



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DE AUTONOMÍA PARA DISTINTAS TRAYECTORIAS  
DE LA MOTO ELÉCTRICA VENUS 2.0 DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA**

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

**AUTORES: ANDRES LIZARDO GUACHICHULCA MARIÑO**  
**CHRISTIAN ADRIAN ZHUNIO ORTEGA**  
**TUTORA: ING. NATALIA XIMENA GONZÁLEZ ÁLVAREZ**

Cuenca - Ecuador  
2023

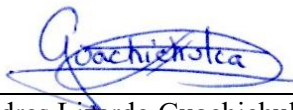
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Andres Lizardo Guachichulca Mariño con documento de identificación N° 0105488795 y Christian Adrian Zhunio Ortega con documento de identificación N° 0105240253; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 12 de diciembre del 2023

Atentamente,



---

Andres Lizardo Guachichulca Mariño

0105488795



---

Christian Adrian Zhunio Ortega

0105240253

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

Nosotros, Andres Lizardo Guachichulca Mariño con documento de identificación N° 0105488795 y Christian Adrian Zhunio Ortega con documento de identificación N° 0105240253, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis y proyección de autonomía para distintas trayectorias de la moto eléctrica Venus 2.0 de la Universidad Politécnica Salesiana”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 12 de diciembre del 2023

Atentamente,



---

Andres Lizardo Guachichulca Mariño

0105488795



---

Christian Adrian Zhunio Ortega

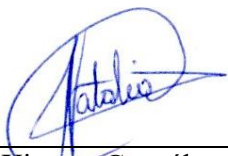
0105240253

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Natalia Ximena González Álvarez con documento de identificación N° 1205860974, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DE AUTONOMÍA PARA DISTINTAS TRAYECTORIAS DE LA MOTO ELÉCTRICA VENUS 2.0 DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, realizado por Andres Lizardo Guachichulca Mariño con documento de identificación N° 0105488795 y por Christian Adrian Zhunio Ortega con documento de identificación N° 0105240253, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 12 de diciembre del 2023

Atentamente,



---

Ing. Natalia Ximena González Álvarez, Mgtr

1205860974

# **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a Dios y a nuestras familias, cuyo amor y apoyo incondicional han sido la fuerza para alcanzar este logro.

Este logro no solo representa nuestro esfuerzo individual, sino también la dedicación y sacrificio que ambos hemos aportado.

# Agradecimientos

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido en esta tesis. En primer lugar, agradecemos a la Ingeniera Natalia Gonzalez que con su experiencia y comprensión supo guiarnos en este paso de la vida.

También extendemos nuestro agradecimiento a la universidad Politécnica Salesiana por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

## **Resumen**

La autonomía juega un papel vital en la revolución de los vehículos eléctricos en sostenibilidad y movilidad. Un vehículo eléctrico autónomo es una tecnología que podría cambiar el sistema de transporte existente por la comodidad del viaje mejorada, aparte de tener bajas emisiones de carbono.

Este proyecto se realiza con el objetivo de elaborar un entorno de simulación para alertar al conductor sobre la autonomía de la moto en una trayectoria seleccionada. Además después de analizar el estado de carga de la batería, también se pretende recomendar la velocidad de conducción ,para mantener la mayor autonomía posible, hasta llegar al lugar de destino.

Todo esto buscando fomentar el uso de vehículos eléctricos, ya que actualmente estos vehículos son el futuro y la solución para ayudar al medio ambiente.

## **Abstract**

Autonomy plays a vital role in the sustainability and mobility revolution of electric vehicles. An autonomous electric vehicle is a technology that could change the existing transportation system for improved travel convenience, apart from having low carbon emissions.

This project aims to develop a simulation environment to encourage the rider about the autonomy of the motorcycle on a selected path. In addition, after analyzing the battery's state of charge, it also intends to recommend the driving speed to maintain the maximum possible autonomy until reaching the destination.

All of this aims to promote the use of electric vehicles, as they are currently the future and the solution to help the environment.



# Índice general

Resumen . . . . .	I
Abstract . . . . .	II
Planteamiento del Problema . . . . .	VII
Antecedentes . . . . .	VII
Autonomy estimation for EV based on road planning software . . . . .	VII
Automatic Driving Cycle Generator for Electric Vehicles . . . . .	VIII
Simplified Electric Vehicle Power Train Models and Range Esti- mation . . . . .	VIII
Objetivos . . . . .	VIII
<b>1. Marco Teórico . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1. Vehículo eléctrico. . . . .	1
1.2. Historia del vehículo eléctrico . . . . .	1
1.3. Tipos de vehículos eléctricos. . . . .	4
1.4. Estado de carga del Vehículo Eléctrico (SOC) . . . . .	5
1.5. Estado de salud de la batería (SOH) . . . . .	5
1.6. Componentes principales de un vehículo eléctrico. . . . .	7
1.6.1. Batería: . . . . .	7
1.6.2. Motor eléctrico: . . . . .	7
1.6.3. Cargador: . . . . .	7
1.6.4. Inversor: . . . . .	7
1.6.5. Sistema de gestión de la batería: . . . . .	8
1.6.6. Convertidores DC/DC: . . . . .	8
1.7. Ventajas de los vehículos eléctricos. . . . .	8
1.8. Alternativas para recargar baterías de vehículos eléctricos. . . . .	9
1.9. Moto eléctrica . . . . .	9
1.10. Ventajas de las motos eléctricas . . . . .	10
1.11. Tipos de motos eléctricas . . . . .	10

1.11.1. BMW	11
1.11.2. ZERO	11
1.11.3. HONDA	12
1.11.4. VECTRIX	13
<b>2. Autonomía de vehículos eléctricos</b>	<b>15</b>
2.1. Autonomía	15
2.1.1. Autonomía del vehículo eléctrico	15
2.1.2. Autonomía Total.	16
2.1.3. Autonomía Consumida.	16
2.1.4. Autonomía Restante.	16
2.2. Ciclos de Conducción	16
2.2.1. Ciclos de conducción normalizados	17
2.2.2. Ciclo de Conducción ECE-15	17
2.2.3. Ciclo de Conducción EUDC	17
2.2.4. Ciclo de Conducción EUDCL	18
2.3. Ciclo de Conducción Experimental	19
2.3.1. NREL Transforming Energy	19
2.3.2. WLTC	20
2.4. Baterías	21
2.4.1. Fundamentos básicos de una batería	21
2.4.2. Parámetros electroquímicos de las baterías recargables	22
2.4.3. Fuerza Electromotriz (E)	23
2.4.4. Capacidad Especifica (C)	23
2.4.5. Energía Especifica (W)	23
2.4.6. Ciclos de vida de una batería	24
2.4.7. Profundidad de descarga (Dod)	24
2.5. Tipos de baterías	24
2.5.1. Baterías de plomo-acido	24
2.5.2. Baterías de Níquel	25
2.5.3. Baterías de litio	26
<b>3. Moto eléctrica VENUS 2.0</b>	<b>27</b>
3.1. Introducción	27
3.2. Componentes	27
3.3. Especificaciones Técnicas	31

<b>4. Modelado de las fuerzas actuantes sobre el vehículo</b>	<b>33</b>
4.1. Introducción . . . . .	33
4.2. Fuerzas actuantes sobre el vehículo . . . . .	34
4.3. Representación de un Modelo de un vehículo eléctrico. . . . .	40
4.4. Modelado de la Batería. . . . .	40
4.4.1. Cálculo de la corriente por la batería: . . . . .	42
4.4.2. Actualización el registro de la carga sustraída de la batería	45
4.4.3. Actualización el nivel de la descarga . . . . .	45
4.5. Cálculo de la autonomía de la moto . . . . .	46
<b>5. Método de validación del programa</b>	<b>49</b>
5.1. Pruebas de ruta y estado de carga de batería . . . . .	51
<b>6. Desarrollo del entorno de simulación</b>	<b>57</b>
6.1. Aplicación de cálculo de autonomía de vehículo eléctrico . . . . .	57
6.2. Procedimiento . . . . .	59
6.3. Ruta 1 . . . . .	61
6.4. Ruta 2 . . . . .	64
6.5. Ruta 3 . . . . .	66
CONCLUSIONES . . . . .	67
ANEXOS . . . . .	72

# Glosario

**BEV** Vehículo eléctrico de batería..

**EV** Vehículos eléctricos.

**GPS** Sistema de Posicionamiento Global.

**HVAC** Corriente Alterna en Alto Voltaje.

**PHEV** Vehículo híbrido eléctrico enchufable..

## **Planteamiento del Problema**

Uno de los problemas que presentan en general los vehículos eléctricos es la ansiedad de autonomía, que se refiere a la necesidad de atenciones por parte del vehículo eléctrico que no disponga de la carga y el rendimiento suficiente durante un desplazamiento para realizar tareas de la vida cotidiana, algo que sigue observándose como un inconveniente a la hora de realizar un viaje.

Las motos eléctricas también presentan este problema, por lo que con el proyecto se pretende entregar información al conductor sobre la autonomía de la Moto eléctrica conociendo la trayectoria y recomendando la velocidad adecuada en las que podría trasladarse de un punto A a un punto B sin la necesidad de correr el riesgo de bajar la autonomía de la batería.

