidad***4.4.7 Voltaje y Corriente del ciclo de Conducción**

Los factores de los voltajes e intensidades de la trayectoria recorrida durante el tramo de la sección autopista se presentan en la figura 70, las caídas de los voltajes que se presentan durante la trayectoria son causadas por condiciones de aceleraciones altas, lo que también produce mayor exigencia en la demanda de corriente. Siendo notorio que, en el segundo 508 la tensión cae a 71.95V y el pico de corriente se eleva a 188.49 A, dado que, la velocidad registrada para ese instante fue de 102km/h, mientras que, desde los segundos 250 hasta 300 se detuvo debido a la señalización del semáforo, lo cual se evidencia que no tiene consumo de corriente y la tensión se estabiliza. Esencialmente, este tramo fue en su mayoría en ascenso, alcanzando pendientes picos de hasta el 8%.

Figura 70*Demanda de energía real del voltaje e intensidad***4.4.8 Consumo Energético: Sección Autopista**

Una vez que se obtuvo los parámetros de tensión e intensidad fue posible adquirir datos de los consumos energéticos segundo a segundo del tramo autopista, como se aprecia en la figura 71, este valor se obtuvo mediante el producto de la corriente por el voltaje, el resultado de este valor dividido para 3600 es el factor de conversión para unidades en horas. Así pues, se registró el consumo energético por cada segundo durante la sección autopista.

Figura 71*Consumo energético segundo a segundo del tramo autopista*

Se tuvo un consumo energético pico máximo de 3.96Wh en el segundo 508, el cual pertenece a la máxima demanda de energía, debido al pico alto de velocidad que se alcanzó y su demanda intensa en la aceleración para lograr velocidades elevadas. Además, para obtener la cantidad de energía consumida durante toda la sección que fueron 610 registros de datos que comprende 7km de distancia, con un peso de la motocicleta y piloto combinados de 196kg. Se sumó todos los consumos de energía segundo a segundo lo que resultó en un total de 492.937Wh como se especifica en la tabla 17. El resultado final permite obtener el consumo energético de la sección autopista mediante la siguiente ecuación:

$$C_{\text{consumo energético}} = \frac{\text{Consumo de energía [Wh]}}{\text{Distancia recorrida [Km]}} \quad [3.15]$$

$$C_{\text{consumo energético}} = \frac{492.937 \text{ Wh}}{7 \text{ km}}$$

$$C_{\text{consumo energético}} = 70.419 \text{ Wh/km}$$

Tabla 17 Consumo energético de la sección autopista

Parámetro	Valor
Datos registrados	610 datos
Voltaje consumido de la batería	4.4V

Consumo de la batería en (%)	20.96%
Rango útil de la batería	21V
Energía total consumida del tramo autopista	492.937 Wh
Consumo Energético: Sección Autopista	70.419 Wh/km

4.4.9 Eficiencia de la Batería: Sección Autopista

Para el cálculo de la eficiencia se tomó en cuenta el rango útil de la batería que son 21V, siendo 85V la carga completa, lo que equivale al 100% de carga de la batería. La cantidad de voltaje consumida durante este tramo 4.4 V, que representa 20.96% de consumo de la batería para la sección autopista. Para transformar la cantidad de voltaje consumido a valores porcentuales, se realiza mediante la ecuación del Estado de Carga de la batería (SOC%) detallado en la sección 2.3.2. El fin es conocer qué porcentaje de la energía total representan los 4.4V de su capacidad total siendo 21V, sabiendo que tiene una capacidad de 2880Wh la batería de 72V 40Ah. Mediante el siguiente cálculo se determina la cantidad de energía disponible en 4.4V:

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = \frac{\text{Voltaje consumido de la batería [V]}}{\text{Rango útil de la batería [V]}} \quad [4.10]$$

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = \frac{4.4V}{21V}$$

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = 0.209$$

$$E_{\text{consumida}}_{(4.5V)} = P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} * \text{Capacida de la batería [Wh]} \quad [4.11]$$

$$E_{\text{entrada}}_{(4.4V)} = 0.20 * 2880Wh$$

$$E_{\text{entrada}}_{(4.4V)} = 601 Wh$$

La cantidad de 601Wh es la energía de entrada disponible en 4.4V. Con este valor es posible calcular la eficiencia, ya que se tiene una energía de entrada y la que gasto la batería durante el recorrido se considera la energía de salida con 492.93Wh. Como se presenta a continuación:

$$\eta_{\%} = \frac{E_{\text{energía}}_{\text{salida}}}{E_{\text{energía}}_{\text{entrada}}} (100\%) \quad [2.6]$$

$$\eta_{\%} = \frac{492.93 Wh}{601 Wh} (100\%)$$

$$\eta_{\%} = 82.01\%$$

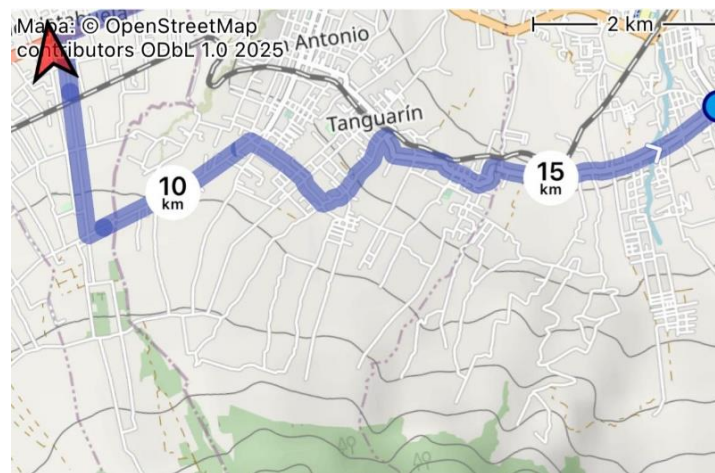
4.5 Sección Rural

4.5.1 Trayectoria del Tramo Rural

En la Figura (..) se aprecia el recorrido de la zona rural, que comprende una trayectoria de 10km. Dando inicio en la entrada de Sanfrancisco de Natabuela, finalizando esta ruta en la calle Gonzáles de SAA. Además, este tramo abarca varios sectores como el Barrio Flores Vásquez, San Vicente, Santa Marianita, Santo Domingo de Chorla vi que se extiende a lo largo de la calle Simón Bolívar hasta llegar a la calle González de SAA a la altura del kilómetro 17.

Figura 72

Trayectoria de la zona rural



Tomado de: Topo GPS. Recorrido de la sección rural [118]

4.5.2 Parámetros de Movimiento y Altitud

El tramo de la zona rural tuvo una duración de 1204 segundos, con una distancia de 10km. Además, se registró una altura máxima de 2529msnm y una altura mínima de 2273msnm con una diferencia de altura de 256m. Adicionalmente, la velocidad pico máximo registrado es de 96km/h con una velocidad media de 29.91km/h que comprende esta zona rural. En la tabla 18 se representan los valores máximos y mínimos incluyendo los porcentajes de inclinación, velocidad máxima, velocidad media y la distancia.

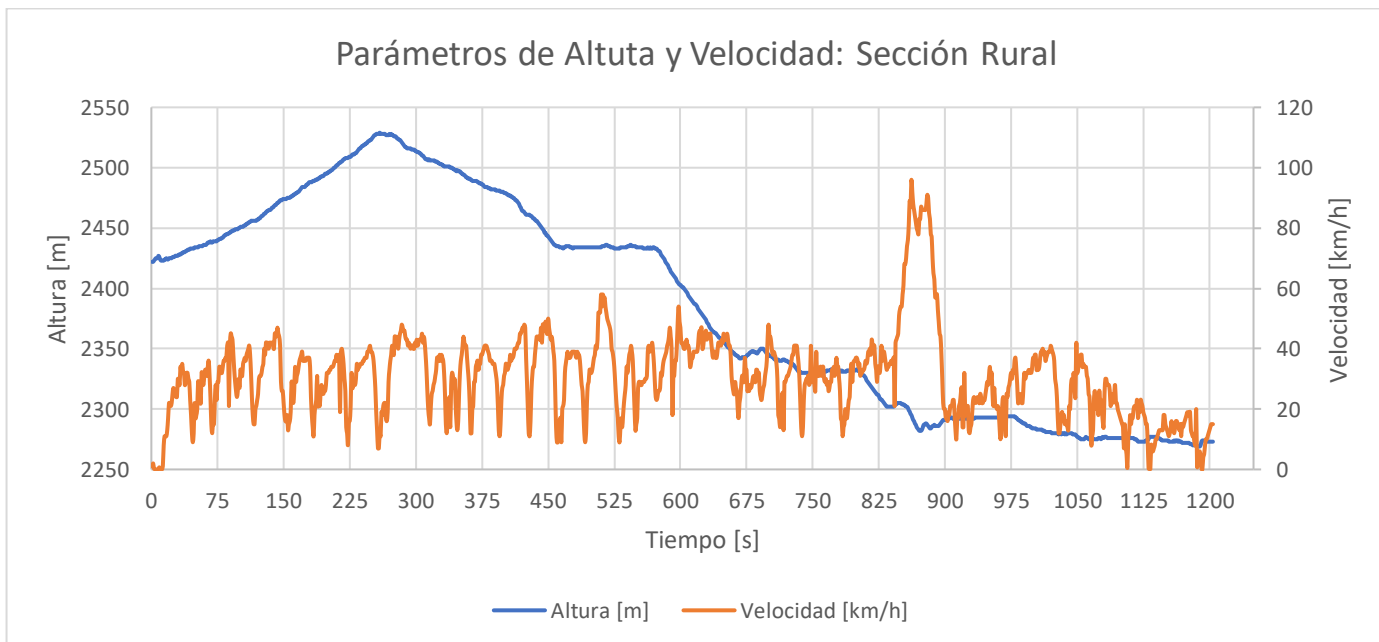
Tabla 18 Características de la zona rural

Parámetro	Valor
Tiempo	1 204 segundos
Velocidad Máxima	96 km/h
Velocidad media	29.91 km/h
Distancia	10 km
Altura máxima	2 529 msnm
Altura mínima	2 273 msnm
Altura promedio	2 398 m
Diferencia de Altura	256 m
Pendiente máxima	7%
Pendiente ascendente picos	3%
Pendiente descendente promedio	3%
Peso total motocicleta + piloto	196 kg

Lo figura 73, comprende a los datos de velocidad y altura de la zona rural.

Figura 73

Ruta de la sección rural



4.5.3 *Parámetros Registrados Mediante Data Logger*

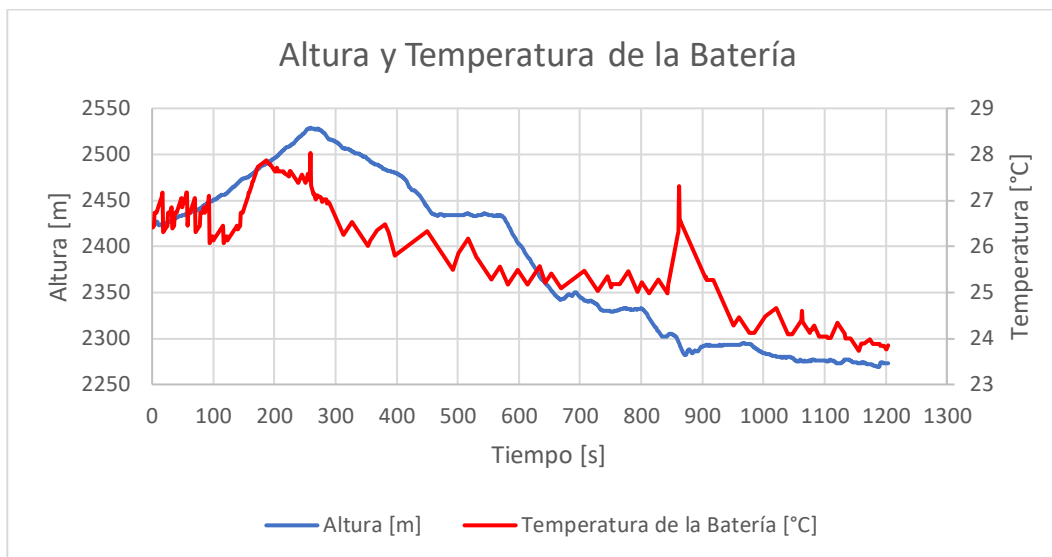
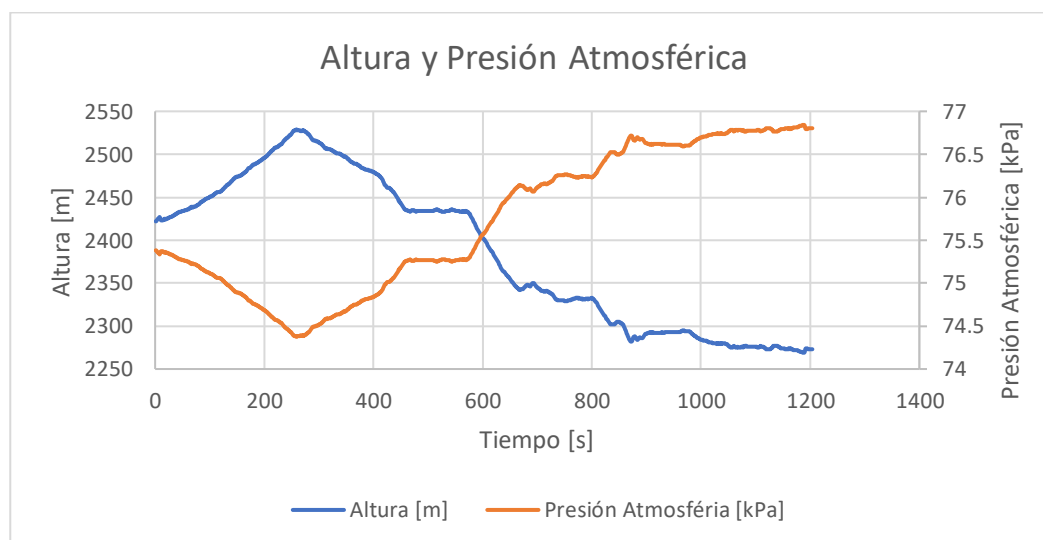
La cantidad de datos recolectados en el tramo rural fueron de 1 204 datos, con una distancia total de 10km, una velocidad pico registrado en el segundo 863 de 96km/h. Además, El voltaje de inicio para este tramo fue de 80.6 V, mientras que al final del tramo rural la batería registro 77.24V, lo que significa que tuvo una descarga de 3.36V para esta sección. También, se registró un pico máximo de 28.03 °C. En la tabla 19, se pudo apreciar los valores máximos y mínimos de parámetros como la temperatura, tensión y corriente que fueron medidas con el data logger.

Tabla 19 Datos registrados con data logger

Parámetro	Valor
Datos registrados	1 204 datos
Voltaje inicial de batería	80.6 V
Voltaje final de batería	77.24 V
Descarga de la batería	3.36 V
Corriente máximo	188.12 A
Corriente promedio	16.14 A
Temperatura máxima	28.03 °C
Temperatura mínima	23.76 °C

4.5.4 *Altura, Presión, y Temperatura de la Batería*

La temperatura pico que se registró fue de 28.03 °C, mientras que la mínima fue de 22.5°C. El incremento de temperatura se produjo por causa de la pendiente del 3%. Además, se llegó al pico máximo de altura de 2529 m.s.n.m. Dando como resultado que bajo estas condiciones de altura la presión atmosférica sufrió una caída alcanzando 74.373 kPa, como se puede verificar en las siguientes figuras.

Figura 74*Altura y temperatura de la batería***Figura 75***Altura y presión atmosférica*

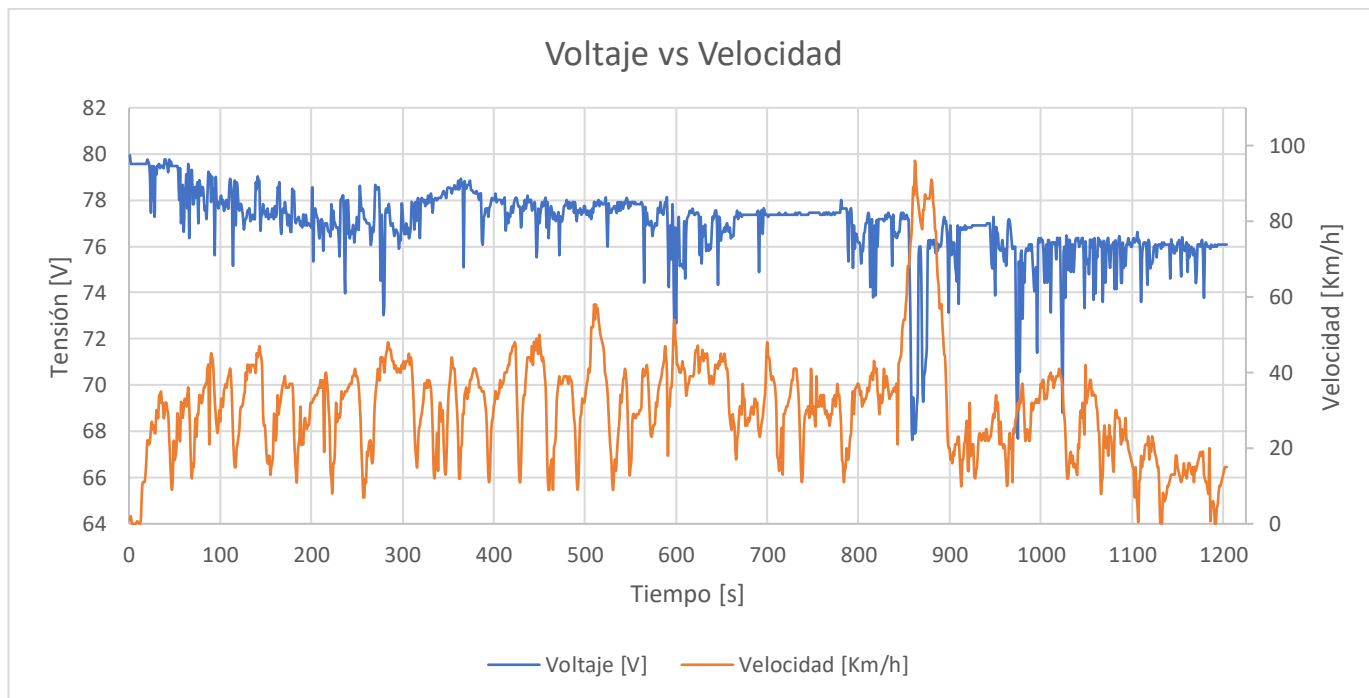
4.5.5 Voltaje vs Velocidad

La tensión de descarga que se produjo en el tramo rural fue de 3.32V. Dónde en su punto de inicio para esta sección la batería tuvo 80.6 V, mientras que al final de su trayectoria se registró 77.24 V. Presentando una caída de tensión que alcanzó los 67.9V en el segundo 862 de la a trayectoria. Es importante mencionar que este tramo tuvo una pendiente de descenso del 3%, dando como resultado menor exigencia en condiciones de aceleración gracias a su inercia de

descenso. Este tramo corresponde un desplazamiento de 10km registrando 1 204 datos con una frecuencia de 1Hz.

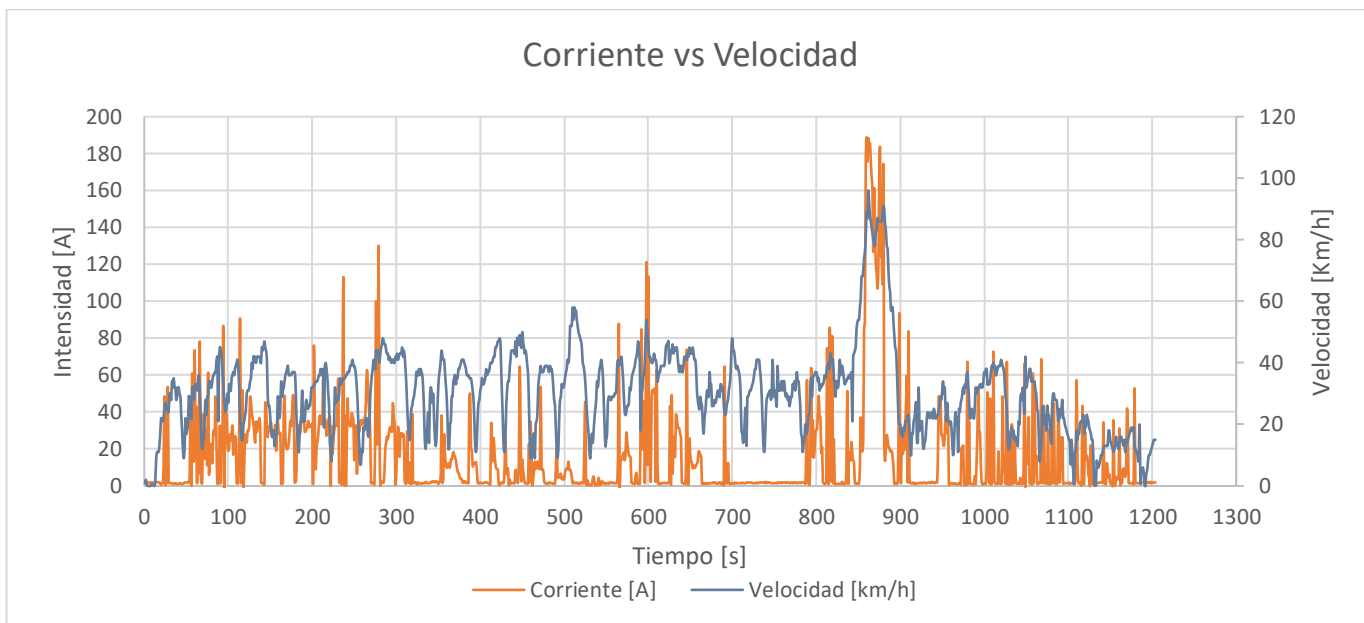
Figura 76

Voltaje de la batería en función de la velocidad

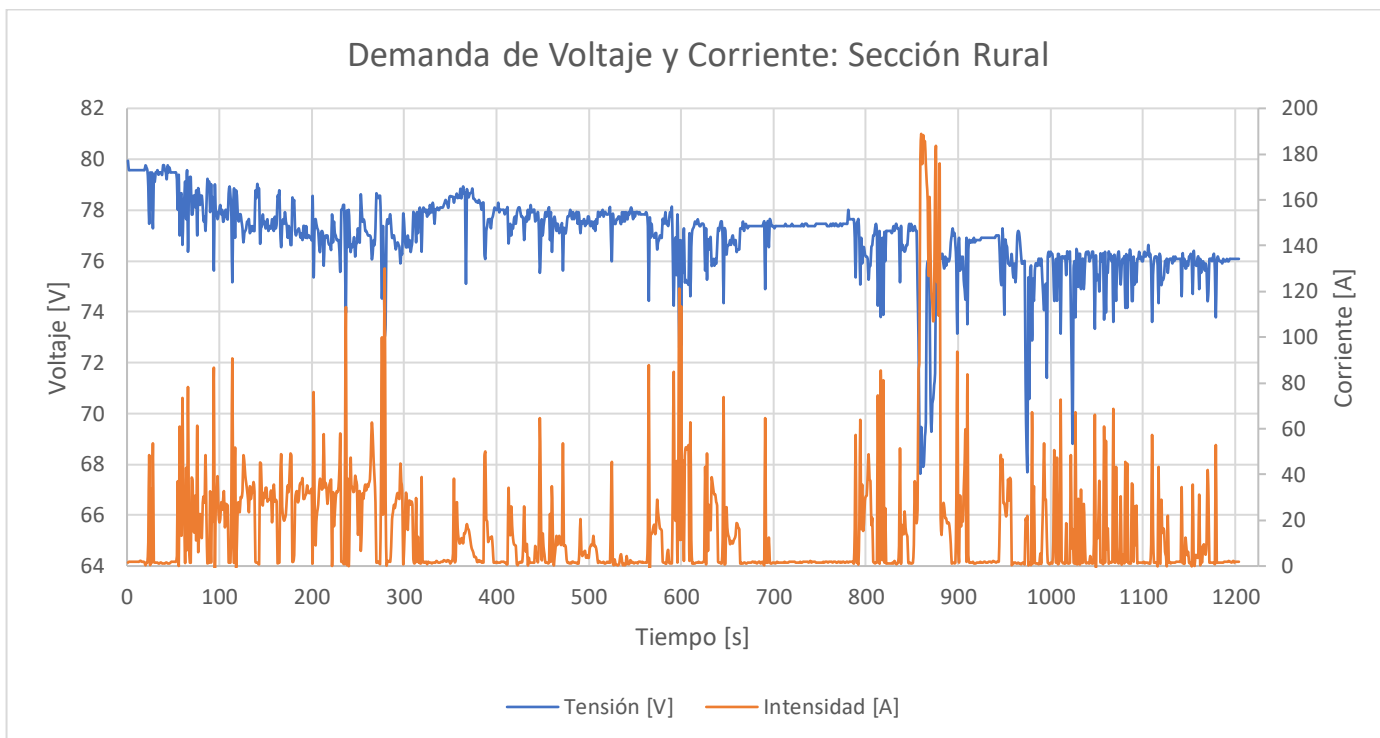


4.5.6 Corriente vs Velocidad

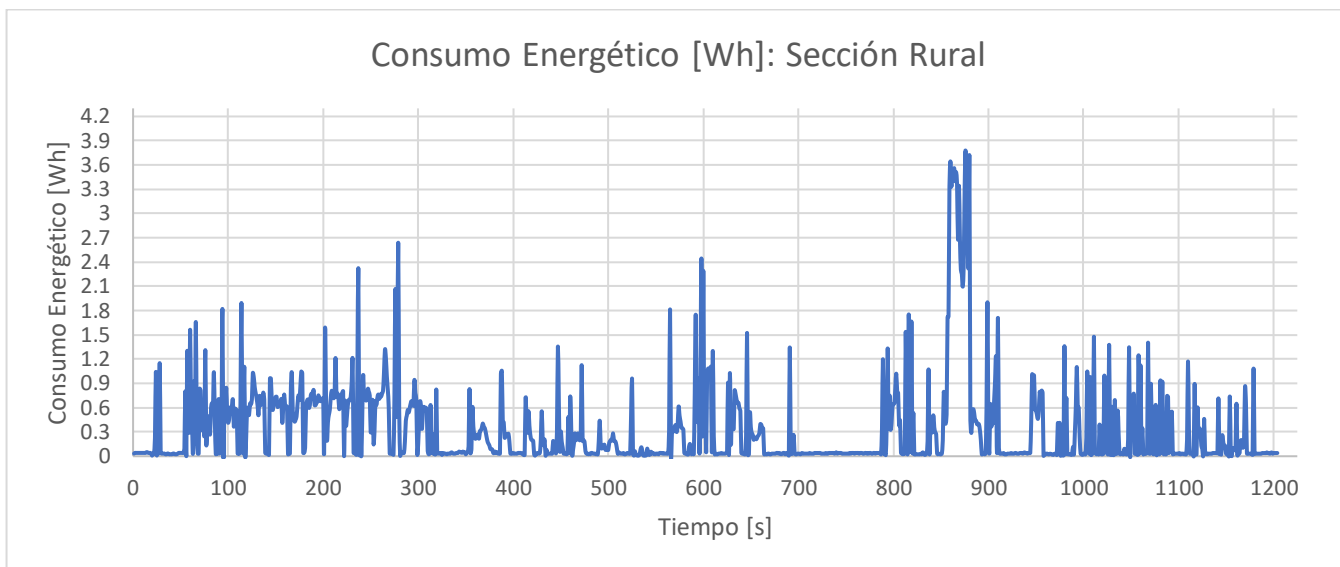
La intensidad pico máximo registrado para este tramo fue de 188.12 A, esta condición se produce debido a que alcanza una velocidad pico de 96 km/h lo que requiere de las exigencias máximas por parte del acelerador, por lo cual requiere gran cantidad de intensidad. La corriente media para el total del tramo rural es de 16.14 A, cabe mencionar que tiene un descenso promedio del 3% correspondiente a la zona rural, siendo favorecido por la inercia de la pendiente en descenso.

Figura 77*Demanda de corriente durante el ciclo rural***4.5.7 Corriente y Voltaje del Ciclo Rural**

En la figura 78, se presentan los valores de voltajes y corrientes del recorrido rural. Es evidente que, de acuerdo con la demanda de energía, las caídas de los voltajes son proporcionales, la razón es que mientras el acelerador esté en condiciones de exigencia elevadas, se tiene mayor demanda de corrientes y los voltajes sufren caídas drásticas de tensión de acuerdo con la posición del acelerador, para cubrir la exigencia requerida por el motor y desarrollar velocidades altas.

Figura 78*Demanda energética en función de la tensión e intensidad***4.5.8 Consumo Energético: Sección Rural**

De acuerdo con los parámetros que se obtuvo tanto de la intensidad como del voltaje, es posible encontrar los consumos de energía por cada fracción de segundo, dado que si se multiplica la intensidad por la tensión se obtiene la potencia instantánea y dividiendo el valor para 3600 da como resultado el consumo energético de la batería por cada segundo de datos en la sección rural. En la figura 79, se observa el consumo energético segundo a segundo durante el transcurso del recorrido rural que fue de 10km.

Figura 79*Consumo energético: sección rural*

Durante la trayectoria se registró un consumo de energía pico máximo de 3.76Wh, en el segundo 862 del tramo. Para el consumo de energía total de la sección rural, lo que se realizó fue la suma de todos los consumos por cada segundo durante 1 204 segundos que duro esta trayectoria, obteniendo un resultante de 405.28Wh acumulados del tramo rural. Se debe tener en cuenta que esta sección tuvo un descenso promedio del 3% por lo que la motocicleta es favorecida con la inercia de descenso, por ende, su consumo es relativamente favorable para esta sección que comprende los 10km, con un peso de la motocicleta y piloto combinados de 196kg. Como se registra en la tabla 20, el resultado final permite obtener el consumo energético de la sección rural mediante la siguiente ecuación:

$$C_{\text{consumo energético}} = \frac{\text{Consumo de energía [Wh]}}{\text{Distancia recorrida [Km]}} \quad [3.15]$$

$$C_{\text{consumo energético}} = \frac{405.28 \text{ Wh}}{10 \text{ km}}$$

$$C_{\text{consumo energético}} = 40.528 \text{ Wh/km}$$

Tabla 20 Consumo energético de la sección rural

Parámetro	Valor
Datos registrados	1 204 datos
Voltaje consumido de la batería	3.36V

Consumo de la batería en (%)	16%
Rango útil de la batería	21V
Energía total consumida de la sección Rural	405.28Wh
Consumo Energético: Sección Rural	40.528Wh/km

4.5.9 Eficiencia de la Batería: Sección Rural

Para el cálculo de la eficiencia se tomará en cuenta el rango útil de la batería que son de 21V. La cantidad de voltaje consumida durante este tramo fue de 3.36 V, que representa el 16% de consumo de la batería para la sección rural. El fin es conocer qué porcentaje de la energía total representan los 3.36 V de su capacidad total siendo 21V, sabiendo que tiene una capacidad de 2880Wh la batería de 72V 40Ah. El cual, mediante el siguiente cálculo se determina la cantidad de energía disponible en 3.36 V:

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = \frac{\text{Voltaje consumido de la batería [V]}}{\text{Rango útil de la batería [V]}} \quad [4.10]$$

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = \frac{3.36V}{21V}$$

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = 0.16$$

$$E_{consumida(4.5V)} = P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} * \text{Capacidad de la batería [Wh]} \quad [4.11]$$

$$E_{entrada(3.36V)} = 0.16 * 2880Wh$$

$$E_{entrada(3.36V)} = 460.8 Wh$$

La cantidad de 460.8Wh es la energía de entrada disponible en 3.36 V. Con estos valores posibilitan el cálculo de la eficiencia ya que se tiene una energía de entrada y la que gasta la batería durante el recorrido que se considera la energía de salida con 405.28Wh. Como se presenta a continuación:

$$\eta_{\%} = \frac{E_{energía_{salida}}}{E_{energía_{entrada}}} (100\%) \quad [2.6]$$

$$\eta_{\%} = \frac{405.28 Wh}{460.8 Wh} (100\%)$$

$$\eta_{\%} = 87.95\%$$

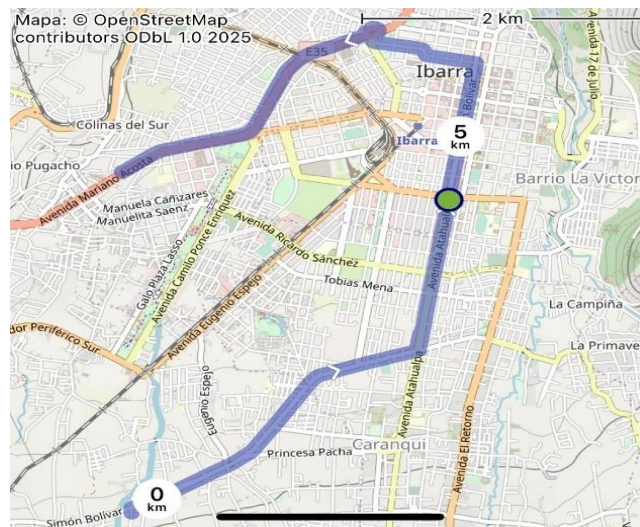
4.6 Sección Urbano

4.6.1 Trayectoria del Tramo Urbano

En la figura 80 es visible que el tramo tuvo una distancia total de 8.9km que cubrió la sección urbana, que dio inicio en la calle Gonzales de SAA, hasta llegar al punto final de la trayectoria en la calle 5 de diciembre y Carretera Panamericana 2763 de Ibarra. Este tramo comprende la Av. Hernán Gonzales de SAA, Avenida Atahualpa, calle Simón Bolívar, calle Juan Manuel Grijalva, Av. Eloy Alfaro y la panamericana E35 hasta el cruce con la calle 5 de diciembre.

Figura 80

Trayectoria de la sección urbana



Tomado de: Topo GPS. Recorrido de la zona urbana [118]

4.6.2 Parámetros de Movimiento y Altitud

La trayectoria de la zona urbana tuvo una duración de 1 414 segundos con desplazamiento total de 8.9km. Además, se registró una altura máxima de 2 272m.s.n.m. y mínima de 2 192m.s.n.m con una diferencia de altura de 80m. Adicionalmente, la velocidad pico máximo registrado es de 67km/h, con una velocidad media de 21.81km/h para esta zona urbana. En la tabla 21 se representan los valores máximos y mínimos incluyendo los porcentajes de inclinación, velocidad máxima, velocidad media y la distancia.