## **Antecedentes**

Sobre el tema de análisis y proyección de la autonomía de un vehículo eléctrico, se han realizado muchos estudios en diferentes partes del mundo, y para conocimiento se ha puesto algunos artículos que muestran varios métodos y técnicas, a continuación, se presenta algunos trabajos publicados que tienen relación con el tema en cuestión.

### **Autonomy estimation for EV based on road planning software**

Esta investigación presenta un método para estimar el consumo energético de un vehículo eléctrico. En el cual se desarrolla un enfoque para crear un ciclo de conducción basado en datos extraídos del software de planificación de carreteras, el cual se utiliza para pronosticar el consumo energético total del ciclo.

Estos resultados se comparan con los obtenidos del correspondiente ciclo de conducción real. Se tiene en cuenta la influencia de la elevación de la carretera. Los resultados coinciden con respecto a las velocidades del (EV), la demanda de potencia y el consumo de energía estimado, con un error máximo del 10

Por lo tanto, se puede concluir que la estimación del consumo de energía basada en la planificación de carreteras puede ser una herramienta útil al proporcionar información precisa a los conductores.[1]

## **Automatic Driving Cycle Generator for Electric Vehicles**

Este artículo está centrado en un generador de ciclo automático de conducción en donde las entradas son la velocidad y distancia de viaje, teniendo en cuenta algunos parámetros como el par máximo, la velocidad y la aceleración.

Existen tres métodos principales para crear métodos de conducción la primera es una medición del viaje utilizando (GPS), el segundo método es utilizar medición de viajes pasados para realizar el ciclo de conducción y el tercer método se basa en el conocimiento de las velocidades y distancias de la carretera durante el viaje, para este último método, los datos se pueden obtener del software de planificación de rutas.[2].

## **Simplified Electric Vehicle Power Train Models and Range Estimation**

En este documento, se desarrollan modelos de tren de potencia EV simplificados para vehículos de producción nuevos y existentes. Los modelos se desarrollan en función de los parámetros del vehículo publicados y la información de alcance para el Nissan Leaf y el Tesla Roadster. Los modelos se comparan con las especificaciones publicadas del fabricante para la autonomía en diversas rutas y condiciones de conducción, y para varios ciclos de conducción. Los modelos también se validan con los resultados de las pruebas para los vehículos Nissan Leaf y Tesla Roadster, donde la topografía de la ruta de prueba se modela utilizando Google Earth y una aplicación de teléfono inteligente basada en GPS. Se demuestran excelentes correlaciones entre los resultados experimentales y los datos del fabricante y los modelos de vehículos. En el estudio se consideran los impactos de la degradación de la batería con el tiempo y las cargas de (HVAC) del vehículo.[3].

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Analizar y proyectar la autonomía de la moto eléctrica Venus 2.0 para diferentes trayectorias a través de un software de simulación.

## **Objetivos Específicos**

- Investigar el estado del arte.
- Estudiar los factores que afectan el rendimiento de la batería y la autonomía de la moto eléctrica.
- Realizar pruebas de autonomía de la batería con la moto Venus 2.0 sobre distintas rutas.
- Diseñar y desarrollar un entorno de simulación para la proyección de la autonomía de la moto eléctrica Venus 2.0.
- Comparar los resultados de la simulación con una prueba de conducción en una ruta específica.

# Capítulo 1

## Marco Teórico

### 1.1. Vehículo eléctrico.

Es aquel vehículo que esta propulsado por uno o varios motores alimentados por una fuente eléctrica, donde el motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de actuación electromagnética. [4].

Los vehículos eléctricos son la nueva generación de vehículos ya que tiene varias ventajas con respecto a los vehículos a combustión, una de las más grandes ventajas es que es amigable con el medio ambiente, también es más sencillo, menos pesado y de menor tamaño. [4]

En el desarrollo de este proyecto se centrará en motos eléctricas de tipo urbana. Este modelo es más cercano al público ya que aumenta su demanda a medida que aumenta el precio del combustible, haciendo cotidiano el uso de estos vehículos principalmente en la ciudades.

### 1.2. Historia del vehículo eléctrico

Con el fin de llevar a cabo una investigación exhaustiva, es imperativo examinar la trayectoria de esta categoría de vehículos, ya que esto permitirá comprender el motivo detrás del incremento en la demanda que se observa en la actualidad. Por consiguiente, en esta sección se presentará una breve reseña de estos vehículos con el propósito de proporcionar un contexto adecuado para el análisis posterior.



Al hablar de la historia de la automoción se tiende a pensar en vehículos propulsados por motores de combustión, pero repasando los casi dos siglos de historia desde los primeros vehículos autopropulsados a vapor hasta nuestros días, encontramos que aparecieron vehículos eléctricos de forma intermitente. [4].

Los primeros prototipos de vehículos eléctricos datan de la década de 1830, precediendo así la invención del motor de combustión interna. El pionero Robert Anderson es reconocido por haber creado el primer vehículo eléctrico puro en dicha época. Es importante destacar que estos modelos iniciales funcionaban mediante el uso de baterías no recargables. [5].

Durante la segunda parte del siglo XIX, el avance de las baterías recargables impulsó la aparición de una serie de nuevos diseños de vehículos que funcionaban con energía eléctrica. Una continua investigación en el desarrollo de este tipo de vehículos propicia que a finales de siglo se consigan logros como superar la barrera de los 100 km/h lograda por el belga Camille Jenatton en 1899 (llegando incluso a los 105.88 km/h). [4].



Figura 1.1: vehículo eléctrico de primeros del siglo XX [4].

El considerable auge de la industria automotriz condujo a un descuido en la evolución de los vehículos eléctricos a gran escala, lo que resultó en la desaparición total de la industria de los automóviles eléctricos hacia finales de la década de 1930. Estos quedaron limitados a unas pocas aplicaciones industriales específicas, como el transporte de mercancías y los montacargas con batería eléctrica. No obstante continuaron apareciendo modelos de vehículos eléctricos de forma esporádica incluso combinando nuevas tecnologías como el uso de baterías de células fotoeléctricas, fabricado por una empresa norteamericana en 1960, con un panel formado por 10.640 células y situado en el techo capaz de producir en 10 horas de exposición la energía necesaria para 1 hora de marcha. [6].

La creciente dependencia del petróleo generada por la popularidad de los vehículos de combustión interna resulta en aumentos en los precios de los combustibles durante épocas de crisis. Es en estos momentos cuando surge nuevamente la necesidad de desarrollar vehículos eléctricos que no dependan de recursos naturales extranjeros, los cuales son sensibles a la inestabilidad política global. Prueba de ello fue la crisis del petróleo en los años setenta donde la compañía SebringVan-

guard empezó la producción del que se considera el primer coche eléctrico producido en masa, el CitiCar, un pequeño utilitario equipado con ocho baterías de plomo y ácido de 6V que tenía una autonomía de 60 km y una velocidad máxima de 50 km/h llegando a construirse cerca de 2.000 unidades entre 1974 y 1977. [4].

Los avances en la tecnología de las baterías y la preocupación por el cambio climático han impulsado un resurgimiento en la producción de vehículos eléctricos en las últimas décadas. Los vehículos eléctricos ofrecen varias ventajas, como una mayor eficiencia energética, menores emisiones de gases de efecto invernadero y una mayor suavidad en la conducción. [4].

### 1.3. Tipos de vehículos eléctricos.

Los vehículos eléctricos son aquellos que utilizan uno o varios motores eléctricos para propulsarse, en lugar de un motor de combustión interna. Existen varios tipos de vehículos eléctricos, incluyendo:

- 1. Automóviles eléctricos (EV): son vehículos que utilizan un motor eléctrico para propulsarse y dependen de baterías recargables para almacenar la energía necesaria. Los EV pueden ser de batería pura (BEV) o híbridos enchufables (PHEV). [7]
- 2. Bicicletas eléctricas: son bicicletas con un motor eléctrico integrado que proporciona asistencia al pedaleo. Algunas bicicletas eléctricas también tienen baterías recargables. [8]
- 3. Autobuses eléctricos: son vehículos de transporte público que utilizan un motor eléctrico para propulsarse. Muchos autobuses eléctricos tienen baterías recargables y algunos pueden recargarse mediante pantógrafos mientras están en la ruta. [9]
- 4. Trenes eléctricos: son trenes que utilizan motores eléctricos para propulsarse. Los trenes eléctricos pueden recibir la energía de una fuente de alimentación externa o pueden tener baterías recargables integradas. [10]
- 5. Camiones eléctricos: son vehículos de transporte de carga que utilizan un motor eléctrico para propulsarse. Algunos camiones eléctricos tienen baterías recargables, mientras que otros pueden recibir la energía de una fuente de alimentación externa. [11]

- 6. Vehículos todo terreno eléctricos (ATV): son vehículos recreativos que utilizan un motor eléctrico para propulsarse y pueden tener baterías recargables. [7]

En general, los vehículos eléctricos tienen varias ventajas sobre los vehículos con motor de combustión interna, incluyendo una mayor eficiencia energética, menores emisiones de gases de efecto invernadero y una mayor suavidad en la conducción. Sin embargo, la duración de la batería y la infraestructura de recarga son desafíos a superar para la adopción generalizada de vehículos eléctricos. [7]

## **1.4. Estado de carga del Vehículo Eléctrico (SOC)**

El SOC se expresa como un porcentaje y puede variar desde 0%, que indica una batería completamente descargada, hasta 100%, que indica una batería completamente cargada. Conocer el SOC del vehículo es importante para determinar cuánta energía queda disponible para conducir y cuánta energía se necesita para recargar la batería.[12]

El SOC se puede mostrar en el tablero de instrumentos del vehículo eléctrico y también se puede monitorear y controlar a través de aplicaciones móviles y sistemas de carga inteligente. Un SOC preciso es crucial para garantizar una conducción segura y eficiente de un vehículo eléctrico.