Tabla 21 Características de la zona rural

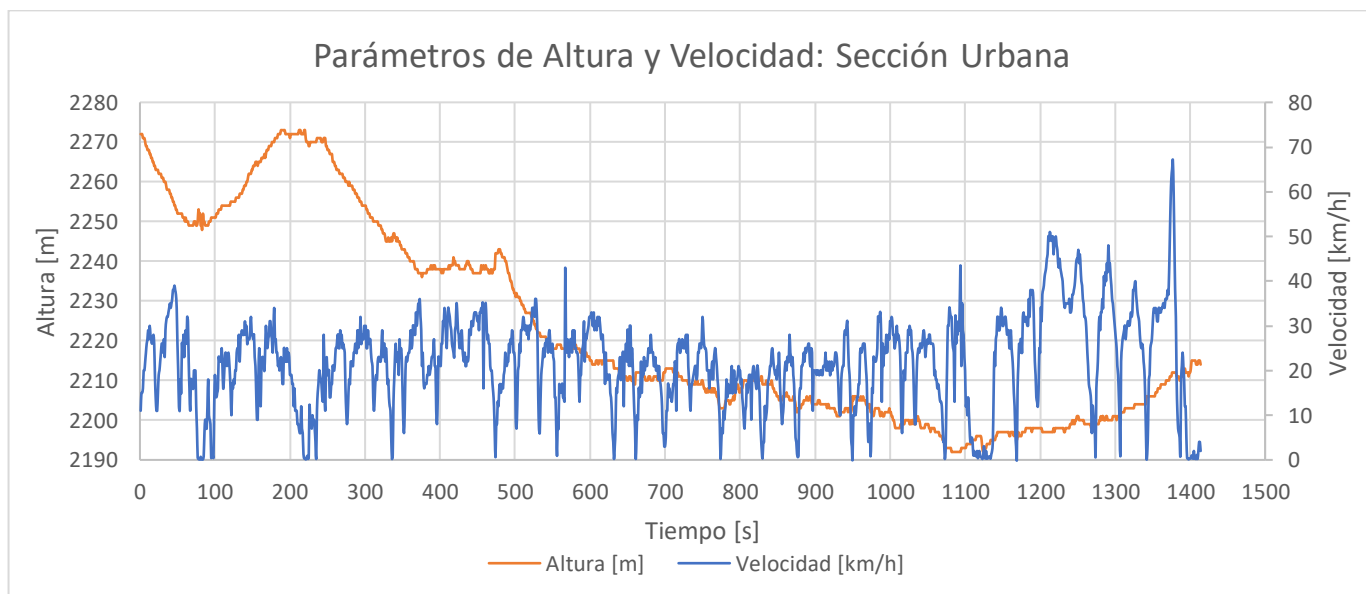
Parámetro	Valor
Tiempo	1 414 segundos

Velocidad Máxima	67 km/h
Velocidad media	21.81 km/h
Distancia	8.9 km
Altura máxima	2 272 msnm
Altura mínima	2 192 msnm
Altura promedio	2 231 m
Diferencia de Altura	80 m
Pendiente picos máxima	3%
Pendiente ascendente promedio	1%
Pendiente descendente promedio	1%
Peso total motocicleta + piloto	196 kg

Se presenta en la figura 81 los parámetros de velocidad y altitud del tramo urbano:

Figura 81

Altura y velocidad de la sección urbana



4.6.3 Parámetros Registrados Mediante Data Logger

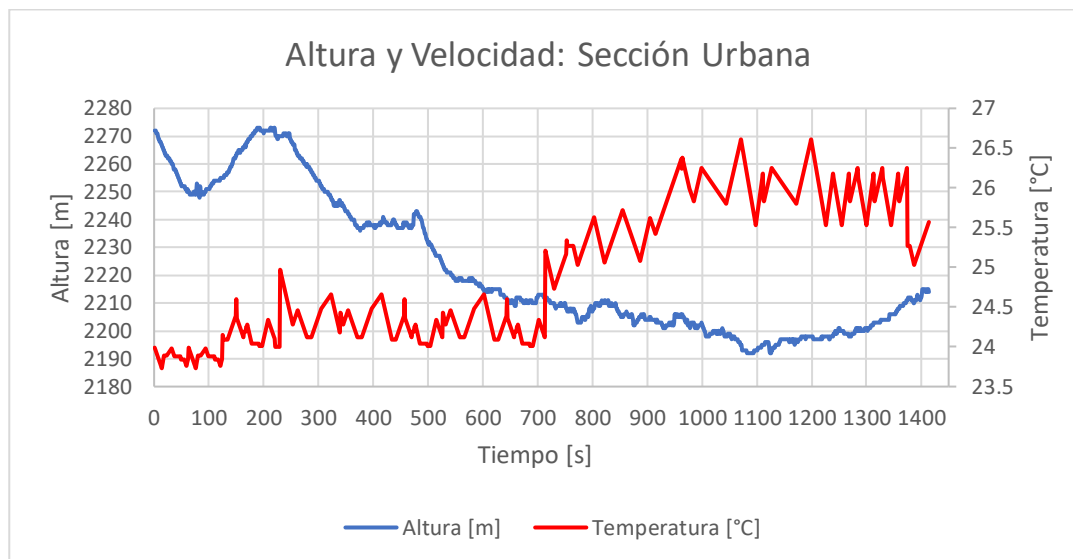
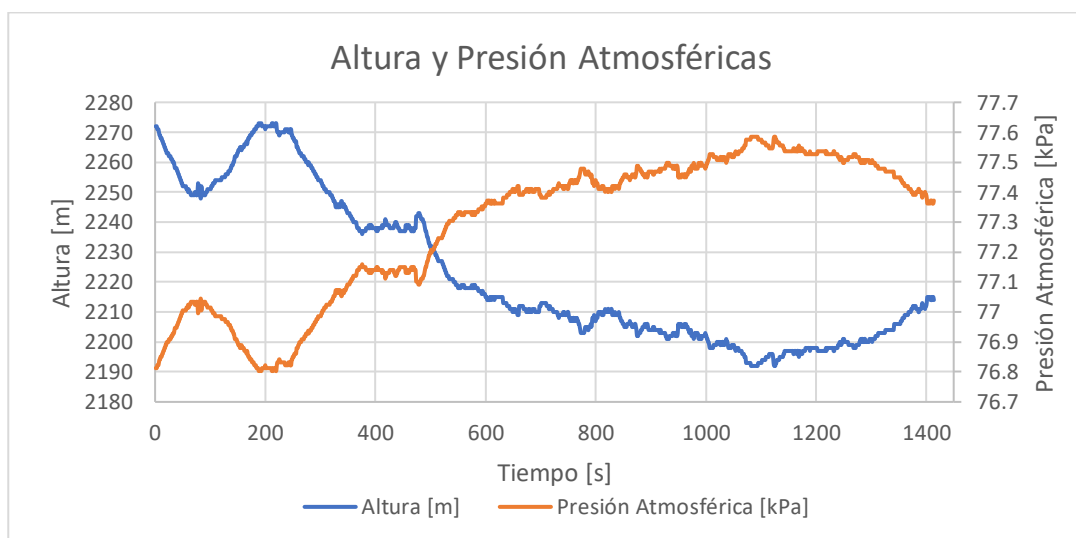
El voltaje de inicio para este tramo de fue de 77.24V, mientras que al final del tramo rural la batería registró 74.90V, lo que indica que tuvo una descarga de 2.34V para esta sección. También, se registró un pico máximo de 26.61 °C. En la tabla 22 se puede apreciar los valores máximos y mínimos de parámetros como la temperatura, tensión y corriente que fueron medidas con el data logger.

Tabla 22 Datos registrados con data logger

Parámetro	Valor
Datos registrados	1 414 datos
Voltaje inicial de batería	77.24 V
Voltaje final de batería	74.90 V
Descarga de la batería	2.34 V
Corriente máximo	188.49 A
Corriente promedio	9.98 A
Temperatura máxima	26.61 °C
Temperatura promedio	°C

4.6.4 Altura, Presión, y Temperatura de la Batería

La temperatura pico que se registró fue de 26.61 °C, mientras que la mínima fue de 23.73°C, la diferencia de temperatura se considera moderado, debido a que tiene una trayectoria con un descenso promedio de 1%. Durante este tramo la presión atmosférica se incrementó, alcanzando un valor de hasta 77.58 kPa, como se puede verificar en las siguientes figuras.

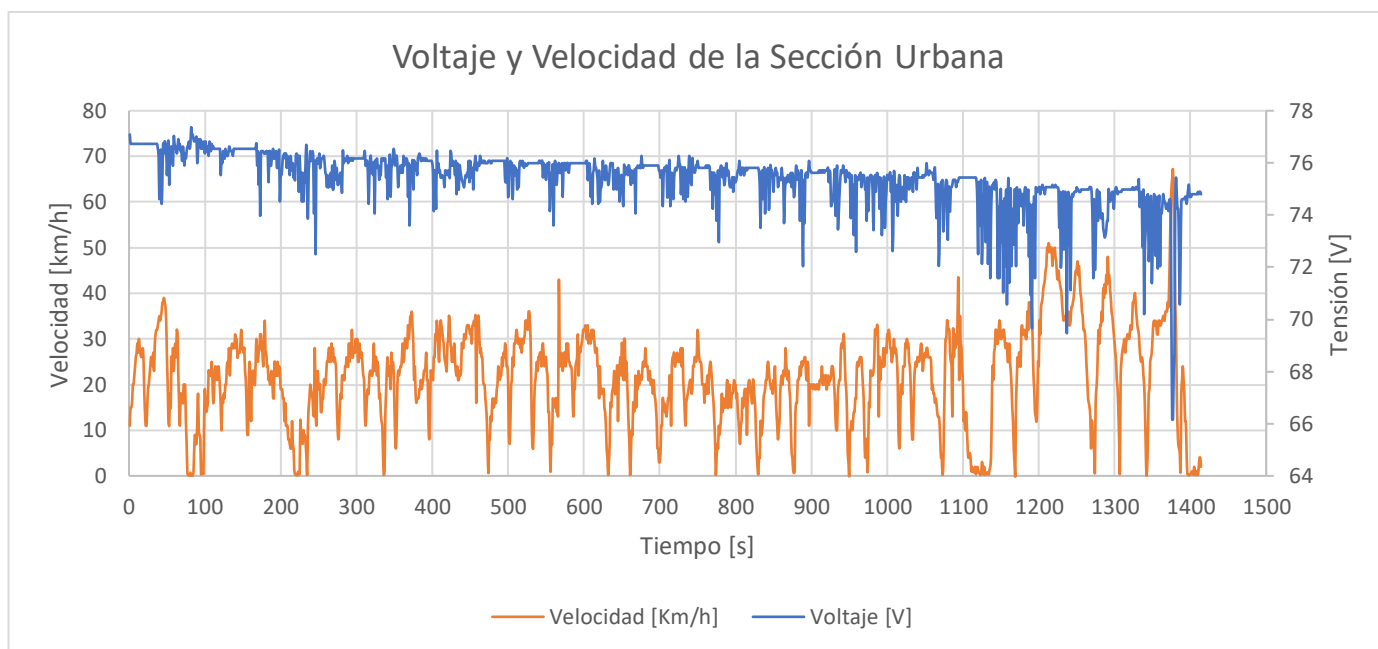
Figura 82*Altura y temperatura de la batería***Figura 83***Altura y presión atmosférica***4.6.5 Voltaje vs Velocidad**

En cuanto al voltaje de descarga que sufrió la batería durante este tramo es de 2.34V, el cual inició con 77.24V de carga de la batería, llegando al final de la trayectoria urbana con 74.9V. Esta trayectoria comprende un descenso promedio con una pendiente de 1%, con una variación de altura de 80m y una distancia total de 8.9km. La velocidad promedio alcanzada es de 21.81km/h. Por consiguiente, en la zona urbana se encontró intersecciones, semáforos, límites

de velocidad, stop y más señalizaciones de tránsito, que obliga a una conducción más lenta. Dando un total de 1 414 segundos para cubrir la sección urbana.

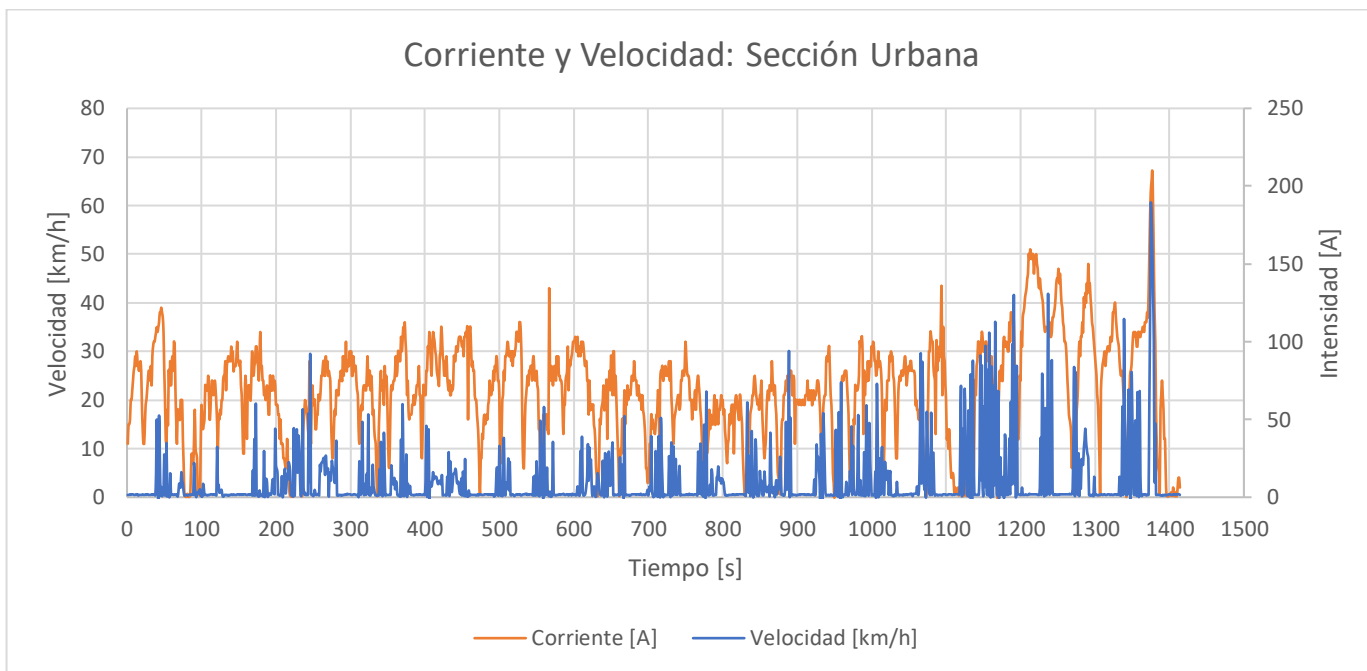
Figura 84

Parámetros de voltaje y velocidad de la sección urbana



4.6.6 Corriente vs Velocidad

La intensidad pico máxima registrada para este tramo fue de 180.77 A, esta condición se produce justamente cuando alcanza el pico máximo de velocidad de 67km/h, lo que requiere alta exigencia por parte del acelerador, por lo cual requiere gran cantidad de intensidad. La corriente media para el total del tramo urbano es de 9.98 A, cabe mencionar que tiene un descenso promedio de 1% correspondiente a esta zona urbana.

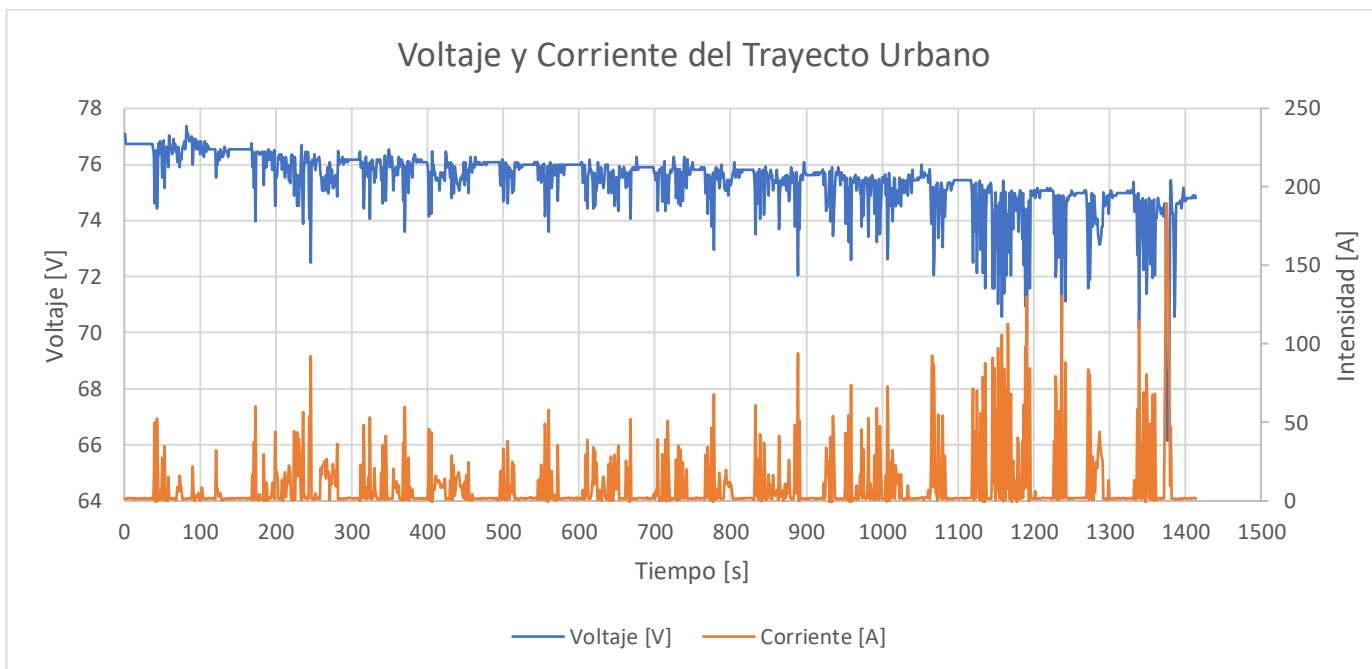
Figura 85*Intensidad en función de la velocidad sección urbana*

4.6.7 Corriente y Voltaje del Ciclo Urbano

En la figura 86, se presenta los valores de voltajes y corrientes del recorrido urbano. Es evidente que, de acuerdo con la demanda de energía, las caídas de los voltajes son proporcionales, alcanzando un voltaje promedio de 75.72V con un consumo medio de corriente de 9.98 A y una velocidad promedio 21.81km/h. Dado que las condiciones de velocidad son bajas, la posición del acelerador se exige menos, resultando una leve demanda de energía.

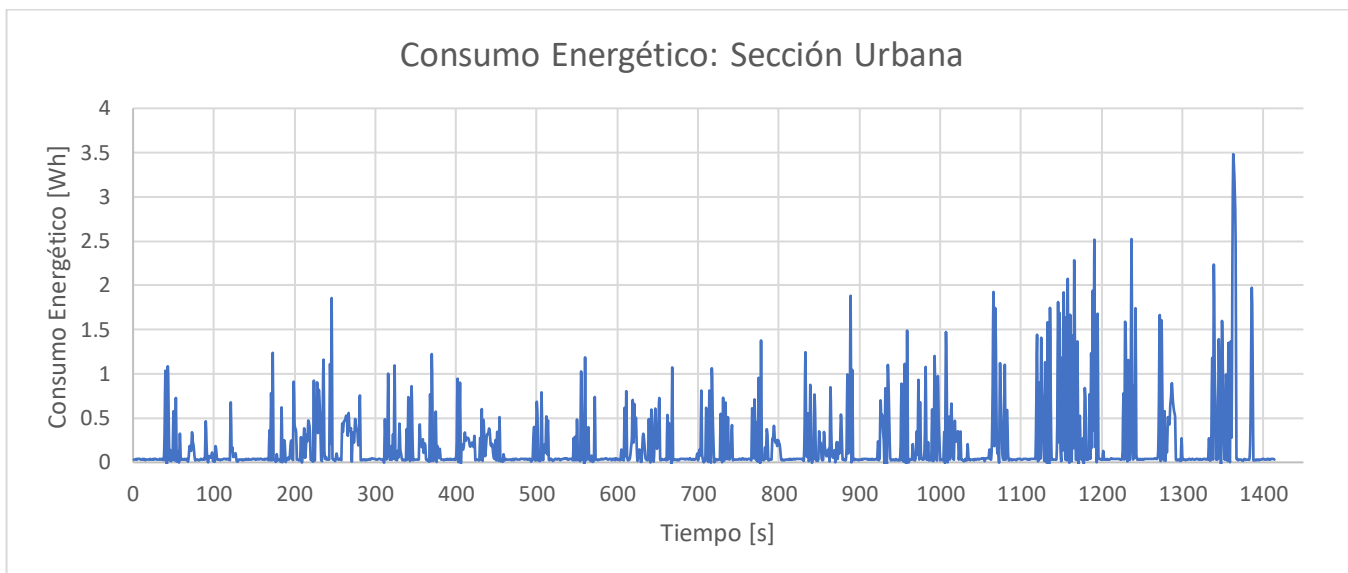
Figura 86

Demanda de energía en función de la intensidad y tensión del tramo urbano



4.6.8 Consumo Energético del Ciclo Urbano

De acuerdo con los parámetros obtenidos de intensidad y voltaje, es posible encontrar los consumos de energía por cada fracción de segundo, esto al multiplicar la intensidad por la tensión y dividiendo el factor de tiempo, resulta en consumo energético de la batería por cada segundo para la sección urbana. En la figura 87, se observa consumo energético por cada segundo en el transcurso del recorrido que fue de 8.9km, con un consumo energético total de 288.65Wh para el trayecto urbano.

Figura 87*Consumo energético de la sección urbana*

Durante la trayectoria se registró un consumo de energía pico máximo de 3.46Wh, en el segundo 1 363 del tramo. Para el consumo energético total de la sección urbana, lo que se realizó fue la suma de todos los consumos a una frecuencia de 1Hz durante 1 414 segundos que duró esta trayectoria, obteniendo un resultado de 288.65Wh acumulados del tramo urbano. Teniendo en cuenta que esta sección tiene un descenso promedio del 1%, por lo que la motocicleta es favorecida con la inercia de declive, por ende, su consumo relativamente favorable para esta sección que comprende 8.9km, con un peso de la motocicleta y piloto combinados de 196kg. Como se registra en la tabla 23. El resultado final permite obtener el consumo energético de la sección urbana mediante la siguiente ecuación:

$$C_{\text{consumo energético}} = \frac{\text{Consumo de energía [Wh]}}{\text{Distancia recorrida [Km]}} \quad [3.15]$$

$$C_{\text{consumo energético}} = \frac{288.65 \text{ Wh}}{8.9 \text{ km}}$$

$$C_{\text{consumo energético}} = 32.432 \text{ Wh/km}$$

Tabla 23 Consumo energético de la sección urbana

Parámetro	Valor
Datos registrados	1 414 datos

Voltaje consumido de la batería	2.34 V
Consumo de la batería en (%)	11.14%
Rango útil de la batería	21V
Energía total consumida de la sección Rural	288.65Wh
Consumo Energético: Sección Urbana	32.432 Wh/km

4.6.9 Eficiencia de la Batería: Sección Urbana

Para el cálculo de la eficiencia se tomó en cuenta el rango útil de la batería que son de 21V. La cantidad de voltaje consumida durante este tramo es de 2.34 V, que es equivalente a 11.14% de consumo de batería para la sección urbana. El fin es conocer qué porcentaje de la energía total representan los 2.34 V de su capacidad total siendo 21V, sabiendo que tiene una capacidad de 2880Wh la batería de 72V 40Ah. Mediante el siguiente cálculo se determina la cantidad de energía disponible en 2.34 V:

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = \frac{\text{Voltaje consumido de la batería [V]}}{\text{Rango útil de la batería [V]}} \quad [4.10]$$

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = \frac{2.34 \text{ V}}{21 \text{ V}}$$

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = 0.111$$

$$E_{\text{consumida}}_{(4.5V)} = P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} * \text{Capacidad de la batería [Wh]} \quad [4.11]$$

$$E_{\text{entrada}}_{(2.34 \text{ V})} = 0.111 * 2880 \text{ Wh}$$

$$E_{\text{entrada}}_{(2.34 \text{ V})} = 319.68 \text{ Wh}$$

La cantidad de 319.68Wh es la energía de entrada disponible en 2.34 V. Con estos valores es posible calcular la eficiencia, ya que se tiene una energía de entrada y la que gasta la batería durante el recorrido que se considera la energía de salida con 288.65Wh. Como se presenta a continuación:

$$\eta_{\%} = \frac{Energía_{salida}}{Energía_{entrada}} (100\%) \quad [2.6]$$

$$\eta_{\%} = \frac{288.65 \text{ Wh}}{319.68 \text{ Wh}} (100\%)$$

$$\eta_{\%} = 90.29 \%$$

4.7 Eficiencia de la Batería HV: Ruta Completa

4.7.1 Voltaje y Corriente: Ruta Completa

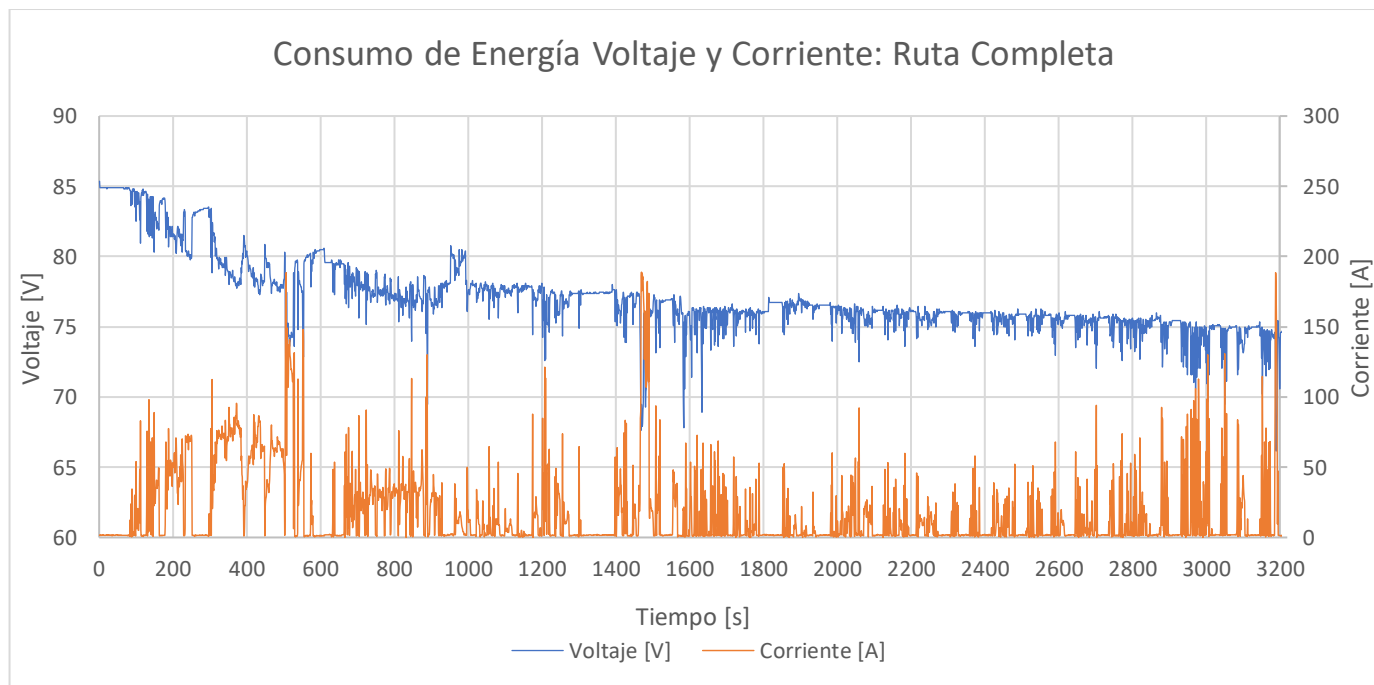
Para dar inicio con el ensayo de ruta completa, se cargó la batería completamente siendo 85V su carga máxima que representa al 100% de la carga de la batería y totalmente vacío 64V el cual es 0%. Cabe mencionar que el rango útil de la batería es de 21V.

Lo cual, al final de su trayectoria se registró 74.90V, lo que equivale 51.90%. El gasto total de carga de la batería para la ruta completa fue de 10.1V, es decir, 48.1%.

La intensidad promedio durante el ciclo completo fue de 17.38 A, pero, en condiciones de exigencia en la posición del acelerador se registran picos de hasta 188.49A.

Figura 88

Consumo del voltaje e intensidad de la ruta completa

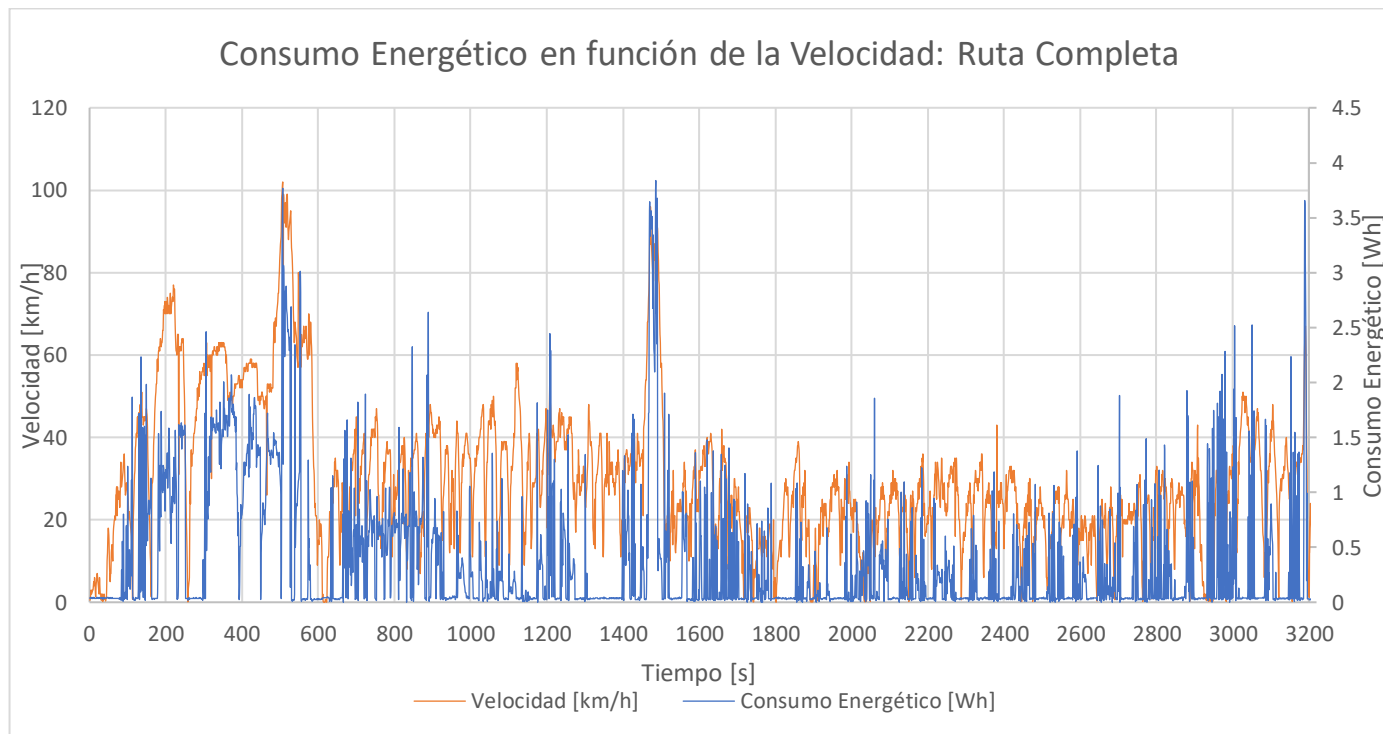


4.7.2 Consumo de Energético: Ruta Completa

El consumo de energía de la ruta completa se obtuvo mediante la multiplicación del voltaje por la intensidad por cada segundo, el resultado es dividido para el factor de tiempo 3600, dando como resultado la energía en unidades de Wh. En la figura 89 se observa el consumo energético por cada segundo en el transcurso del recorrido completa.

Figura 89

Consumo energético total de ruta completa



La acumulación de todas estas cantidades de energía por cada Hz dio como resultado 1186.87Wh de la ruta completa. Esta trayectoria tuvo 3 228 segundos con una distancia de 25.9km. Además, alcanzó una velocidad media de 29.99 km/h, con un peso de la motocicleta más piloto combinados de 196kg para el ciclo completo. Teniendo en cuenta que esta sección tiene ascenso y descenso promedio del 4%, tal como se registra en la tabla 24. El resultado final permite obtener el consumo energético de la ruta completa mediante la siguiente ecuación:

$$C_{\text{consumo energético}} = \frac{\text{Consumo de energía [Wh]}}{\text{Distancia recorrida [Km]}} \quad [3.15]$$

$$C_{\text{consumo energético}} = \frac{1186.86 \text{ Wh}}{25.9 \text{ km}}$$

$$C_{\text{consumo energético}} = 45.824 \text{ Wh/km}$$

Tabla 24 Consumo Energético de la ruta completa

Parámetro	Valor
Datos registrados	3 228 datos
Voltaje consumido de la batería	10.1 V
Consumo de la batería en (%)	48.1%
Rango útil de la batería	21V
Energía total consumida de la ruta completa	1 186.86Wh
Consumo Energético: Sección Urbana	45.824 Wh/km

4.7.3 Eficiencia de la Batería: Ruta Completa

La eficiencia de la batería durante la ruta completa comprende de 25.9km de distancia, con un tiempo estimado de 3 228 segundos, una altura mínima de 2 192m.s.n.m y una máxima de 2 529m.s.n.m, con una diferencia de 336m. Además de una pendiente de acenso y descenso promedio de 4%, con un peso total de 196kg.