El SOC depende en gran medida de los siguientes parámetros: resistencia interna, temperatura y voltaje de circuito abierto. [12]

## **1.5. Estado de salud de la batería (SOH)**

El SOH (State of Health) o estado de salud de un vehículo eléctrico es una medida que indica la capacidad de la batería en comparación con su capacidad original. La batería es el componentes fundamental de un vehículo eléctrico y su estado de salud es crucial para el rendimiento y la autonomía del vehículo.

A continuación se presentan algunas recomendaciones para cuidar el estado de salud de la batería de un vehículo eléctrico:

- **Cargar la batería regularmente:** La batería del vehículo eléctrico debe cargarse regularmente para mantener su estado de salud. Se recomienda cargar la batería cuando su nivel de carga esté en un 20-30 %, y no esperar a que la batería esté completamente agotada.
- **Evitar las cargas rápidas y las descargas profundas:** Las cargas rápidas y las descargas profundas pueden afectar negativamente el estado de salud de la batería. Es recomendable evitar las cargas rápidas y las descargas profundas tanto como sea posible, y utilizar cargadores de nivel 2 o 3 solamente cuando sea necesario.
- **Evitar exponer la batería a temperaturas extremas:** Las temperaturas extremas pueden afectar negativamente el estado de salud de la batería. Es recomendable evitar exponer la batería a temperaturas extremas, tanto altas como bajas, y estacionar el vehículo en un lugar fresco y sombreado.
- **Mantener la batería limpia y seca:** Es importante mantener la batería limpia y seca para evitar que se acumulen residuos y humedad en su superficie. Es recomendable limpiar la batería regularmente con un paño suave y seco y evitar el uso de productos químicos abrasivos
- **Realizar el mantenimiento regularmente:** Es importante realizar el mantenimiento regularmente para mantener la batería en buen estado de salud. Es recomendable seguir las recomendaciones del fabricante del vehículo y llevar a cabo el mantenimiento.
- **Cargar correctamente la batería:** Es importante seguir las instrucciones del fabricante sobre cómo cargar la batería del vehículo eléctrico. Evite sobrecargar la batería, ya que esto puede dañarla y disminuir su vida útil. Asimismo, evitar descargar completamente la batería, ya que esto también puede afectar su rendimiento.
- **Conducir eficientemente:** Conducir de manera eficiente puede ayudar a prolongar la duración de la batería y reducir el desgaste de los componentes del sistema de alta tensión. Para lograrlo, se recomienda evitar aceleraciones y frenadas bruscas, mantener una velocidad constante y planificar el recorrido para evitar el tráfico.

## 1.6. Componentes principales de un vehículo eléctrico.

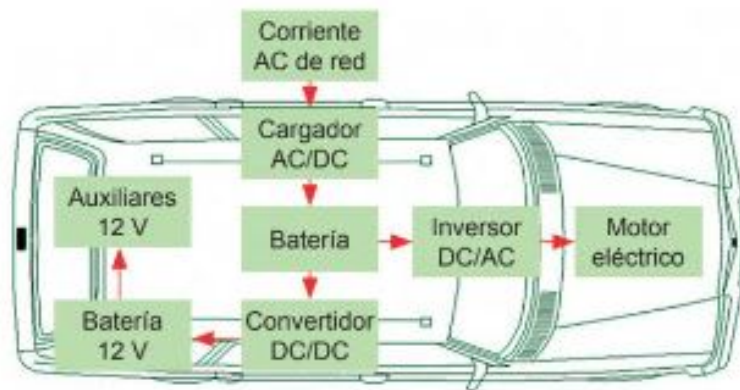


Figura 1.2: Esquema básico de un coche y sus componentes [13].

### 1.6.1. Batería:

Es el componente clave de un vehículo eléctrico. Almacena la energía eléctrica que alimenta el motor eléctrico.[14]

### 1.6.2. Motor eléctrico:

Convierte la energía eléctrica almacenada en la batería en energía mecánica para hacer funcionar el vehículo[13]

### 1.6.3. Cargador:

Es el dispositivo que se utiliza para cargar la batería del vehículo eléctrico.[13]

### 1.6.4. Inversor:

Convierte la corriente continua (DC) de la batería en corriente alterna (AC) para alimentar el motor eléctrico.[14]

### **1.6.5. Sistema de gestión de la batería:**

Supervisa el estado de la batería, incluyendo la carga y descarga, y controla la temperatura y el voltaje para garantizar una vida útil óptima de la batería.[14]

### **1.6.6. Convertidores DC/DC:**

Estos circuitos transforman los niveles de voltajes en otros usando elementos como bobinas y capacitores, almacena temporalmente energía en ellos y la descarga de tal forma que los niveles de voltaje sean los deseados. [13]

## **1.7. Ventajas de los vehículos eléctricos.**

- Cero emisiones: los vehículos eléctricos no emiten gases de escape, lo que los hace más respetuosos con el medio ambiente que los vehículos con motores de combustión interna.
- Eficiencia energética: los vehículos eléctricos son más eficientes que los vehículos con motores de combustión interna, ya que convierten una mayor proporción de la energía de la batería en movimiento.
- Ahorro de costos: los vehículos eléctricos pueden ser más económicos que los vehículos con motores de combustión interna a largo plazo, ya que los costos de mantenimiento y operación son más bajos.
- Silenciosos: los vehículos eléctricos son significativamente más silenciosos que los vehículos con motores de combustión interna.
- Autonomía: la autonomía de los vehículos eléctricos ha aumentado significativamente en los últimos años, lo que significa que ahora son capaces de cubrir distancias más largas antes de necesitar recargarse.
- Tecnología avanzada: los vehículos eléctricos utilizan tecnología avanzada, como el frenado regenerativo y la carga inteligente, que los hace más eficientes y fáciles de usar.
- Menor dependencia del petróleo: al no requerir combustibles fósiles, los vehículos eléctricos pueden ayudar a reducir la dependencia del petróleo y mejorar la seguridad energética.

- Mayor comodidad: los vehículos eléctricos a menudo ofrecen una experiencia de conducción más cómoda y suave debido al funcionamiento más suave del motor eléctrico.
- Personalización: los vehículos eléctricos a menudo ofrecen opciones de personalización, incluyendo opciones de configuración de la batería y opciones de recarga rápida.
- Conectividad: muchos vehículos eléctricos ofrecen características de conectividad avanzada, como aplicaciones móviles y acceso remoto, lo que permite a los propietarios controlar y monitorear su vehículo de manera más efectiva.[4]

## **1.8. Alternativas para recargar baterías de vehículos eléctricos.**

Actualmente, existen diferentes alternativas para recargar las baterías de los vehículos eléctricos, incluyendo la carga en casa a través de una toma de corriente estándar, la carga en estaciones de carga públicas y la carga en estaciones de carga rápida.[15]

La carga en casa es la opción más conveniente para muchos propietarios de vehículos eléctricos, ya que pueden utilizar una toma de corriente estándar para cargar su vehículo durante la noche mientras duermen. Sin embargo, esta opción puede ser más lenta que otras opciones de carga y puede requerir una actualización de la red eléctrica de la casa.[16]

Las estaciones de carga públicas son una opción popular para aquellos que no tienen la posibilidad de cargar su vehículo en casa. Estas estaciones pueden encontrarse en diferentes lugares como centros comerciales, estacionamientos y estaciones de servicio, y suelen ofrecer diferentes niveles de carga.[16]

## **1.9. Moto eléctrica**

Las motos eléctricas han surgido como una alternativa ecológica y económica al transporte motorizado convencional. A diferencia de las motos de combustión interna, que emiten gases tóxicos y son más costosas de mantener, las motos eléctricas utilizan baterías recargables y no emiten gases de escape. En este ensayo, se



analizará el impacto de las motos eléctricas en la movilidad urbana y en el medio ambiente.[17]

En comparación con las motocicletas de combustión interna, las motocicletas eléctricas tienen una autonomía que puede variar dependiendo del consumo de la batería y de otros factores, y normalmente requieren ser recargadas cada 4 a 8 horas. Sin embargo, las motocicletas eléctricas son capaces de rendir de manera óptima en diversos terrenos, incluyendo trayectorias inclinadas, y pueden transportar a dos personas sin dificultades significativas.[18]

## **1.10. Ventajas de las motos eléctricas**

- Amigable con el medio ambiente por no emitir emisiones de gases como los vehículos a combustión.
- Las baterías son recargables y esto se puede recargar en el domicilio, evitando entrar a las gasolineras.
- La energía eléctrica es más económica que la gasolina.
- En el mantenimiento de una moto eléctrica es más económico que la de combustión ya que nos evitamos el cambio de aceite, filtros entre otros lo cual nos permite optimizar más tiempo dinero y recursos.
- Mecánica simple en pocas palabras menos piezas a comparación de la de combustión.

## **1.11. Tipos de motos eléctricas**

En el año 1900 se empezaron a desarrollar las primeras motos eléctricas, debido a sus avances estas motos han evolucionado de manera rápida en el aspecto de sus motores y controladores de velocidad.

Entre los tipos de motos eléctricas en la actualidad existen tres tipos: las motos eléctricas Urbanas, motos eléctricas de Carreras y moto eléctricas para niños, nos enfocamos en las motos urbanas por lo tanto tenemos muchas marcas, las más comun en los mercados son BMW, ZERO, HONDA y VECTRIX.[18]

### 1.11.1. BMW

La marca BMW de Alemania se diferencia de resto por ser un modelo más sofisticado, dentro de la evolución de las motos eléctricas encontramos la siguiente:



Figura 1.3: BMW (C EVOLITION)  
[19]

Tabla 1.1: Especificaciones según la ficha técnica de la BMW C evolution [19]

BMW (EVOLUTION)		
Potencia Nominal	11	kW
Potencia Máxima	35	kW
Velocidad Máxima	120	km/h
Capacidad de Batería	8	kW
Peso	260	Kg

### 1.11.2. ZERO

Marca de California, Scotts Valley, es una línea de motocicletas a todo terreno y con diferentes tipos de modelo para motocicletas eléctricas como la siguiente:



Figura 1.4: ZERO ZF11.4  
[20]

Tabla 1.2: Especificaciones ZF11.4, fabricada por Zero Motorcycles [20]

<b>ZERO (ZF11.4)</b>		
Potencia Nominal	16	kW
Potencia Máxima	40	kW
Velocidad Máxima	153	km/h
Par Motor	92	Nm
Aceleración	5.8	S

### 1.11.3. HONDA

Una marca muy rotada por el mundo y reconocida, ya que esta marca de Estados Unidos que empezó a fabricar motocicletas en 1979 y desde ahí sigue innovando con diferentes tipos de motocicletas eléctricas como la siguiente:

Tabla 1.3: Especificaciones según la ficha técnica HONDA EC neo[21]

<b>HONDA (EV-neo)</b>		
Peso	106	Kg
Numero de Ocupantes	1	
Velocidad Máxima	160	km/h
Motor	AC AF71M	
Bateria	An x Al x Fondo	



Figura 1.5: HONDA EV – neo  
[21]

#### 1.11.4. VECTRIX

Marca derivada de Locked Martin una compañía dedicada a fabricar vehículos y motocicletas eléctricas.



Figura 1.6: VECTRIX (VX-1)  
[22]

Tabla 1.4: Especificaciones según la ficha técnica VECTRIX[22]

VECTRIX (VX-1)		
Potencia Máxima	21	Kw
Aceleración	6.3	S
Velocidad Máxima	100	Km/h
Motor	Brushless	
Autonomía	87-137	Kms

# Capítulo 2

## Autonomía de vehículos eléctricos

### 2.1. Autonomía

Un vehículo eléctrico es impulsado por un motor eléctrico en lugar de un motor de combustión interna, que se ha utilizado por mucho tiempo atrás. Este motor requiere baterías previamente cargadas, para poder brindar energía en un trayecto cualquiera. El inconveniente de este sistema utilizado por estos vehículos recae sobre el tiempo que dura la carga que se realiza en las baterías y de eso depende la autonomía.

#### 2.1.1. Autonomía del vehículo eléctrico

En la actualidad, la autonomía de los vehículos eléctricos ha mejorado significativamente gracias al avance de la tecnología en la fabricación de baterías más eficientes y de mayor capacidad. Sin embargo, aún hay ciertas limitaciones que pueden afectar la autonomía de estos vehículos. [15]

La autonomía de un vehículo eléctrico se mide en kilómetros (o millas) que el vehículo es capaz de recorrer con una sola carga de batería. Esta medida es importante para los conductores de vehículos eléctricos, ya que indica cuánto tiempo pueden conducir antes de que sea necesario volver a cargar las baterías [23]

La autonomía de un vehículo eléctrico puede variar en función de diversos factores como la velocidad, el terreno, las condiciones climáticas, el uso de accesorios, la carga del vehículo, entre otros. [23]

### **2.1.2. Autonomía Total.**

La autonomía total de un vehículo eléctrico es el número de kilómetros que se puede recorrer con las baterías cargadas. [24]

### **2.1.3. Autonomía Consumida.**

La autonomía consumida de un vehículo eléctrico viene a ser los kilómetros que ya se han recorrido de la autonomía total. [15]

### **2.1.4. Autonomía Restante.**

La autonomía restante de un vehículo eléctrico es la diferencia que hay entre la autonomía total menos la autonomía consumida, en otras palabras, es lo que resta de autonomía por recorrer en un vehículo. [15]

La autonomía de los vehículos eléctricos es una preocupación importante para los conductores. La cantidad de energía que la batería puede almacenar y los ciclos de conducción son dos factores clave que influyen en la autonomía. Los ciclos de conducción, es decir, las condiciones en las que se conduce el vehículo, también afectan la autonomía. Los conductores que conducen principalmente en la ciudad pueden tener una autonomía más corta que aquellos que conducen en carreteras de alta velocidad. Además, las baterías de los vehículos eléctricos son un componente esencial para la autonomía [15]. En la sección 2.2 se revisa los principales ciclos de conducción que se emplean en la estimación de la autonomía de vehículos eléctricos, mientras que en la sección 2.4 se estudia la batería y sus componentes.

## **2.2. Ciclos de Conducción**

La autonomía de los vehículos eléctricos o los de combustión depende en gran medida del comportamiento de conducción, los mismos que pueden ser clasificados en distintos ciclos de conducción, esto se refiere a una serie de momentos específicos en el tiempo. Cada uno de estos momentos tiene asociado un valor particular de velocidad en ese instante, representan la velocidad a la que circula un vehículo en determinadas condiciones de tráfico o entorno. Existen ciclos de

conducción para medios urbanos, rurales y de carretera. [25]

Con la finalidad de estimar la autonomía de los vehículos, se han creado una serie de ciclos de conducción normalizados.

### 2.2.1. Ciclos de conducción normalizados

Los ciclos de conducción más utilizados para realizar pruebas de autonomía son: ECE-15, el EUDC, el EUDCL y el NEDC. Estos ciclos se utilizan mayormente en la Unión Europea.

### 2.2.2. Ciclo de Conducción ECE-15

Esto implica un ciclo urbano caracterizado por velocidades máximas de 50 km/h y una duración de 195 segundos. Consta de tres periodos de aceleración constante, cuatro tramos de desaceleración y cuatro zonas de velocidades constantes.[25]

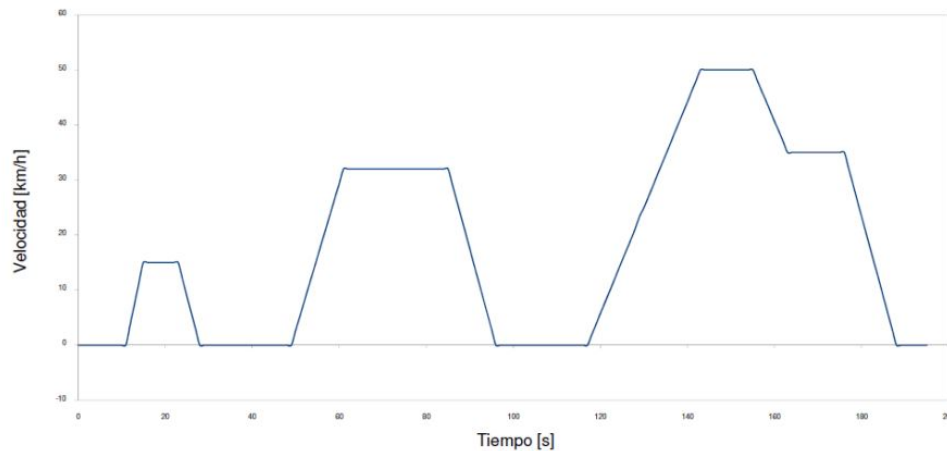


Figura 2.1: Ciclo de conducción ECE-15 [25]

### 2.2.3. Ciclo de Conducción EUDC

El ciclo representa un procedimiento de evaluación utilizado para medir tanto el consumo de combustible como las emisiones de gases de escape en los vehículos.