Para el cálculo de la eficiencia se tomará en cuenta el rango útil de la batería que son 21V, teniendo en cuenta que 85V representa el 100% y 64V el 0% de carga de la batería. La cantidad de voltaje consumida durante este tramo es de 10.1 V, que es equivalente a 48.1% de consumo de batería para la ruta completa. El fin es conocer qué porcentaje de la energía total representan los 10.1 V de su capacidad total siendo 21V, sabiendo que tiene una capacidad de 2880Wh la batería de 72V 40Ah. Mediante el siguiente cálculo se determina la cantidad de energía disponible en 10.1 V:

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = \frac{\text{Voltaje consumido de la batería [V]}}{\text{Rango útil de la batería [V]}} \quad [4.10]$$

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = \frac{10.1 \text{ V}}{21 \text{ V}}$$

$$P_{(\%) \text{ de capacidad usada}} = 0.475$$

$$E_{consumida(10.1V)} = P_{(\% \text{ de capacidad usada})} * \text{Capacidad de la batería [Wh]} \quad [4.11]$$

$$E_{entrada(10.1V)} = 0.475 * 2880Wh$$

$$E_{entrada(10.1V)} = 1\,368.0\,Wh$$

La cantidad de 1 368.0Wh es la energía de entrada disponible en 10.1V. Con estos valores es posible calcular la eficiencia, ya que se tiene una energía de entrada y la que gastó la batería durante el recorrido, se considera la energía de salida con 1186.86Wh. Como se presenta a continuación:

$$\eta_{\%} = \frac{E_{energía\,salida}}{E_{energía\,entrada}} (100\%) \quad [2.6]$$

$$\eta_{\%} = \frac{1\,186.86\,Wh}{1\,368.0\,Wh} (100\%)$$

$$\eta_{\%} = 86.75\%$$

4.8 Autonomía: Sección Autopista

La autonomía que cubre la sección autopista es viable, dado que, fue calculado el consumo energético para este tramo, el cual fue de 70.41Wh/km. Además, se utilizó la ecuación 3.16, teniendo en cuenta que la capacidad es de 2 880Wh para la batería de 72V 40h [121].

$$Autonomía = \frac{\text{Capacidad total de la batería [Wh]}}{C_{consumo\,energético} \left[\frac{Wh}{Km} \right]} \quad [3.16]$$

$$Autonomía = \frac{2880\,Wh}{70.41\,Wh/km}$$

$$Autonomía = 40.90km$$

4.8.1 Autonomía: Sección Rural

La autonomía que cubre la sección rural se puede calcular, debido a los datos obtenidos del consumo energético para este tramo, el cual fue de 40.528Wh/km. Además, se utilizó la ecuación 3.16 a fin de obtener la autonomía, recordando que la capacidad es de 2880Wh para la batería de 72V 40h.

$$Autonomía = \frac{Capacidad\ total\ de\ la\ batería\ [Wh]}{Consumo\ energético\ \left[\frac{Wh}{Km}\right]} \quad [3.16]$$

$$Autonomía = \frac{2880\ Wh}{40.528\ Wh/km}$$

$$Autonomía = 71.07\ km$$

4.8.2 Autonomía: Sección Urbana

La autonomía que cubre la sección urbana es viable, dado que, fue calculado el consumo energético para este tramo, siendo de 32.432Wh/km. Además, se utilizó la expresión matemática 3.16 a fin de obtener la autonomía, teniendo en cuenta que la capacidad es de 2880Wh para la batería de 72V 40h.

$$Autonomía = \frac{Capacidad\ total\ de\ la\ batería\ [Wh]}{Consumo\ energético\ \left[\frac{Wh}{Km}\right]} \quad [3.16]$$

$$Autonomía = \frac{2880\ Wh}{32.432\ Wh/km}$$

$$Autonomía = 88.80\ km$$

4.8.3 Autonomía: Ruta Completa

La autonomía combinada que cubre las tres secciones de estudio, es decir, la ruta completa, es posible dado que ya fue calculado el consumo energético para este tramo, el cual fue de 45.824Wh/km. Además, se utilizó la fórmula matemática 3.16 con el fin de obtener la autonomía, considerando que la capacidad es de 2880Wh para la batería de 72V 40h.

$$Autonomía = \frac{Capacidad\ total\ de\ la\ batería\ [Wh]}{Consumo\ energético\ \left[\frac{Wh}{Km}\right]} \quad [3.16]$$

$$Autonomía = \frac{2880\ Wh}{45.824\ Wh/km}$$

$$Autonomía = 62.84\ km$$

4.9 Análisis de la Batería

4.9.1 Análisis de los Consumos Energéticos de la Batería

La figura 90 detalla el análisis comparativo del consumo energético de cada tramo. Es evidente que en la sección autopista con un pendiente ascendente promedio del 4%, peso total de 196kg, una velocidad media de 41.33km/h, alcanza el mayor consumo energético 70.41Wh/km, la cual es una consecuencia del esfuerzo realizado por el motor para superar la pendiente.

El tramo rural con una pendiente promedio de descenso del 3%, una velocidad media de 29.91km/h, alcanza un consumo de 40.528Wh/km, esto justifica el hecho de que es favorecido por la inercia de descenso, el cual requiere de menos exigencia por parte del acelerador.

El tramo urbano con una pendiente promedio de descenso de 1%, una velocidad media de 21.81km/h, alcanza un consumo de 32.432Wh/km, lo cual es relativamente inferior, debido a que, es favorecido por el descenso y sobre todo a que las velocidades exigidas son bajas, lo que resulta en una demanda reducida tanto de voltaje como de corriente por parte de la batería.

La sección de ruta completa es la combinación de los tres tramos, el cual posee una pendiente de ascenso y descenso promedio del 4%. Alcanzando una velocidad media de 29.99km/h, por tanto, se obtiene un consumo energético total de 45.824Wh/km, este valor es el resultado del consumo combinado de las tres secciones: autopista, rural y urbano.

Figura 90

Comparativa de consumos energéticos de cada tramo y ruta completa

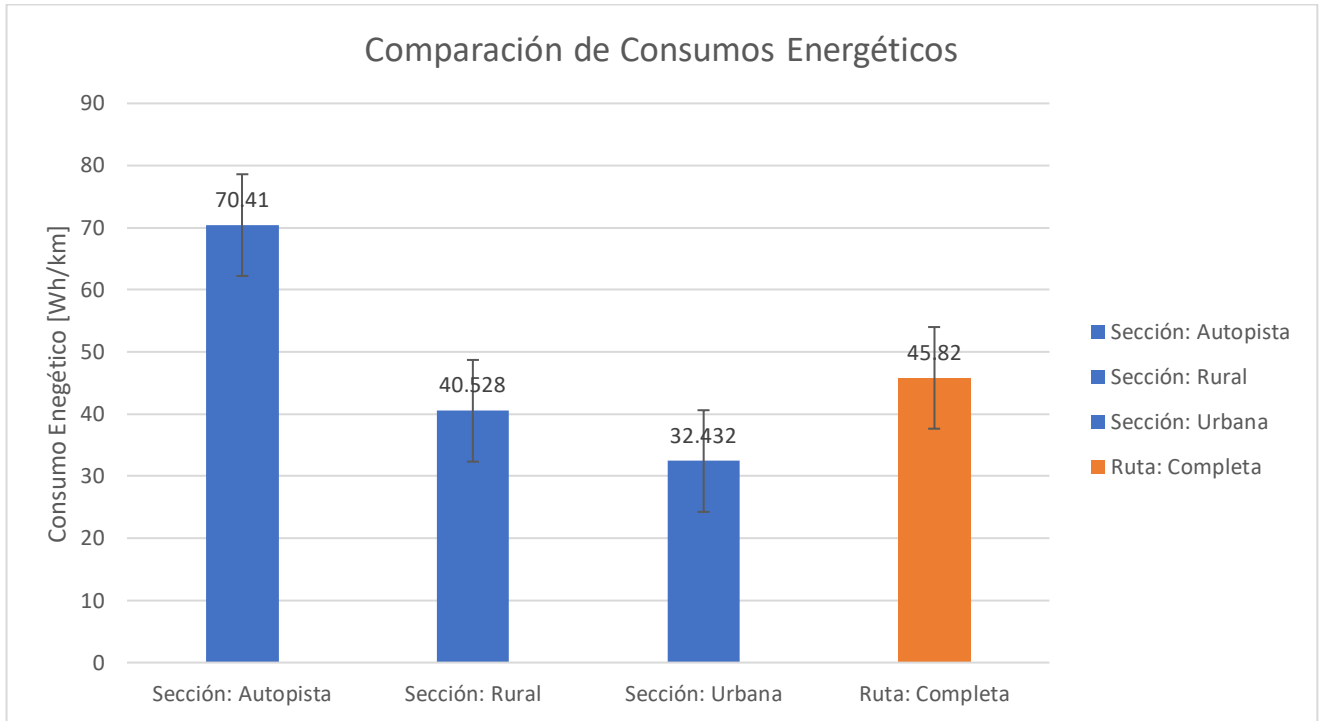
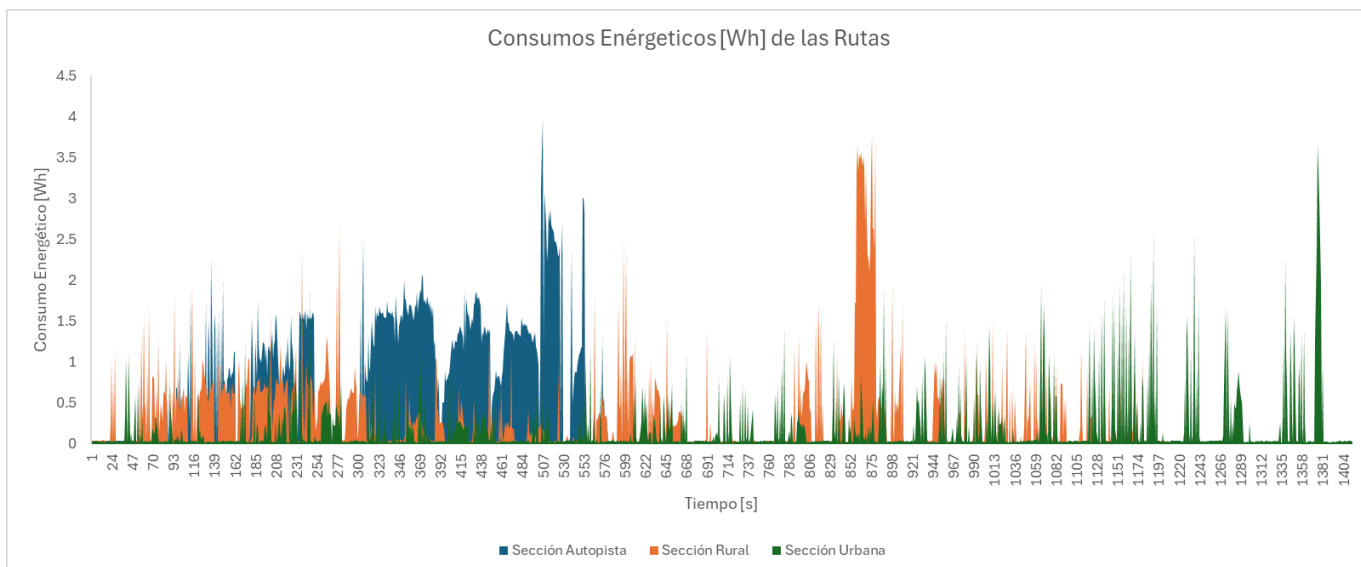
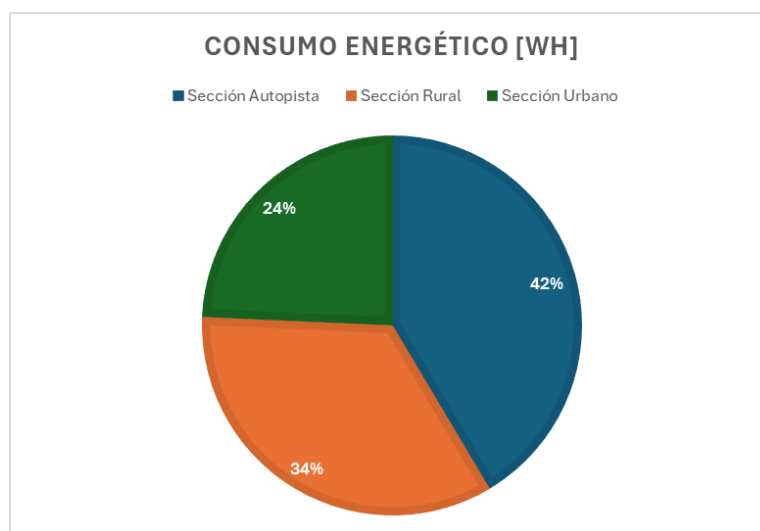


Figura 91
Consumos energéticos de cada sección



De acuerdo con la figura 91, se aprecia el consumo total energético en cada sección de la ruta de ensayo. Se puede evidenciar que la sección autopista aun siendo la más corta a diferencia de las otras secciones con 610 segundos, la cantidad de consumo de energía fue el más elevado con un 42%, seguido por la sección rural que cubre 34% y la sección urbana con el 24%, tal como se muestra en la imagen 92.

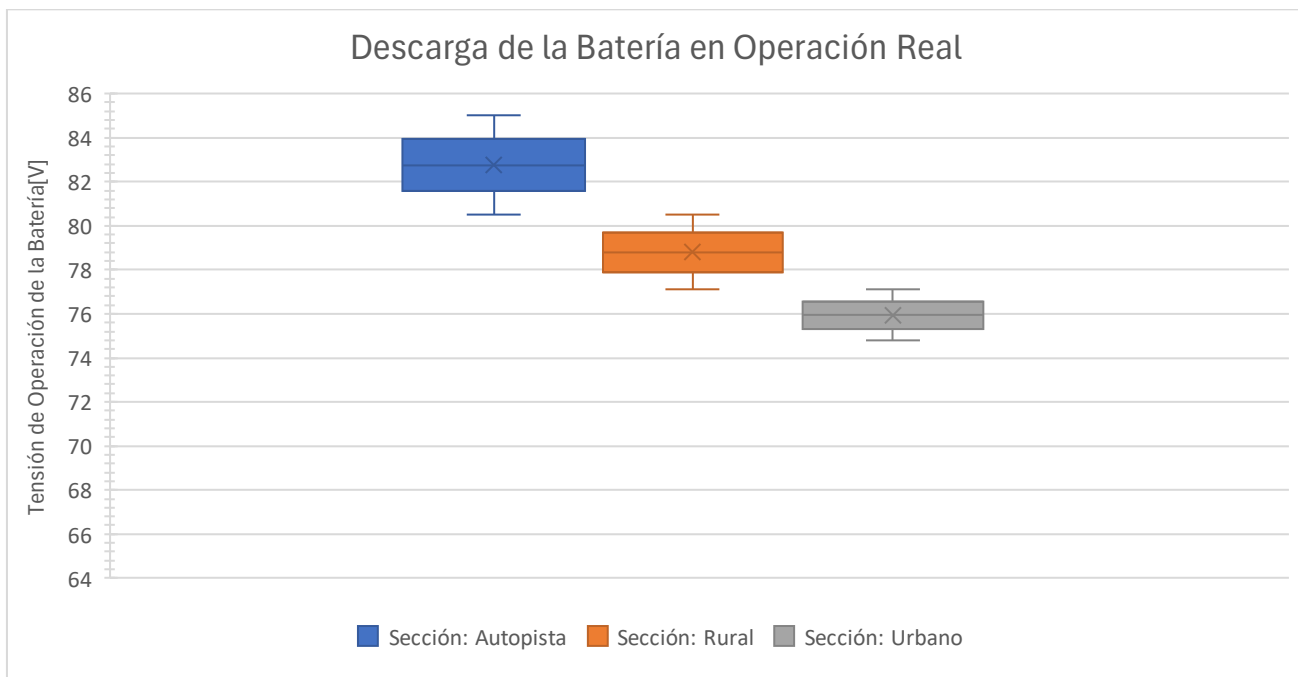
Figura 92
Consumo total energético en porcentaje para cada sección



4.9.2 Análisis del Comportamiento del Voltaje de la Batería

Se dio inicio al ensayo de la ruta con una carga completa que llega a 85V, lo que representa 100% de la batería, mientras que 64V es el 0%, dando como resultado que la batería tiene un rango útil de 21V.