Este ciclo de conducción (velocidad entre 50 y 70 km/h), consta de dos partes: una parte urbana y una parte extraurbana. En la parte urbana, el vehículo se conduce en condiciones de tráfico urbano, con muchas paradas y arranques, mientras que en la parte extraurbana, el vehículo se conduce en carreteras de alta velocidad y sin muchas paradas. El ciclo EUDC es un procedimiento importante para medir la eficiencia de los vehículos y se utiliza en todo el mundo para evaluar el impacto ambiental de los vehículos en el medio ambiente.[25]

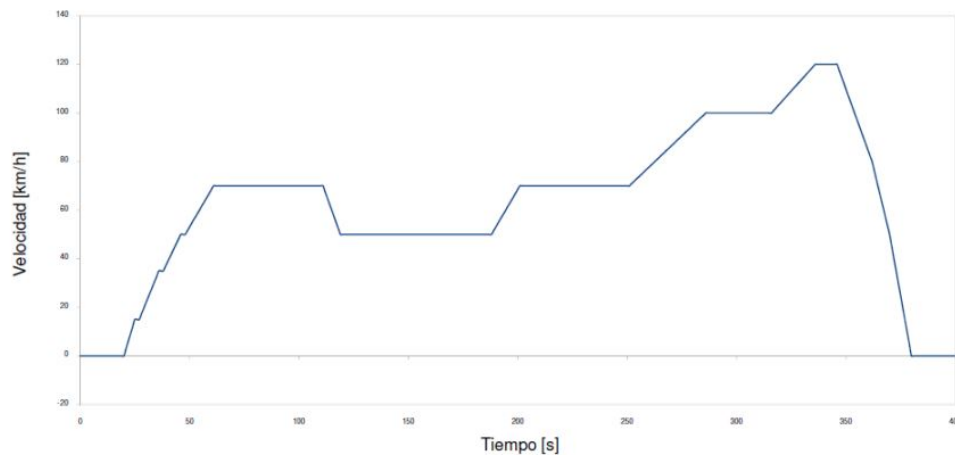


Figura 2.2: Ciclo de conducción EUDC  
[25]

#### 2.2.4. Ciclo de Conducción EUDCL

Este ciclo se asemeja al EUDC (Ciclo de Conducción Urbana Extra) pero está limitado a una velocidad máxima de 90 km/h. En lugar de los tramos del EUDC en los que se supera esta velocidad, se utilizan segmentos a una velocidad constante de 90 km/h. Esta adaptación se realiza debido a que el ciclo está diseñado para evaluar el desempeño de vehículos con características de rendimiento más modestas.[25]

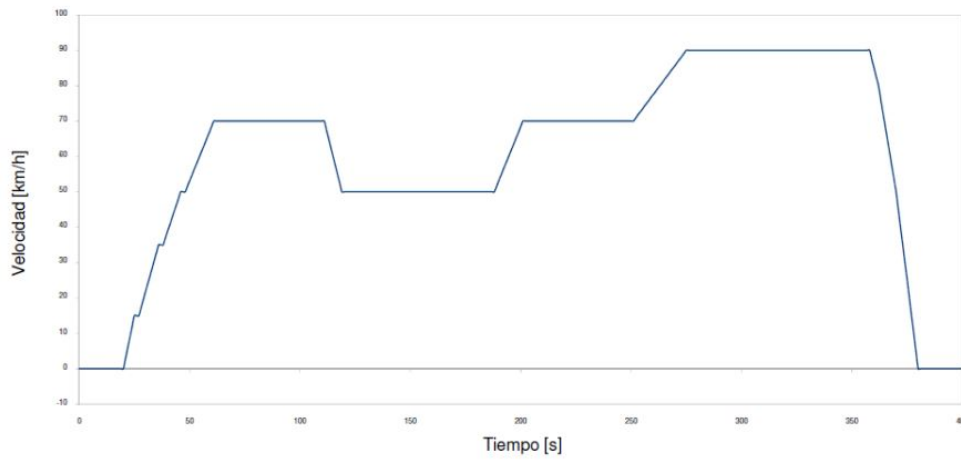


Figura 2.3: Ciclo de conducción EUDCL  
[25]

## 2.3. Ciclo de Conducción Experimental

### 2.3.1. NREL Transforming Energy

NREL proporciona una amplia gama de ciclos de conducción que se utilizan en pruebas de vehículos. Se explica detalladamente cada uno de los ciclos de conducción que se encuentran disponibles en el sitio web:

- Ciclo de Conducción Urbano FTP-75: Este ciclo de conducción se utiliza para simular la conducción en la ciudad. Se compone de una serie de eventos de conducción, como aceleración, desaceleración y detención, que se repiten durante aproximadamente 31 minutos y cubren una distancia de 11 millas. El ciclo se divide en dos partes: la primera parte consta de 23 eventos de conducción y la segunda parte consta de 18 eventos de conducción.[26]
- Ciclo de Conducción Urbano SFTP-US06: Este ciclo de conducción se utiliza para simular una conducción urbana más agresiva que el ciclo FTP-75. Se compone de una serie de eventos de conducción que incluyen aceleraciones y desaceleraciones más rápidas que el ciclo FTP-75, y una velocidad máxima de 80 mph.[26]
- Ciclo de Conducción en Carretera HWFET: Este ciclo de conducción se utiliza para simular la conducción en carretera a velocidad constante. Se com-

pone de dos partes: la primera parte se conduce a una velocidad constante de 48 mph durante 10 minutos, mientras que la segunda parte se conduce a una velocidad constante de 60 mph durante 10 minutos.[26]

- Ciclo de Conducción en Carretera 55: Este ciclo de conducción se utiliza para simular la conducción en carretera a una velocidad constante de 55 mph durante aproximadamente 10 minutos.[26]
- Ciclo de Conducción de Alta Velocidad: Este ciclo de conducción se utiliza para simular una conducción a alta velocidad en la carretera. Se compone de una serie de eventos de conducción que incluyen aceleraciones y desaceleraciones rápidas y una velocidad máxima de 80 mph.[26]
- Ciclo de Conducción Combinado UDDS/HWFET: Este ciclo de conducción combina el ciclo FTP-75 con el ciclo HWFET para simular una conducción mixta en la ciudad y la carretera.[26]
- Ciclo de Conducción Combinado UDDS/SFTP-US06: Este ciclo de conducción combina el ciclo FTP-75 con el ciclo SFTP-US06 para simular una conducción mixta más agresiva en la ciudad y la carretera.
- Ciclo de Conducción de Autobús Urbano: Este ciclo de conducción se utiliza para simular la conducción de un autobús urbano en la ciudad.[26]
- Ciclo de Conducción de Camión Urbano: Este ciclo de conducción se utiliza para simular la conducción de un camión en la ciudad.[26]
- En general, cada uno de estos ciclos de conducción está diseñado para simular diferentes condiciones de conducción y se utiliza para medir y comparar el rendimiento de los vehículos en diferentes situaciones de conducción.[26]

### 2.3.2. WLTC

El ciclo de conducción WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) es un ciclo de conducción que se utiliza para medir las emisiones y el consumo de combustible de los vehículos ligeros en condiciones de conducción reales. Este ciclo se divide en cuatro fases y tiene una duración total de aproximadamente 30 minutos y una distancia recorrida de 23,25 km.[26]

La fase C2 del ciclo WLTC se refiere a la segunda fase del ciclo, que se utiliza para simular la conducción en una zona de baja velocidad en la ciudad, con velocidades que van desde 0 a 50 km/h. En esta fase, se realizan aceleraciones y desaceleraciones suaves y se mantiene una velocidad constante durante un tiempo limitado. La fase C2 tiene una duración total de aproximadamente 195 segundos y cubre una distancia de 1,44 km.[26]

En general, el ciclo WLTC se considera una mejora con respecto al ciclo de conducción anterior, el ciclo NEDC (New European Driving Cycle), ya que se considera más representativo de las condiciones de conducción reales. El WLTC se utiliza actualmente en todo el mundo para medir las emisiones y el consumo de combustible de los vehículos ligeros nuevos, y su uso es obligatorio en la Unión Europea desde septiembre de 2017.[26]

## **2.4. Baterías**

En este proyecto, se examinará cómo se comportan los automóviles eléctricos en relación a las condiciones y ciertos aspectos de su diseño. La batería es el factor clave que influye en la autonomía de un vehículo eléctrico, y será el enfoque principal de estudio. Por esta razón se considera dedicar un capítulo para comprender mejor su comportamiento ya que existen varios tipos de baterías.[27]

La batería es el elemento fundamental en un vehículo eléctrico ya que de este depende prácticamente todo. El principal problema y, por lo tanto, uno de los mayores desafíos dentro de lo automotriz es buscar una solución que la batería rinda más kilómetros y el tiempo de carga no sea muy demorado. En la actualidad este tipo de tecnología avanza, pero de manera muy lenta. Las baterías en la actualidad ya se utilizan a gran escala, pero a futuro se espera que tenga mayor demanda.[28]

### **2.4.1. Fundamentos básicos de una batería**

Las baterías de los vehículos eléctricos se pueden describir como un mecanismo que tiene la capacidad de almacenar energía eléctrica a través de procesos electroquímicos. Una batería está formada por varias celdas. Cada celda consta de dos electrodos, que son unas placas de membrana metálica diseñadas para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, por ejemplo, un electrolito.[29]

El electrolito es el medio por el que circulan las cargas y que unen ambos electrodos en una misma celda y se conoce como cualquier sustancia que contenga iones libres, por lo que se convierte en conductor eléctrico. El electrolito puede ser ácido o alcalino por lo que a su química se refiere y líquido o sólido, por su fase.[?]