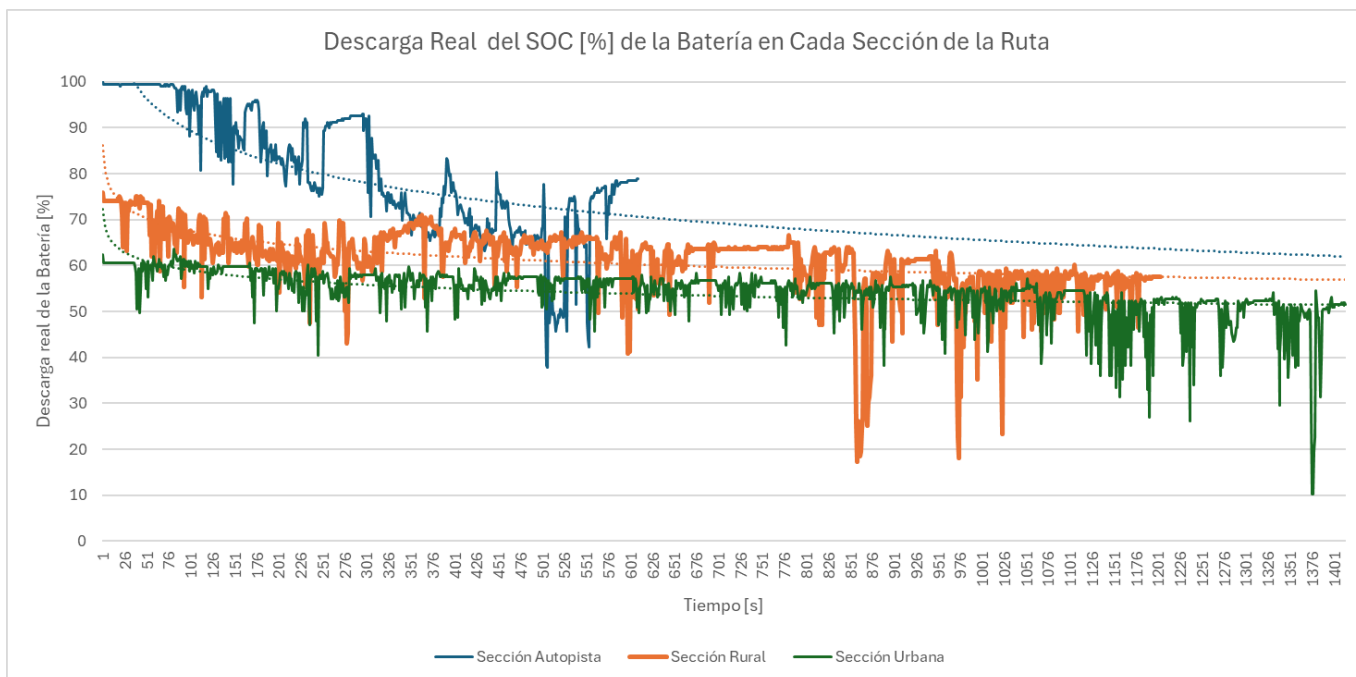
Durante la sección autopista se registros 85V que pertenece a 100% dando inicio con este valor, mientras que al final de la trayectoria del tramo autopista se registró 80.6V siendo 79.04%, del SOC% de la batería cómo se visualiza en la figura 93, el cual tiene un gasto de 4.4V que corresponde a 20.96% de desgaste de batería durante el recorrido autopista. La descarga que se produce es debido a la pendiente de ascenso del 4%, con un peso total (motocicleta + piloto) de 196kg, dando como resultado mayor exigencia en la posición del acelerador para vencer la pendiente por lo que requiere mayor tensión e intensidad, lo cual significa mayor cantidad de energía para esta sección. Asimismo, para la sección rural se parte con 80.6V que sería 79.04%, hasta llegar a final del tramo rural con 77.24V que representa 63.04%, teniendo un desgaste de 3.36V lo cual indica el 16% de gasto de energía de la batería, este trayecto comprende un descenso del 3%, que requiere menos exigencia del acelerador. De la misma manera, para el tramo urbano inicia con 77.24V (63.04%) hasta llegar al final del ciclo urbano marcando 74.90V, que representa 51.90%, dando como resultado un desgaste de 2.34V que es igual a 11.14% del SOC, este tramo tiene un descenso promedio de 1% y velocidades relativamente bajas debido a las condiciones como los semáforos, intersecciones, señalizaciones de tránsito, etc, lo cual impide mantener velocidades altas, por ende, menor exigencia por parte del acelerador y energía de la batería. Finalmente, la ruta completa comprende desde los 85V (100% de SOC) hasta el cierre operativo de la ruta completa con 74.9V (51.90% de SOC), lo que comprende un gasto total de 10.1V, lo que significa que se descargó 48.1% del SOC% de la batería cómo se visualiza en la figura 93.

Figura 93*Comportamiento de batería en las distintas secciones de rutas*

Los resultados de la batería durante la sección autopista experimentó una descarga del 20.96% como se aprecia en la figura 94, pese a que la distancia y tiempo recorrido resulta ser la menor de todas las secciones, siendo 610 segundos y 7 kilómetros respectivamente. Por consecuencia, el consumo energético se eleva por cada kilómetro recorrido, reduciendo la tasa de tiempo funcional de la batería, lo que significa menor autonomía y eficiencia. Asimismo, el tramo rural comprendido de 1204 segundos y 10 kilómetros, los datos indican que la batería experimentó un 16% de descarga, siendo inferior con respecto a la sección autopista, en consecuencia, tanto la autonomía y eficiencia serán mayores que la sección anterior. Finalmente, la sección urbana tan solo registró un 11.14% de descarga por parte de la batería, por lo tanto, su consumo energético es 46.85% inferior con respecto a la sección autopista y 23.66% inferior al tramo rural. Lo que significa que, la velocidad con que se descarga la energía por cada kilómetro recorrido es lento, lo que incrementa el tiempo de uso de la batería, prolongando la autonomía y mejorando el rendimiento notablemente.

Figura 94

Comparación de la descarga del SOC (%) de la batería en cada sección de la ruta



4.9.3 Análisis de la Autonomía de la Batería

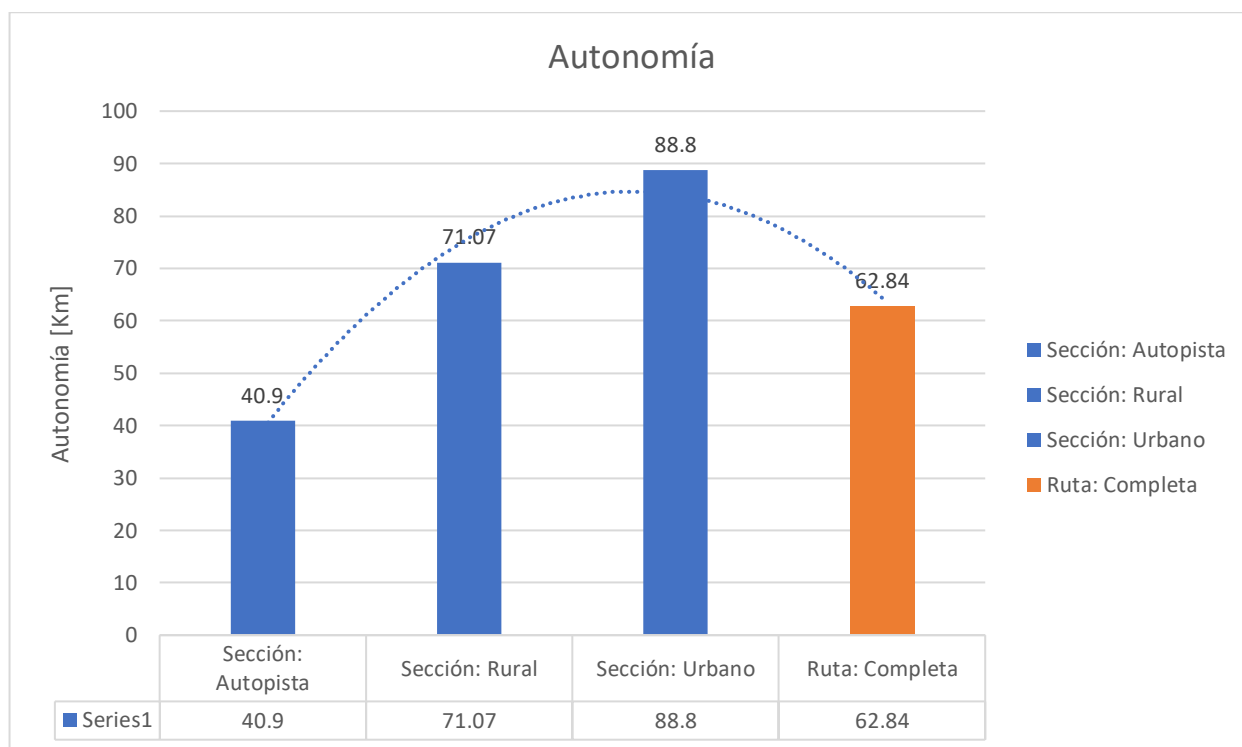
Se puede observar en la figura 95 que para la obtención de la autonomía, es importante recordar que la batería tiene una capacidad de 2 880Wh siendo de 72V 40Ah. Para el tramo autopista se divide la capacidad de la batería para el consumo energético que fue de 70.41Wh/km, de esta manera alcanzó una autonomía de 40.90km, provocando un descenso a diferencia del resto de secciones debido a las condiciones como la pendiente de ascenso promedio del 4%, lo que resulta en posición exigida del acelerador, mayor demanda de energía, significando más flujo de intensidad y tensión, disminuyendo rápidamente el porcentaje de la batería. De igual forma, para la sección de la ruta rural se alcanzó una autonomía de 71.07km, puesto a que se ve favorecido por la inercia, ya que se presenta una pendiente de descenso promedio del 3%, reduciendo la exigencia del acelerador lo que se traduce en velocidades inferiores. Con respecto a la sección urbana se presenta una autonomía de 88.80km, siendo superior que el resto de las rutas, esta condición es gracias a que las velocidades son relativamente bajas por los distintas condiciones como: semáforos, intersecciones, señalizaciones de tránsito, etc., lo que resulta en una demanda de intensidad y tensión inferiores, además que se presenta una pendiente de descenso promedio del 1%, por lo cual se concluye que para la movilidad urbana son ideales,

ya que en condiciones de ralentí no existe flujo o demanda de energía, es decir, cuando la motocicleta se detiene la batería no experimenta consumo alguno.

Finalmente, la autonomía combinada de las tres secciones cubriendo la ruta completa, resulta en 62.84km.

Figura 95

Comparativa de las distintas autonomías en cada sección de la ruta y general



4.9.4 Análisis de la Eficiencia de la Batería

La eficiencia de la batería se analizó durante tres secciones, siendo los tramos: autopista, rural y urbana. Para la trayectoria de la sección autopista se obtuvo 82.01% de eficiencia, este tramo tiene una pendiente de ascenso promedio del 4% y picos que alcanzaron el 8%. Además, con un peso total de 196kg, una velocidad media de 41.33km/h siendo la más crítica a comparación de las tres secciones debido a que la fuerza de pendiente se ve directamente influenciada por el peso, gravedad y la inclinación del terreno topográfico, provocando una alta exigencia por parte del motor, resultando en una alta tasa de descarga de la batería, con la finalidad de vencer esencialmente la resistencia por pendiente.

Por otro lado, la ruta rural alcanzó una eficiencia del 87.95%, presentando una pendiente de descenso promedio del 3% para este trayecto, siendo favorecido por la inercia de descenso,

presentando menor exigencia de intensidad y tensión lo que beneficia la transformación de energía química almacenada en la batería a energía eléctrica, para el funcionamiento del motor y por ende su desplazamiento.

Con respecto a la sección urbana se obtuvo una eficiencia del 90.29%, lo cual hace que sea un referente ideal en condiciones de movilidad urbana, dado que, cuando se detiene la motocicleta por las distintas condiciones como: semáforos, intersecciones y señalizaciones de tránsito no registra consumo de energía por parte de la batería, además de su baja exigencia en la posición del acelerador y las bajas tasas de velocidades con un promedio de 21.81km/h, a diferencia del resto de las demás rutas provoca que, el rendimiento sea el más alto del segmento.

Finalmente, la ruta completa comprende un rendimiento combinado con las diferentes características topográficas de cada sección, alcanzando una eficiencia conjunta del 86.75%.

Figura 96

Eficiencia real de la Batería HV

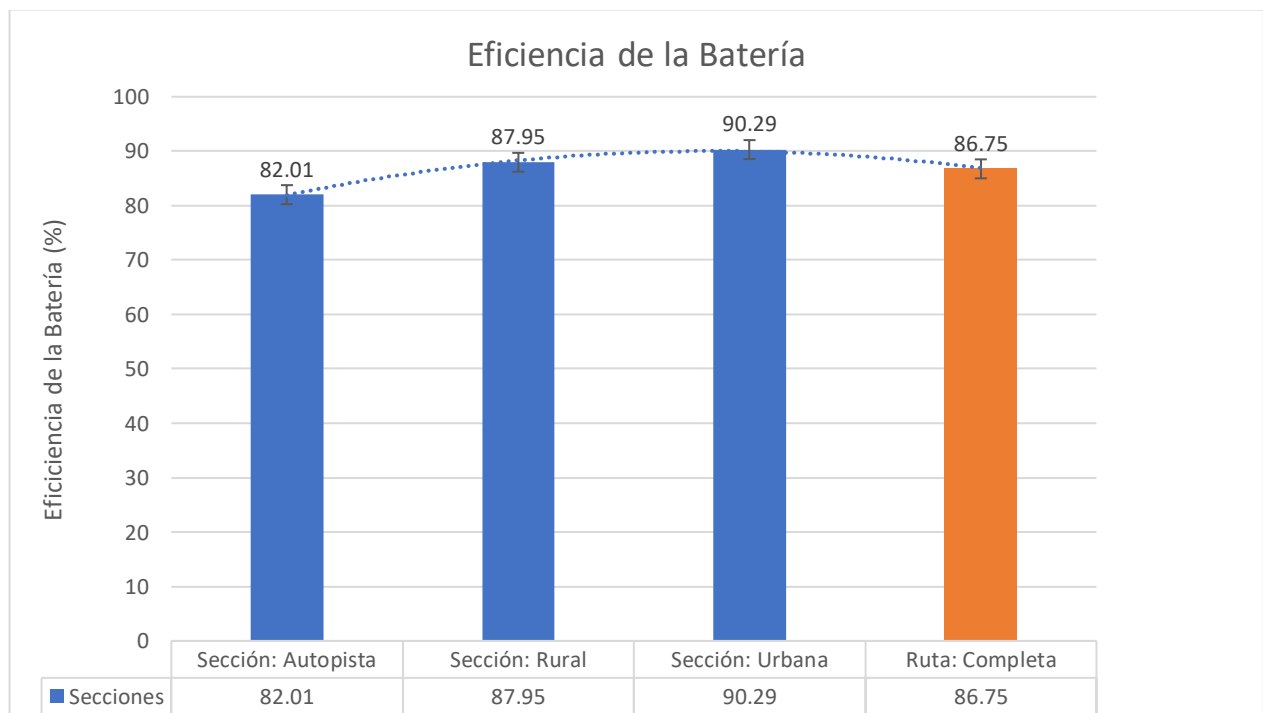


Tabla 25 Resultados de eficiencias en cada sección y la ruta completa

Eficiencias	Secciones			
	Autopista	Rural	Urbano	Ruta Completa

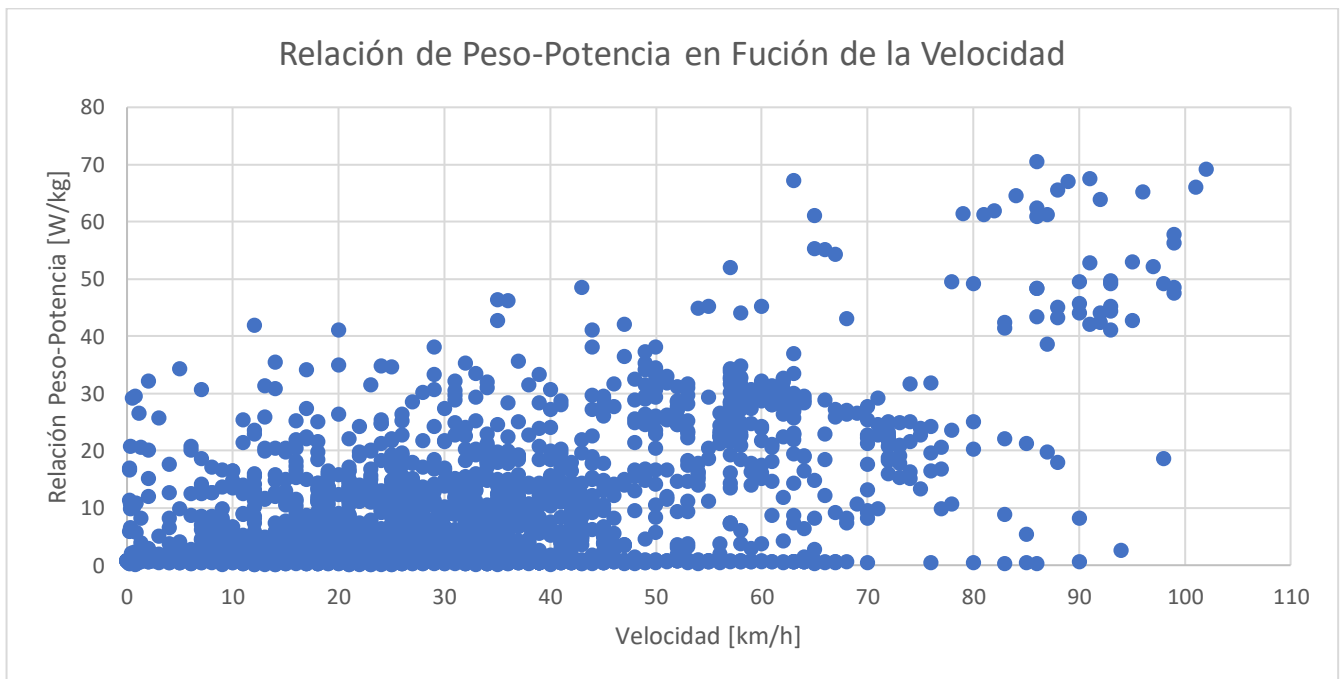
Consumo Energético [Wh/km]	70.41	40.52	32.43	45.82
Autonomía [km]	40.90	71.07	88.80	62.84
Eficiencia [$\eta\%$]	82.01	87.95	90.29	86.75

4.9.5 Influencia del Peso-Potencia en Velocidades

La figura 97 muestra la relación de peso-potencia bajo condiciones de velocidades alcanzadas durante la ruta completa.