La manera en que una celda genera energía eléctrica se basa en un principio llamado reducción-oxidación. En este proceso uno de sus componentes (electrodo reductor ó ánodo) se oxida, dando lugar a la pérdida de electrones, por lo que tendrá carga positiva, mientras que el otro, a través del medio conductor (electrolito) ganará los electrones perdidos en un proceso de reducción y, por lo tanto, se cargará negativamente (electrodo oxidante ó cátodo).[28]

Todo este proceso hace que se produzca una diferencia de potencial entre los terminales de la batería y que libere, como se observa en la figura 2.4.

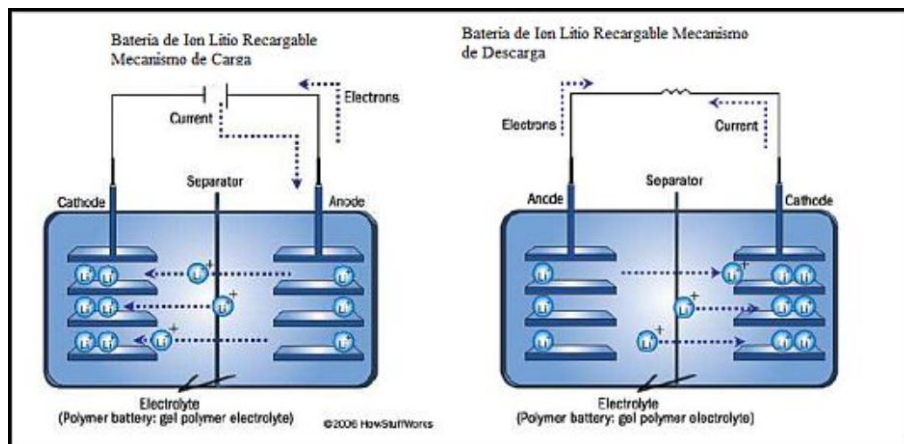


Figura 2.4: Funcionamiento de la batería

[29]

### 2.4.2. Parámetros electroquímicos de las baterías recargables

En el entorno de los parámetros utilizados dentro de una batería esta la fuerza electromotriz  $E$ , tensión  $V$ , la capacidad específica  $C$  y energía específica  $W$ , a continuación, se detalla cada parámetro.

### 2.4.3. Fuerza Electromotriz (E)

La fuerza electromotriz, también conocida como tensión, voltaje o potencial (E), se refiere a la energía eléctrica que impulsa a los electrones a través de un circuito. En una celda electroquímica, En una batería, el voltaje se establece a través de la disparidad entre los potenciales eléctricos de los materiales activos del cátodo y del ánodo. Es esencial que las celdas posean un potencial alto, ya que esto permite disminuir la cantidad de elementos que deben conectarse en serie para aumentar el voltaje nominal de la batería. La fuerza electromotriz de las celdas y las baterías se mide en voltios, lo que indica la cantidad de energía eléctrica que pueden proporcionar.[29]

### 2.4.4. Capacidad Especifica (C)

La capacidad específica es un parámetro que muestra la cantidad total de carga eléctrica almacenada en una batería. Se mide en amperios-hora (Ah). La normalización de esta capacidad es esencial para una aplicación óptima de la batería en el proceso de dimensionamiento.

### 2.4.5. Energía Especifica (W)

Este parámetro que representa la cantidad total de energía eléctrica que se almacena o se puede almacenar en las baterías ya que es netamente un parámetro electroquímico. La energía masiva se calcula de la siguiente manera:

$$W_m = \frac{EQ}{PesoBateria} (kWh) \quad (2.1)$$

La energía específica volumétrica, también denominada densidad de energía, se determina a partir de la expresión:

$$W = \frac{EQ}{VolumenBateria} \quad (2.2)$$

donde:

$E$  = Unidad de potencial eléctrico (V)

$Q$  = Unidad de carga eléctrica (C)

[28]

### **2.4.6. Ciclos de vida de una batería**

Los ciclos de vida de una batería se refieren a la cantidad de veces que se puede cargar y descargar antes de que su capacidad disminuya al ochenta por ciento de su valor nominal. Es altamente recomendable que las baterías tengan más de 500 ciclos de vida si han de ser usadas en vehículos eléctricos.[29]

### **2.4.7. Profundidad de descarga (Dod)**

Este concepto a menudo se menciona en su forma en inglés "depth of discharge" se abrevia como "DoD". La profundidad de descarga indica la cantidad de energía que se puede extraer de una batería. Este valor está dado en forma porcentual. [29]

## **2.5. Tipos de baterías**

Existen diferentes tipos de baterías utilizadas en vehículos eléctricos, que se pueden clasificar según su química. Actualmente, tres variantes de baterías que resultan idóneas para suministrar energía al motor de un vehículo eléctrico: las baterías de plomo-ácido, las baterías de metal-níquel y las baterías de ion-litio. Las baterías de plomo-ácido, siendo las más antiguas, se emplean en ciertos automóviles eléctricos de menor capacidad. Las baterías de metal-níquel son más recientes y se utilizan en vehículos eléctricos de mayor potencia. Finalmente, las baterías de ion-litio son las más utilizadas en los vehículos eléctricos modernos debido a su alta densidad de energía y bajo costo.[27]

### **2.5.1. Baterías de plomo-acido**

Las baterías de plomo-ácido son un tipo común de batería recargable que se utiliza en una variedad de aplicaciones, como en vehículos, sistemas de almacenamiento de energía y sistemas de respaldo de energía. Estas baterías utilizan placas de plomo y peróxido de plomo en los electrodos y un electrolito de ácido sulfúrico.[27]

La ventaja de las baterías de plomo-ácido es su alta eficiencia y su capacidad para entregar corriente de forma constante durante un período prolongado de tiempo. Sin embargo, también tienen algunas desventajas, como su requerimiento de mantenimiento regular, su tendencia a perder capacidad con el tiempo y su potencial

de generar gases tóxicos durante la operación.[27]

Existen diferentes tipos de baterías de plomo-ácido, como las baterías de plomo-ácido selladas (sin necesidad de mantenimiento), las baterías de plomo-ácido abiertas (requieren mantenimiento regular) y baterías VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Estas últimas son una versión mejorada de las baterías de plomo ácido selladas, con una mayor seguridad y mejor rendimiento.[28]

En resumen las baterías de plomo-ácido son una tecnología madura, confiable y económica para almacenar energía, pero requieren de un cuidado y mantenimiento para extender su vida útil y evitar problemas de seguridad.[29]

### **2.5.2. Baterías de Níquel**

Las baterías de níquel son un tipo de batería recargable que utiliza níquel como uno de sus componentes principales. Hay varios tipos de baterías de níquel, incluyendo las baterías de níquel-cadmio (NiCd), las baterías de níquel-metal-hidruro (NiMH) y las baterías de níquel-cobalto-hidruro (NiCoH).[27]

Las baterías de níquel-cadmio (NiCd) son una de las tecnologías más antiguas y maduras de baterías de níquel. Son confiables, resistentes a las altas temperaturas y tienen una larga vida útil. Sin embargo, tienen un efecto memoria, lo que significa que pierden capacidad si no se descargan completamente antes de cargarlas. Además, contienen cadmio, un metal tóxico, lo que las hace menos favorables desde el punto de vista medioambiental.[27]

Las baterías de níquel-metal-hidruro (NiMH) son una mejorada versión de las NiCd, con un mayor rendimiento y menor efecto memoria. Sin embargo, su capacidad es ligeramente menor que las baterías de níquel-cadmio.[29]

Las baterías de níquel-cobalto-hidruro (NiCoH) son una tecnología más reciente y tienen una mayor capacidad y un menor efecto memoria que las NiMH. Sin embargo, son más costosas y menos disponibles que las otras dos tecnologías.[28]

En general, las baterías de níquel tienen una mayor eficiencia y una mayor capacidad de almacenamiento de energía que las baterías de plomo-ácido, pero son más costosas y requieren un cuidado especial para extender su vida útil.[28]



### **2.5.3. Baterías de litio**

Las baterías de litio son un tipo de batería recargable que utilizan el ion de litio como ion intercambiado entre los electrodos. Estas baterías son muy populares en una variedad de aplicaciones, como dispositivos electrónicos portátiles, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía.[29]

Existen varios tipos de baterías de litio, pero las más comunes son las baterías de iones de litio (Li-ion) y las baterías de polímero de litio (Li-poly).[28]

Las baterías de iones de litio (Li-ion) tienen una mayor densidad de energía que las baterías de níquel-cadmio y plomo-ácido, lo que las hace más ligeras y con mayor capacidad de almacenamiento de energía. Además, no tienen efecto memoria y su vida útil es mayor. Sin embargo, son más costosas y requieren un cuidado especial para evitar problemas de seguridad.[28]

Las baterías de polímero de litio (Li-poly) son similares a las baterías de iones de litio, pero utilizan un electrolito líquido en polímero en lugar de uno líquido. Esto las hace más flexibles y seguras, pero también más costosas.[27]

En general, las baterías de litio son una excelente opción para aplicaciones que requieren una alta densidad de energía, una baja auto-descarga y una vida útil prolongada. Sin embargo, deben ser manejadas y almacenadas con cuidado debido a su potencial de incendio o explosión si se dañan o se sobre calientan. [29]

# Capítulo 3

## Moto eléctrica VENUS 2.0

### 3.1. Introducción

La Venus 2.0 es una motocicleta eléctrica de alta calidad, diseñada para proporcionar un rendimiento excepcional, eficiencia y comodidad, con su elegante diseño y su potente motor eléctrico, la Venus 2.0 es capaz de alcanzar velocidades impresionantes con un rendimiento suave y silencioso. Además, su batería de alta capacidad permite una autonomía de hasta 150 kilómetros por carga, lo que la convierte en una opción ideal para los desplazamientos diarios y los viajes de larga distancia.

La Venus 2.0 también cuenta con una serie de características de seguridad y comodidad, incluyendo un sistema de frenos ABS, control de tracción y un sistema de suspensión ajustable para una conducción suave en cualquier tipo de carretera.

En este apartado se revisará los componentes principales que caracterizan a la moto eléctrica VENUS 2.0. [30]

### 3.2. Componentes

Para estimar la autonomía de la moto eléctrica VENUS 2.0 es necesario conocer sus características físicas y eléctricas, en las figuras 3.1, 3.2, 3.3, y 3.4 se observa cada uno de los componentes del vehículo estudiado.

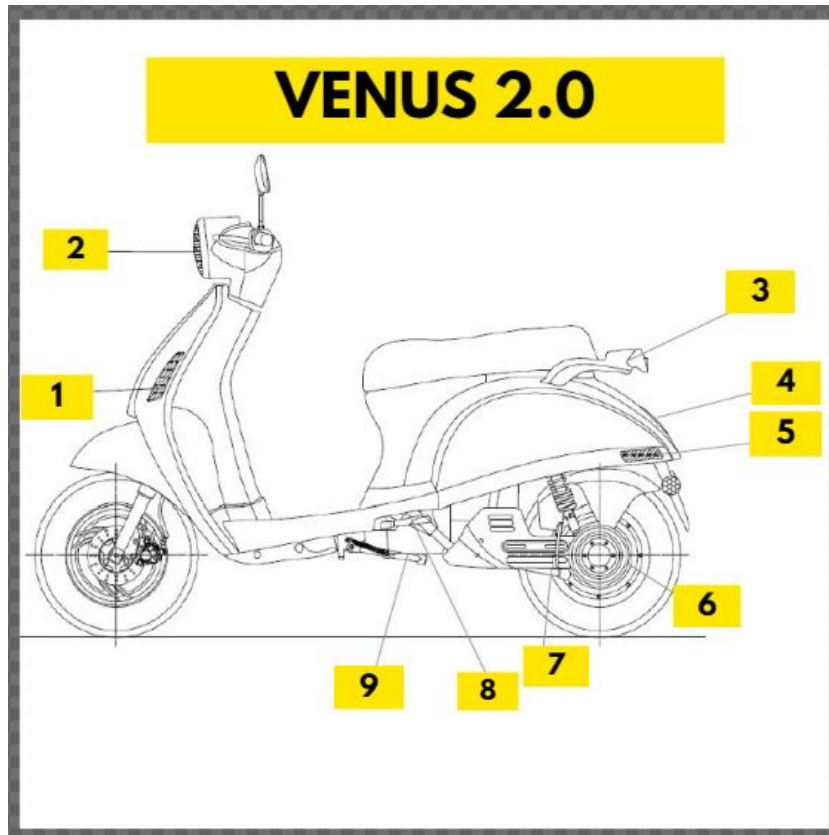


Figura 3.1: Componentes VENUS 2.0  
[30]

- 1. Luces intermitentes delanteros
- 2. Faro
- 3. Barra de apoyo del pasajero
- 4. Luz de Freno trasera
- 5. Luces intermitentes traseras
- 6. Motor
- 7. Caballete central
- 8. Reposapiés

- 9. Caballete lateral

Mandos:

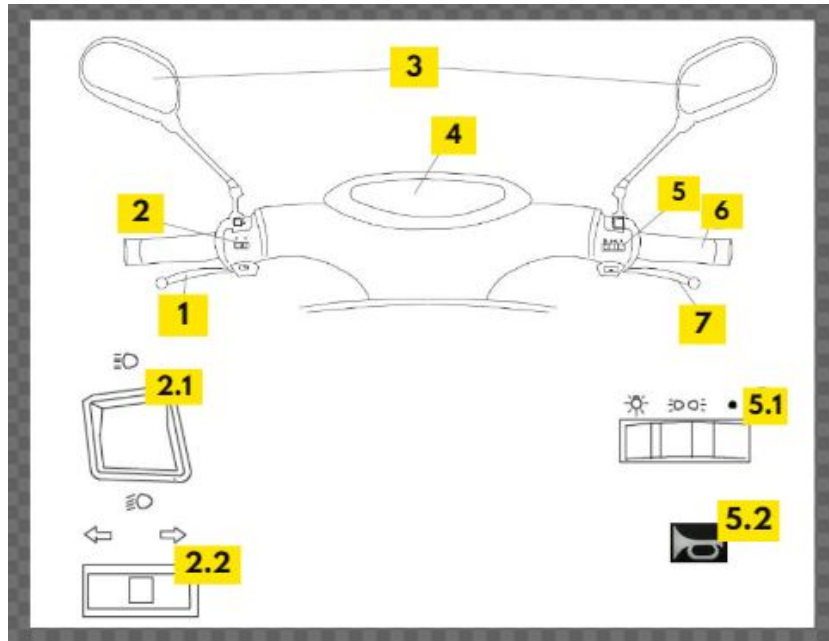


Figura 3.2: Mandos Delanteros  
[30]

- 1. Freno de rueda trasera
- 2. Combinación de interruptor izquierdo
  - 2.1. Luz de cruce
  - 2.2. Interruptor de giro izquierda/derecha
- 3. Retrovisor
- 4. Velocímetro
- 5. Combinación de interruptores
  - 5.1. Iluminación del vehículo
  - 5.2. Bocina

- 6. Acelerador
- 7. Freno delantero

Instrumento de Visualización:

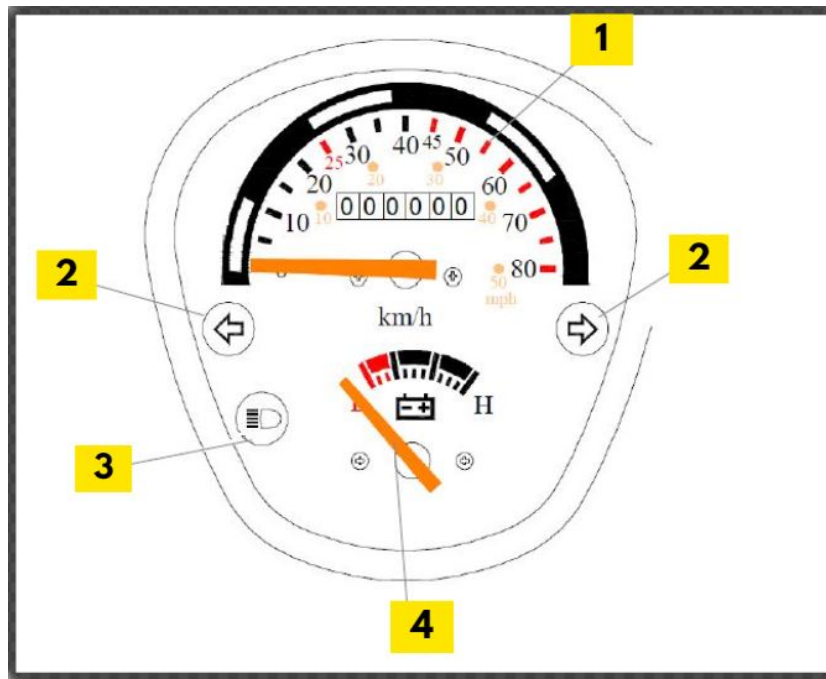


Figura 3.3: Instrumento de Visualización  
[30]

- 1. Velocímetro
- 2. Indicador de señal de giro
- 3. Indicador de luz de carretera
- 4. Indicador de carga de la batería

Encendido/Apagado:

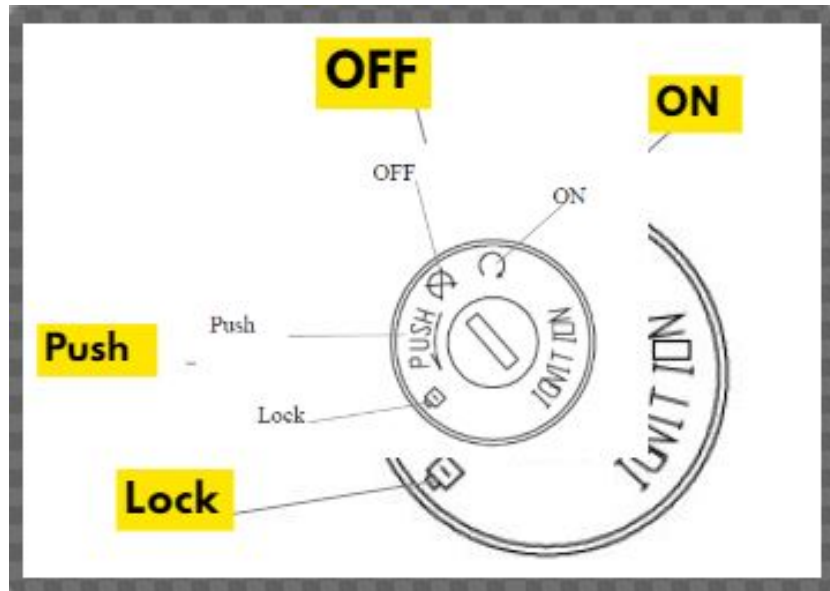


Figura 3.4: Cerraduras de encendido  
[30]