Figura 97

Relación del peso-potencia respecto a la velocidad



En velocidades de 0 a 40km/h se aprecia la mayor concentración y acumulación de puntos, esto debido a que su relación de peso-potencia tiene una media de 20W/kg resultando en una aceleración más leve, además, la principal fuerza a la que debe vencer es el contacto del neumático con la calzada llamada fuerza de rodadura, también tiene una relación directa con la eficiencia, la razón de esto es debido a que el motor no necesita demandas altas de potencia (W) para mover el peso (kg), por ende, la batería se consume menos, provocando mayor duración con respecto al tiempo y dando lugar al incremento de autonomía, como se evidencia en la tabla 25 de resultados. Sin embargo, a medida que la velocidad incrementa la tendencia

de relación peso-potencia se eleva, esto debido que, velocidades superiores en media de los 75km/h se ve afectado por la principal fuerza que debe vencer denominado fuerza aerodinámica que tiene la particularidad de elevarse al cuadrado de la velocidad, por ende, el motor exige mayor potencia partiendo desde los 50W/kg, lo cual exige mayor demanda energética de la batería provocando en una descarga rápida de electrones desde el ánodo hacia el cátodo de la batería de litio, reduciendo el tiempo de duración y consecuentemente su autonomía, lo cual es un indicativo que en zonas de poca concentración de puntos como el caso de 100km/h y 70W/kg se disparan, exigiendo que la batería sea menos eficiente.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El análisis de eficiencia de la batería de Ion Litio de 72V 40 Ah en una motocicleta producto de la conversión de combustión a eléctrica, hizo posible la recopilación de datos y la obtención de resultados acerca de su rendimiento en diversas condiciones de operación real.

En la ruta de ensayo se consideró 3 secciones: (i) autopista, (ii) rural, (iii) urbano, los cuales tuvieron una descarga de 4.4V (20.96% del SOC), 3.36V (16% del SOC), 2.34V (11.14% del SOC) respectivamente. Para analizar la eficiencia de la batería fue necesario saber los valores exactos del voltaje tanto de inicio y final que comprende la ruta completa, dando inicio con 85V (100% del SOC) hasta finalizar la ruta con 74.9V (51.90% del SOC), lo que comprende un gasto total de 10.1V que indica la descarga del 48.1% del SOC de la batería.

El consumo energético que presenta la batería para cada tramo fue: sección autopista, tuvo un consumo energético de 70.41Wh/km con una pendiente de ascenso del 4% y una velocidad media de 41.33km/h, lo cual resultó una autonomía de 40.90km. Con respecto a la sección rural se consumió 40.52Wh/km con una pendiente de descenso promedio del 3% y una velocidad media de 29.91km/h, con una autonomía de 71.07km. En cuanto a la sección urbana, consumió 32.43Wh/km de energía con una pendiente promedio de descenso del 1% y una velocidad media de 21.81km/h, lo cual resultó una autonomía de 88.90km. Finalmente la ruta completa dio como resultado 45.82Wh/km, lo que significa una autonomía de 62.84km.

Es evidente que la sección autopista tiene mayor cantidad de consumo debido a la pendiente de ascenso y velocidades provocando la alta demanda de energía que el motor requiere, por ende,

exige mayor flujo de energía a la batería, siendo 42.96% más con respecto a la sección rural y 53.95% con respecto a la sección urbana, estos resultados reflejan como el relieve topográfico y la velocidad de conducción es crítico para la motocicleta eléctrica en condiciones de operación real.

Así también, la eficiencia de la batería para la sección autopista fue de 82.01%, en el caso de la sección rural 86.75%, la sección urbana 90.29% y la ruta completa comprende un rendimiento general del 86.75%. Los resultados obtenidos de esta investigación demuestran que la eficiencia de la batería de ion litio 72V 40 Ah, se basan en gran medida del perfil topográfico y la velocidad del ciclo de conducción. En rutas de relieves planos la eficiencia es la más optima, ya que, una motocicleta eléctrica en condiciones de reposo no tiene consumo alguno de energía a diferencia de un vehículo de combustión, además de su baja tasa de velocidad lo convierte ideal para entornos de movilidad urbana, reduciendo considerablemente el flujo energético por parte de la batería, incrementando así, la distancia que puede recorrer con una sola carga. A razón de esto, es fundamental tomar en cuenta las características del perfil de altitud y velocidad, considerando las condiciones de carretera en cada entorno de ruta.

Finalmente, los hallazgos de este estudio detallan las causas esenciales que influye en la eficiencia y por ende la autonomía de las motocicletas eléctricas, aportando evidencia de datos que pueden favorecer a optimizar el modo adecuado de uso.

La integración de adaptar la movilidad eléctrica dependerá mucho de los avances continuos en cuanto a la mejora de la batería HV, sobre todo para condiciones con un relieve topográfico muy variado y las estrategias para inducir un estilo de conducción con un mejor desempeño, fomentando una red de transportes que impulsen a ser cada vez más eficientes y sostenibles.

5.2 Recomendaciones

Durante la recopilación de datos se tuvo inconvenientes con el Protoboard y Arduino Uno, que experimentan bloqueos intermitentes durante la adquisición de datos, lo que para los próximos estudios se recomienda utilizar Raspberry Pi, ya que posee un sistema de procesamiento y multitarea más potente.

Para las condiciones en cuanto al perfil de altura con pendientes, se sugiere mantener aceleraciones leves, evitando la alta exigencia de posición en el acelerador, impidiendo cambios bruscos de velocidad, con el fin de reducir el consumo específico de energía y que favorezca

positivamente en la autonomía, ya que es importante considerar que el tiempo de carga de la batería es aproximadamente de 4 horas.

La instalación de un freno regenerativo posibilitaría la recuperación de energía en trayectoria de descenso, esto resultaría muy provechoso por las condiciones topográficas que presenta el entorno en la Ciudad de Ibarra, extendiendo así, la autonomía efectiva de la motocicleta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Larrea Carlos, “El próximo agotamiento del petróleo en el Ecuador,” 2022.
- [2] Redacción Sociedad, “El Telégrafo - El transporte motorizado es el que más contamina.” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/transporte-motorizado-contaminacion-ambiental-ecuador>
- [3] Fernández Rey Emilio J, “Kit universal para la conversión de un vehículo de combustión a eléctrico.” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: <https://emiliojfrey.com/2020/05/22/kit-universal-para-la-conversion-de-un-vehiculo-de-combustion-a-electrico/>
- [4] TLW, “¿Cómo afecta la industria automotriz al medio ambiente?” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: <https://thelogisticsworld.com/logistica-y-distribucion/como-afecta-la-industria-automotriz-al-medio-ambiente-una-revision-de-los-principales-desafios/>
- [5] BONNET, “¿Cómo funcionan las baterías de los vehículos eléctricos? | Bonnet.” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.joinbonnet.com/es/post/how-do-electric-vehicle-batteries-work>
- [6] Proaño Erick, “ANÁLISIS DE LA AUTONOMÍA DE LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO,” Mar. 2020.
- [7] M. Rizki, O. Rossolov, and Y. O. Susilo, “The barriers, determinants, and willingness-to-pay in electric motorcycle conversion (EMC) adoption,” *Energy Policy*, vol. 195, p. 114361, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.ENPOL.2024.114361.
- [8] A. Mbutura, M. Kitetu, H. Stratford, and M. J. Booysen, “Nairobi motorcycle transit comparison dataset: Fuel vs. electric vehicle performance tracking (2023),” *Data Brief*, vol. 61, p. 111805, Aug. 2025, doi: 10.1016/J.DIB.2025.111805.
- [9] A. P. Asimakopoulou, B. T. Boumis, C. E. Patsias, D. A. Safacas, and E. E. Mitronikas, “Experience derived from the conversion of a conventional car to a hybrid electric vehicle-analysis of the powertrain,” *SPEEDAM 2010 - International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, pp. 1040–1045, 2010, doi: 10.1109/SPEEDAM.2010.5542277.
- [10] B. C. Keoun, “Designing an electric vehicle conversion,” *Southcon Conference Record*, pp. 303–308, 1995, doi: 10.1109/SOUTHC.1995.516121.
- [11] F. Ni *et al.*, “Charging management of electric vehicles with consumption of renewable energy,” *Energy*, vol. 321, p. 135264, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.ENERGY.2025.135264.
- [12] L. O. Polanco Vásquez *et al.*, “Life cycle assessment of electric and gasoline moto-taxi in Yucatán, México: Impact of battery technology and social considerations,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 85, p. 101614, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.ESD.2024.101614.

- [13] L. La Fleur, E. Lindkvist, R. Trångteg, S. Winter, and P. Thollander, "Riding the future: Environmental, primary energy and economic analysis of an electric motorcycle - A Kenyan case study," *Energy for Sustainable Development*, vol. 83, p. 101573, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.ESD.2024.101573.
- [14] G. Carranza, M. Do Nascimento, J. Fanals, J. Febrer, and C. Valderrama, "Life cycle assessment and economic analysis of the electric motorcycle in the city of Barcelona and the impact on air pollution," *Science of The Total Environment*, vol. 821, p. 153419, May 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.153419.
- [15] M. I. al Irsyad *et al.*, "Comparative total cost assessments of electric and conventional vehicles in ASEAN: Commercial vehicles and motorcycle conversion," *Energy for Sustainable Development*, vol. 85, p. 101599, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.ESD.2024.101599.
- [16] U. Autónoma *et al.*, "El Hombre y la Máquina," 2020, [Online]. Available: <http://elsolweb>.
- [17] E. Drummond *et al.*, "Design and construction of an electric motorcycle," *2019 Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS 2019*, Apr. 2019, doi: 10.1109/SIEDS.2019.8735634.
- [18] A. I. Firmansyah, N. K. Supriatna, Y. Gunawan, G. T. Setiadanu, and Slamet, "Performance Testing of Electric Motorcycle Conversion," *7th International Conference on Electric Vehicular Technology, ICEVT 2022 - Proceeding*, pp. 165–168, 2022, doi: 10.1109/ICEVT55516.2022.9924921.
- [19] T. S. Tedla, N. W. Hlongwa, T. T. I. Nkambule, J. P. Maree, and M. A. Kebede, "Advancements in desalination batteries: fundamental principles, desalination and electrochemical performances: a systematic review," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 77, p. 108645, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.JWPE.2025.108645.
- [20] W. Yan *et al.*, "Two-dimensional SiC-based heterostructures for advanced lithium-ion batteries: A first-principles study," *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, vol. 10, no. 3, p. 100946, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.JSAMD.2025.100946.
- [21] B. Y.K., A. V.P., V. U., and P. G.K., "Single-port and multi-port self-reconfigurable battery topologies for dynamic cell balancing," *J. Energy Storage*, vol. 119, p. 116402, May 2025, doi: 10.1016/J.EST.2025.116402.
- [22] C. F. P. Miranda and L. M. N. B. F. Santos, "Exploration of the anion effect on the electrical conductivity of ionic liquids," *J. Mol. Liq.*, vol. 423, p. 126916, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.MOLLIQ.2025.126916.
- [23] F. Nyame-Asiamah, B. Shaw, and T. Stacey, "Cohered model of adopting electric vehicle fleets in the East of England," *Transp. Res. D Transp. Environ.*, vol. 146, p. 104897, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.TRD.2025.104897.
- [24] A. Jose and S. Shrivastava, "An analytical examination of the performance assessment of CNN-LSTM architectures for state-of-health evaluation of lithium-ion batteries," *Results in Engineering*, vol. 27, p. 105825, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.105825.

- [25] A. M. Kimuya, "Enhancing voltage regulation in high-speed digital circuits: A simulation-based analysis of the modified Ohm's law," *Next Research*, vol. 1, no. 1, p. 100014, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.NEXRES.2024.100014.
- [26] "Explicación de los términos de la batería de iones de litio." Accessed: Apr. 01, 2025. [Online]. Available: https://es.everexceed.com/blog/lithium-ion-battery-terms-explained_b439
- [27] Y. Li *et al.*, "Cu-mediated bipolar-type extended π -conjugated microporous polymers for lithium-ion battery cathodes with high energy density and fast-charging capability," *Chem. Sci.*, vol. 16, no. 25, pp. 11311–11321, May 2025, doi: 10.1039/D4SC08244C.
- [28] D. Shi *et al.*, "A review of the combined effects of environmental and operational factors on lithium-ion battery performance: temperature, vibration, and charging/discharging cycles," *RSC Adv.*, vol. 15, no. 17, pp. 13272–13283, Apr. 2025, doi: 10.1039/D5RA00934K.
- [29] A. Yamashita, S. Berg, and E. Figgemeier, "Unsupervised learning of charge-discharge cycles from various lithium-ion battery cells to visualize dataset characteristics and to interpret model performance," *Energy and AI*, vol. 17, p. 100409, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.EGYAI.2024.100409.
- [30] ALEXIS DAVID TABIMA MURILLO, "EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO TRANSFORMADO A PARTIR DE UN VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA," *Energy Reports*, Jul. 2019.
- [31] T. Long and Y. Guo, "Research on the temperature radius stratification model based on electrochemical-thermal-force coupling in Lithium-ion batteries," *Electrochem. commun.*, vol. 180, p. 108052, Nov. 2025, doi: 10.1016/J.ELECOM.2025.108052.
- [32] Z. Li, Z. Qu, Z. Jiang, H. Huang, and W. Tao, "Degradation mechanism of lithium-ion battery under appropriate in-plane temperature gradient," *Green Energy and Intelligent Transportation*, vol. 4, no. 6, p. 100352, Dec. 2025, doi: 10.1016/J.GEITS.2025.100352.
- [33] N. A. Z. R-Smith *et al.*, "Fast method for calibrated self-discharge measurement of lithium-ion batteries including temperature effects and comparison to modelling," *Energy Reports*, vol. 10, pp. 3394–3401, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.EGYR.2023.10.031.
- [34] S. Wang, J. Cao, Y. Xie, H. Gao, and C. Fernandez, "A Novel 2-RC Equivalent Model Based on the Self-Discharge Effect for Accurate State-Of-Charge Estimation Of Lithium-Ion Batteries," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 17, no. 7, p. 22072, Jul. 2022, doi: 10.20964/2022.07.60.
- [35] F. J. Sepúlveda, I. Montero, F. Barrena, M. A. Domínguez, and M. T. Miranda, "Efficiency evaluation of photovoltaic systems with batteries considering different voltage levels," *J. Energy Storage*, vol. 63, p. 106971, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.EST.2023.106971.

- [36] J. Ekberg, N. V. Sridharan, R. Karim, and K. T. Atta, "State estimation and remaining useful life prediction for lithium-ion batteries," *Cell Rep. Phys. Sci.*, vol. 6, no. 10, p. 102854, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.XCRP.2025.102854.
- [37] M. Lehmusto and A. Santasalo-Aarnio, "Impact of first-life usage on second-life performance of lithium-ion batteries," *Next Energy*, vol. 9, p. 100385, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.NXENER.2025.100385.
- [38] M. Ecker *et al.*, "Calendar and cycle life study of Li(NiMnCo)O₂-based 18650 lithium-ion batteries," *J. Power Sources*, vol. 248, pp. 839–851, Feb. 2014, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2013.09.143.
- [39] M. Manas, R. Yadav, and R. K. Dubey, "Designing a battery Management system for electric vehicles: A congregated approach," *J. Energy Storage*, vol. 74, p. 109439, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.EST.2023.109439.
- [40] L. Zhong, C. Zhang, Y. He, and Z. Chen, "A method for the estimation of the battery pack state of charge based on in-pack cells uniformity analysis," *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 558–564, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.APENERGY.2013.08.008.
- [41] M. K. Tran *et al.*, "A comprehensive equivalent circuit model for lithium-ion batteries, incorporating the effects of state of health, state of charge, and temperature on model parameters," *J. Energy Storage*, vol. 43, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.103252.
- [42] M. Zheng and X. Luo, "Joint estimation of State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) for lithium ion batteries using Support Vector Machine (SVM), Convolutional Neural Network (CNN) and Long Sort Term Memory Network (LSTM) models," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 19, no. 9, p. 100747, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.IJOES.2024.100747.
- [43] K. Qian, B. Huang, A. Ran, Y. B. He, B. Li, and F. Kang, "State-of-health (SOH) evaluation on lithium-ion battery by simulating the voltage relaxation curves," *Electrochim. Acta*, vol. 303, pp. 183–191, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.ELECTACTA.2019.02.055.
- [44] M. Han *et al.*, "Safe bidirectional pulse heating method for the lithium-ion battery pack on a high-power electric motorcycle," *J. Energy Storage*, vol. 92, p. 111866, Jul. 2024, doi: 10.1016/J.EST.2024.111866.
- [45] Jaime Hamel Fonseca, "Cells, Batteries And Lithium-Ion Batteries for an Alternative," *Energy Reports*, Sep. 2024.
- [46] L. Shihao, S. Peicheng, R. Xue, and G. Fubao, "Indirect prediction of remaining useful life for lithium-ionion batteries based on multiple health indicators and multi-scale decomposition," *Energy Reports*, vol. 13, pp. 6435–6449, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.EGYR.2025.05.076.
- [47] "Mercurio en el agua." Accessed: Oct. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.pc-doctor.com.mx/Radio%20Formula/temas/Baterias.htm>

- [48] D. Lee *et al.*, “Development of a fast-charging strategy considering degradation in lithium-ion batteries,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 74, p. 107013, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.CSITE.2025.107013.
- [49] Smart Mobility System, “Baterías para motos eléctricas: tipos y voltajes - SMS Electrics.” Accessed: Dec. 28, 2023. [Online]. Available: <https://smselectrics.com/blog/baterias-motos-electricas/>
- [50] N. Kansal and G. Tripathi, “Exploring the potential of flexible thin film solid-state batteries for electric vehicle,” *Future Batteries*, vol. 6, p. 100057, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.FUB.2025.100057.
- [51] D. Locatelli, D. M. Raimondo, Z. Khalik, H. J. Bergveld, and M. C. F. Donkers, “Closed-loop Optimal Ageing-Aware Charging of Li-ion Batteries Using a Surrogate Model,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 56, no. 2, pp. 7140–7146, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.IFACOL.2023.10.593.
- [52] E. Cattaneo and B. Riegel, “Batteries – Battery Types – Nickel Batteries | Overview,” *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*, pp. 608–624, Jan. 2025, doi: 10.1016/B978-0-323-96022-9.00225-5.
- [53] S. Brimaud, “Batteries – Battery Types – Nickel Batteries | Nickel-Metal Hydride: Overview,” *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*, pp. 674–681, Jan. 2025, doi: 10.1016/B978-0-323-96022-9.00324-8.
- [54] L. A. Román-Ramírez and J. Marco, “Design of experiments applied to lithium-ion batteries: A literature review,” *Appl. Energy*, vol. 320, p. 119305, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.APENERGY.2022.119305.
- [55] T. B. Nkwanyana, M. W. Siti, Z. Wang, I. Toudjeu, N. T. Mbungu, and W. Mulumba, “An assessment of hybrid-energy storage systems in the renewable environments,” *J. Energy Storage*, vol. 72, p. 108307, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.EST.2023.108307.
- [56] M. Mastragostino and F. Soavi, “Strategies for high-performance supercapacitors for HEV,” *J. Power Sources*, vol. 174, no. 1, pp. 89–93, Nov. 2007, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2007.06.009.
- [57] A. Awasthi, N. Nirmalkar, and A. K. Tiwari, “A review of PCM based hybrid battery thermal management systems for the prismatic lithium-ion batteries of the electric vehicle,” *Future Batteries*, vol. 5, p. 100035, Feb. 2025, doi: 10.1016/J.FUB.2025.100035.
- [58] Damián Vargas, “Vista de Análisis del desempeño del vehículo híbrido a diferentes condiciones de presión atmosférica.” Accessed: Mar. 27, 2025. [Online]. Available: <https://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/141/56>
- [59] H. Yang, M. Li, Z. Wang, and B. Ma, “A compact and lightweight hybrid liquid cooling system coupling with Z-type cold plates and PCM composite for battery thermal management,” *Energy*, vol. 263, p. 126026, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.ENERGY.2022.126026.

- [60] Z. Wu, R. Ling, and R. Tang, "Dynamic battery equalization with energy and time efficiency for electric vehicles," *Energy*, vol. 141, pp. 937–948, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.ENERGY.2017.09.129.
- [61] O. Steven *et al.*, "Desarrollo de un sistema de diagnóstico y recuperación de baterías de alto voltaje de vehículos híbridos," 2020.
- [62] C. She, L. Zhang, Z. Wang, F. Sun, P. Liu, and C. Song, "Battery State-of-Health Estimation Based on Incremental Capacity Analysis Method: Synthesizing From Cell-Level Test to Real-World Application," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 11, no. 1, pp. 214–223, Feb. 2023, doi: 10.1109/JESTPE.2021.3112754.
- [63] G. Martínez, "Descripción del proceso y análisis del Retrofit de un vehículo de combustión interna a pila de combustible," 2022.
- [64] K. M. Jensen, I. F. Santos, and H. J. P. Corstens, "Towards mass estimation of passenger cars based on longitudinal dynamics without considering vehicle CAN-bus data," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 223, p. 111907, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.YMSSP.2024.111907.
- [65] K. M. Jensen, I. F. Santos, L. K. H. Clemmensen, S. Theodorsen, and H. J. P. Corstens, "Mass estimation of ground vehicles based on longitudinal dynamics using loosely coupled integrated navigation system and CAN-bus data with model parameter estimation," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 171, p. 108925, May 2022, doi: 10.1016/J.YMSSP.2022.108925.
- [66] R. Alika, E. M. Mellouli, and E. H. Tissir, "A modified sliding mode controller based on fuzzy logic to control the longitudinal dynamics of the autonomous vehicle," *Results in Engineering*, vol. 22, p. 102120, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.RINENG.2024.102120.
- [67] E. P. O. R. L. E. et al Cédric Duquesne, "Análisis del comportamiento dinámico de los elementos mecánicos de vehículos tipo Fórmula," *Energy Reports*, Dec. 2016.
- [68] K. El Majdoub, F. Giri, H. Ouadi, L. Dugard, and F. Z. Chaoui, "Vehicle longitudinal motion modeling for nonlinear control," *Control Eng. Pract.*, vol. 20, no. 1, pp. 69–81, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.CONENGPRAC.2011.09.005.
- [69] CONVERSION PROCESS, "e-REVOLT | Conversion process." Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.e-r3volt.com/conversion-process>
- [70] F. Aparicio, C. Vera, and V. Díaz, "TEORÍA DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES".
- [71] M. Kamran, "Electric vehicles and smart grids," *Fundamentals of Smart Grid Systems*, pp. 431–460, 2023, doi: 10.1016/B978-0-323-99560-3.00002-8.
- [72] A. K. Sharma, M. Bouteldja, and V. Cerezo, "Vehicle dynamic state observation and rolling resistance estimation via unknown input adaptive high gain observer," *Mechatronics*, vol. 79, p. 102658, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.MECHATRONICS.2021.102658.
- [73] A. Yahia, "Thomas D. Gillespie-Fundamentals of Vehicle Dynamics -Society of Automotive Engineers Inc (1992)." Accessed: Mar. 30, 2025. [Online]. Available:

- https://www.academia.edu/6733064/Thomas_D_Gillespie_Fundamentals_of_Vehicle_Dynamics_Society_of_Automotive_Engineers_Inc_1992_
- [74] K. Wiratkasem and S. Pattana, "The effect of motorcycle tyre rolling resistance coefficient on the saving of fuel consumption," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 248–252, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.EGYR.2021.06.042.
 - [75] M. Mohammadi, S. M. R. Nazemosadat, D. Fazel, and Y. Bazargan Lari, "An integrated approach for structural modeling, modal analysis, and aerodynamic evaluation of an electric vehicle body shell using finite element method and computational fluid dynamics," *Mater. Today Commun.*, vol. 45, p. 112331, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.MTCOMM.2025.112331.
 - [76] R. Sheng, "Systems engineering fundamentals," *Systems Engineering for Aerospace*, pp. 113–206, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-816458-7.00007-7.
 - [77] J. Zhang, C. Zhu, and C. Ma, "Driving safety analysis of wind–vehicle–bridge system considering aerodynamic interference," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 245, p. 105649, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.JWEIA.2024.105649.
 - [78] B. Li *et al.*, "A comparative study of energy-oriented driving strategy for connected electric vehicles on freeways with varying slopes," *Energy*, vol. 289, p. 129916, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.ENERGY.2023.129916.
 - [79] "191920838 Fuerzas que se Oponen al Movimiento de un Vehículo - Fuerzas que se Oponen al Movimiento - Studocu." Accessed: Mar. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.studocu.com/ec/document/unidad-educativa-villa-florida/lengua-y-literatura/191920838-fuerzas-que-se-oponen-al-movimiento-de-un-vehiculo/60668376>
 - [80] "Las leyes del movimiento de Newton (artículo) | Khan Academy." Accessed: Mar. 30, 2025. [Online]. Available: <https://es.khanacademy.org/computing/computer-programming/programming-natural-simulations/programming-forces/a/newtons-laws-of-motion>
 - [81] D. Vošahlík and T. Hanis, "Real-time estimation of the optimal longitudinal slip ratio for attaining the maximum traction force," *Control Eng. Pract.*, vol. 145, p. 105876, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.CONENGPRAC.2024.105876.
 - [82] H. Liu *et al.*, "NMPC-Driven Enhancement of Vehicle Chassis Stability: Unified Approach to Lateral, Longitudinal, and Vertical Dynamics," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 58, no. 29, pp. 202–206, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.IFACOL.2024.11.144.
 - [83] "3.1: Tracción - LibreTexts Español." Accessed: Apr. 01, 2025. [Online]. Available: [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenieria_Biologica/Introducci%C3%B3n_a_la_Ingenier%C3%ADa_de_Biosystems_\(Holden_et_al.\)/03%3A_Sistemas_de_Maquinaria/3.01%3A_Tracci%C3%B3n](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenieria_Biologica/Introducci%C3%B3n_a_la_Ingenier%C3%ADa_de_Biosystems_(Holden_et_al.)/03%3A_Sistemas_de_Maquinaria/3.01%3A_Tracci%C3%B3n)
 - [84] F. De and M. Eléctricos, "Programa Regional de EEciencia Energética," 2007.
 - [85] "¿Qué es el torque y cómo se mide? | Volkswagen." Accessed: Apr. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.vw.com.mx/es/experiencia/innovacion/que-es-torque-significado.html>

- [86] M. Guadalupe Vázquez Santos, E. Preparatoria Número Dos, and H. País México, "Datos del Autor".
- [87] A. Cavagnino, "Asynchronous motors," *Encyclopedia of Electrical and Electronic Power Engineering: Volumes 1-3*, vol. 1, pp. 280–298, Jan. 2023, doi: 10.1016/B978-0-12-821204-2.00003-9.
- [88] "4kw 48v 60v traction ac induction motor." Accessed: Apr. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.shinegle.com/product/showproduct.php?lang=en&id=41>
- [89] B. Aslan, S. Balci, and A. Kayabasi, "Fault diagnosis in thermal images of transformer and asynchronous motor through semantic segmentation and different CNN models," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 265, p. 125599, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2025.125599.
- [90] Edelio. Danguillecourt Alvarez, "Nuevos materiales carbonosos para baterías de iones litio y condensadores electroquímicos," p. 146, 2017.
- [91] H. Bi, R. Wang, and C. Meng, "Dual-working-modes-based negative output wide voltage gain range DC-DC converter with low input current ripple for fuel cells," *Energy*, vol. 320, p. 135323, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.ENERGY.2025.135323.
- [92] J. Hu and L. Chang, "Integrated Controller Development of a DC Brushless Motor for Electric Motorcycles," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 35, no. 2, pp. 445–450, Dec. 2002, doi: 10.1016/S1474-6670(17)33980-0.
- [93] A. Yadav and N. Sakle, "Development of low-cost data logger system for capturing transmission parameters of two-wheeler using Arduino," *Mater. Today Proc.*, vol. 72, pp. 1697–1703, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.09.471.
- [94] RAÚL RIVERA WALTER GEMIN, "Sistema Autónomo de Adquisición de Datos Portátil Data Logger," *Energy Reports*, Jul. 2020.
- [95] M. R. M. Veeramanickam, B. Venkatesh, L. A. Bewoor, Y. W. Bhowte, K. Moholkar, and J. L. Bangare, "IoT based smart parking model using Arduino UNO with FCFS priority scheduling," *Measurement: Sensors*, vol. 24, p. 100524, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.MEASEN.2022.100524.
- [96] A. H. C. J. Á. J. M. J. M. G. Z. J. N. G. V. Moroni Vázquez Martínez, "Arduino uno R3: Una innovación con grandes beneficios para la automatización," *Energy Reports*, vol. 16, no. 3, Jul. 2024.
- [97] "Arduboard Uno R3." Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/8-uno-r3.html>
- [98] "¿Cómo usar una Protoboard / Breadboard? - MCI Educación." Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <https://cursos.mcielectronics.cl/2022/06/15/como-usar-una-protoboard-breadboard/>
- [99] "Introducción a las protoboards | vöbu." Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.vobusvoice.com/es/blog/protoboard>
- [100] "Protoboard 830." Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/protoboard/222-protoboard-830.html>

- [101] "74LVC125A Quad buffer/line driver with 5 V tolerant input/outputs; 3-state Rev. 12-2 May 2025 Product data sheet 1. General description".
- [102] "Módulo lector de memoria Micro SD Card - SPI." Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/almacenamiento/104-modulo-lector-de-memoria-micro-sd-card-lvc125a.html>
- [103] "南京拓微集成电路有限公司 NanJing Top Power ASIC Corp. TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8 DESCRIPTION".
- [104] "Módulo HW-168 Cargador de batería litio TP4056 micro-USB." Accessed: Nov. 03, 2025. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/baterias/194-modulo-hw-168-cargador-de-bateria-litio-tp4056-micro-usb.html>
- [105] "Fitting Dupont Connectors : 6 Steps (with Pictures) - Instructables." Accessed: Nov. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.instructables.com/Fitting-Dupont-Connectors/>
- [106] "20 cables jumper protoboard de 10cm - Macho/Macho cable jumpers." Accessed: Nov. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.electrocomponentes.es/cable-jumper/229-20-cables-jumper-protoboard-de-10cm-machomacho.html>
- [107] K. Kinnunen and R. Viitala, "Eddy current sensor-based direct tool condition monitoring in milling," *Measurement*, vol. 257, p. 118333, Jan. 2026, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2025.118333.
- [108] K. Osmani, L. Jones, and D. Schulz, "An innovative contactless current sensor for smart grids applications," *Heliyon*, vol. 11, no. 10, p. e42980, May 2025, doi: 10.1016/J.HELİYON.2025.E42980.
- [109] T. D. Nwabueze, R. Zameroski, M. Gomez, and T. Schmitz, "Displacement measurement using various Hall effect sensor-magnet configurations," *Manuf. Lett.*, vol. 44, pp. 261–268, Aug. 2025, doi: 10.1016/J.MFGLET.2025.06.032.
- [110] "ACS758KCB-150B-PFF-T Datasheet(PDF) - Allegro MicroSystems." Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/480261/ALLEGRO/ACS758KCB-150B-PFF-T.html>
- [111] "Sensor de Corriente ACS712T-20A." Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/65-sensor-de-corriente-ac712t-20a.html>
- [112] "DS18B20 pdf, DS18B20 Download, DS18B20 Description, DS18B20 Datasheet, DS18B20 view ::: ALLDATASHEET :::" Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/227472/DALLAS/DS18B20.html>
- [113] "Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20." Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html

- [114] "Sensor de presión BMP280." Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/358-sensor-de-presion-bmp280.html>
- [115] "BMP280: Data sheet".
- [116] "Introduccion al analisis de circuitos electricos - Google Books." Accessed: Jan. 21, 2026. [Online]. Available: https://www.google.com.ec/books/edition/Introduccion_al_analisis_de_circuitos_el/L00nvc3kAFYC?hl=es&gbpv=1&dq=introduccion+a+circuitos+electricos&printsec=frontcover
- [117] R. L. . Boylestad, "Introducción al análisis de circuitos," p. 1228, 2004.
- [118] "Visit Ibarra - Ecuador." Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: <https://visitibarra.ec/ibarra.php>
- [119] C. Poletto, O. Dumont, A. De Pascale, V. Lemort, S. Ottaviano, and O. Thomé, "Control strategy and performance of a small-size thermally integrated Carnot battery based on a Rankine cycle and combined with district heating," *Energy Convers. Manag.*, vol. 302, p. 118111, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2024.118111.
- [120] M. Valencia-Duque, J. E. Tibaquirá, A. Arias-Morales, and J. Zapata-Mina, "Evaluation of energy efficiency strategies in electric power generation in Colombia," *Results in Engineering*, vol. 28, p. 107242, Dec. 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.107242.
- [121] J. Larminie and J. Lowry, "ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED SECOND EDITION," 2012, Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: www.wiley.com.
- [122] PAÚL FERNANDO CIFUENTES RECALDE, "ANÁLISIS DINÁMICO DE MOTOCICLETA CON PROPÓSITOS DE IMPLEMENTACIÓN DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA," *Energy Reports*, 2022.
- [123] "El tiempo en 2024 en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, Ecuador - Weather Spark." Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://es.weatherspark.com/h/y/149576/2024/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2024-en-el-Aeropuerto-Internacional-Mariscal-Sucre-Ecuador>
- [124] "Derivation of the barometric formula (isothermal atmosphere) | tec-science." Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.tec-science.com/mechanics/gases-and-liquids/barometric-formula-for-an-isothermal-atmosphere/>
- [125] N. Thompson and L. Hardy, "Physics of gases," *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*, vol. 19, no. 4, pp. 179–182, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.mpaic.2018.02.001.
- [126] "MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS y MONOFÁSICOS y con ELECTRO-FRENO CLASE DE EFICIENCIA SEGÚN IEC 60034-30".

- [127] L. Yu *et al.*, "Recent progress on sustainable recycling of spent lithium-ion battery: Efficient and closed-loop regeneration strategies for high-capacity layered NCM cathode materials," *Chemical Engineering Journal*, vol. 476, p. 146733, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.CEJ.2023.146733.
- [128] S. Mallick and D. Gayen, "Thermal behaviour and thermal runaway propagation in lithium-ion battery systems – A critical review," *J. Energy Storage*, vol. 62, p. 106894, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.EST.2023.106894.
- [129] Y. Lv *et al.*, "Review on influence factors and prevention control technologies of lithium-ion battery energy storage safety," *J. Energy Storage*, vol. 72, p. 108389, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.EST.2023.108389.
- [130] G. Ge, C. Zhang, and X. Li, "Multi-electron transfer electrode materials for high-energy-density flow batteries," *Next Energy*, vol. 1, no. 3, p. 100043, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.NXENER.2023.100043.
- [131] H. Tian, P. Qin, K. Li, and Z. Zhao, "A review of the state of health for lithium-ion batteries: Research status and suggestions," *J. Clean. Prod.*, vol. 261, p. 120813, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.120813.
- [132] "Curso: Ciencias Físicas y Químicas 4ª a 6º Básico Título: La Electricidad Parte 5: Materiales conductores y aislantes de la electricidad Unidad: 3".
- [133] "UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA PROYECTO FIN DE CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL".
- [134] "AWG en mm2 | Calibres de cables | Construcciones de conductores americanas." Accessed: Nov. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.sab-cables.eu/productos/datos-tecnicos/cables-electricos/construccionesdevenasamericanas.html>