- ON: El motor eléctrico puede ir en marcha.
- OF: Circuito abierto
- PUSH. Sirve para bloquear

### 3.3. Especificaciones Técnicas

Especificaciones Técnicas:

<b>Modelo VENUS 2.0</b>	<b>Batería Litio</b>
Motor	Motor sin escobillas
Potencia del motor	2.000 w
Velocidad Máxima	25 km/h o 45km/h
Autonomía mínima por carga de batería	entre 65km a 90km
Peso incluido Batería	80kg
Carga Útil Máxima	160kg
Capacidad de batería	60V / 28 h(1.68kWh)
Ciclos de carga (hasta el 80% de la capacidad restante)	1000
Tiempo de carga	8h
Batería extraíble	SI
Suspensión	Amortiguadores hidráulicos
Frenos	Disco delantero / Tambor trasero
Neumáticos	10
Presión de la llanta	2.5-3 bar

Tabla 3.1: Especificaciones Técnicas según ficha técnica VENUS 2.0[30]

# Capítulo 4

## Modelado de las fuerzas actuantes sobre el vehículo

### 4.1. Introducción

Con el fin de adquirir una comprensión completa del desempeño de un vehículo eléctrico, es esencial familiarizarse con todas las fuerzas que influyen en su movimiento. La mayoría son fácilmente reconocibles y se puede realizar una interpretación mediante las ecuaciones correspondientes a las leyes físicas. Por esta razón se va a utilizar esas fuerzas para para modelar la moto eléctrica en este proyecto. Uno de los problemas en este proyecto son las carreteras con pendiente. Para resolver este problema se plantea un diagrama de cuerpo libre sobre un plano inclinado, de esta forma se comprende cuales son las fuerzas que actúan en el vehículo eléctrico.



## 4.2. Fuerzas actuantes sobre el vehículo

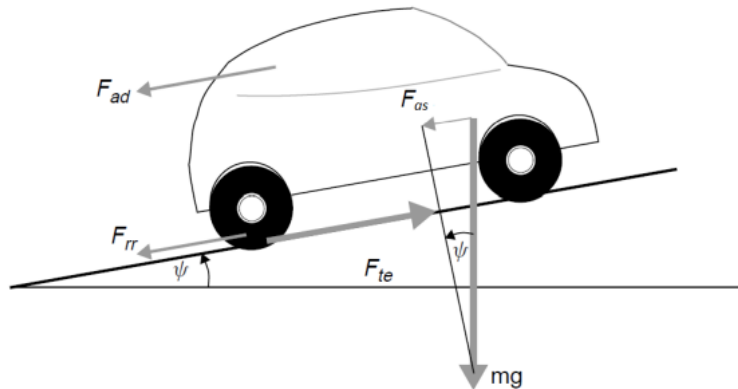


Figura 4.1: fuerzas actuantes  
[25]

### Fuerza de rozamiento

Esta es la fuerza resultante opuesta al movimiento, debido al movimiento de un cuerpo sobre otro

$$F_{rr} = \mu_{rr}mg(N) \quad (4.1)$$

donde:

$\mu_{rr}$  = Coeficiente de rozamiento

$m$  = Masa (Kg)

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ )

### Resistencia aerodinámica

Esta es la fuerza opuesta al movimiento que sufre un objeto sólido (moto) cuando se desplaza a través del aire.[25]

Esta fuerza depende de cuatro factores: la densidad del aire, velocidad al cuadrado, la superficie frontal y coeficiente de resistencia aerodinámica de la moto en este caso, como se muestra en la ecuación 4.2 [25]

La densidad del aire se considera constante y no va a variar con el diseño del vehículo eléctrico.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 (N) \quad (4.2)$$

donde:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{Densidad del aire (kg/m}^3\text{)} \\ A &= \text{Área frontal (m}^2\text{)} \\ C_d &= \text{Coeficiente aerodinámico} \\ v &= \text{velocidad (m/s)} \end{aligned}$$

#### **Fuerza de ascenso:**

Esta es la fuerza para hacer subir a un cuerpo de una determinada masa sobre un plano inclinado que forma un ángulo con la horizontal.[25]

$$F_{as} = m * g * \text{sen}\phi (N) \quad (4.3)$$

donde:

$$\begin{aligned} m &= \text{Masa (Kg)} \\ g &= \text{Gravedad (m/s}^2\text{)} \\ \phi &= \text{Ángulo que forma la superficie de rodadura con la horizontal}[25] \end{aligned}$$

#### **Fuerza de aceleración lineal:**

Esta es una fuerza que es la resultante de los cambios de velocidad del vehículo . Se calcula aplicando la segunda ley de Newton, tal como se muestra en la ecuación 4.4.

$$F_{at} = m \cdot a (N) \quad (4.4)$$

donde:

$$m = \text{Masa Kg}$$
$$a = \text{Aceleración (m/s}^2\text{)}$$

### **Fuerza necesaria para dar aceleración angular :**

A las piezas rotativas es necesario aplicar una determinada fuerza para superar el momento de inercia y producir el giro.[25]

$$F_{\omega a} = I \frac{G^2}{n_g r^2} a (N) \quad (4.5)$$

donde:

$$I = \text{Momento de inercia (kg} \cdot \text{m}^2\text{)}$$
$$G = \text{Relación de transmisión entre el sistema y el motor}$$
$$n_g = \text{Rendimiento del sistema de transmisión (rad/s)}$$
$$a = \text{Aceleración (rad/s}^2\text{)}$$

### **Fuerzas de tracción:**

Es la suma de todas las fuerzas descritas anteriormente para que un vehículo ascienda sobre un plano inclinado.[25]

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{as} + F_{at} + F_{\omega a} (N) \quad (4.6)$$

Es posible que en algún momento las fuerzas que componen la ecuación 4.6 sean negativas esto se debe a la condición en la que se encuentre el vehículo en ese momento. El sentido de la fuerza de tracción determina si el vehículo se desplaza hacia adelante o hacia atrás, cuando es mayor a cero el vehículo avanza y en caso contrario si es negativo el vehículo retrocede.

En cuanto a la fuerza de subida o ascenso, se toma en cuenta el signo positivo cuando el vehículo asciende una pendiente y negativo cuando desciende una cuesta. Por lo tanto, la fuerza total puede llegar a ser positiva o negativa, si alguna de estas o varias fuerzas prevalecen en sentido contrario a todas las demás.[25]

Una vez obtenido el esfuerzo de tracción necesario para mover el vehículo, se define la potencia para mover el vehículo.[25]

$$P_{te} = F_{te} \cdot v(W) \quad (4.7)$$

donde:

$$F_{te} = \text{Fuerza de tracción (N)}$$
$$v = \text{Velocidad instantánea (m/s)}$$

El desempeño de la transmisión mecánica del vehículo se mantiene constante como un parámetro invariable, el cual se considerara en el programa. El rendimiento de la transmisión mecánica interviene en el calculo de la potencia requerida por el motor del vehículo definida en la ecuación 4.8 y 4.9.

#### **En Aceleración:**

En la situación de aceleración, la potencia de salida del motor ( $P_{mot}$  out) debe ser igual a la potencia necesaria para superar la resistencia ( $P_{te}$ ), que se divide por la eficiencia del sistema de transmisión ( $n_g$ ), que es la relación entre la potencia de salida del motor y la potencia entregada a las ruedas del vehículo.

$$P_{mot} = P_{te} / n_g \quad (4.8)$$

#### **En frenado:**

En la situación de frenado, la potencia de salida del motor ( $P_{mot}$  out) debe ser igual a la potencia necesaria para superar la resistencia ( $P_{te}$ ), que se multiplica por la eficiencia del sistema de transmisión ( $n_g$ ).

$$P_{mot} = P_{te} \cdot n_g \quad (4.9)$$

donde:

$$P_{mot} = \text{Potencia del motor (W)}$$
$$P_{te} = \text{Potencia de la fuerza de empuje (W)}$$
$$n_g = \text{relación de transmisión de engranajes}$$

La eficiencia del sistema que engloba al motor eléctrico y al controlador está vinculada al desempeño de la máquina de corriente continua, el cual varía significativamente según la potencia, el par y el tamaño del motor de inducción. La eficacia del motor se puede determinar mediante la siguiente ecuación.

$$\eta_m = \frac{T \omega}{T \omega + k_c T^2 + k_i \omega + k_w \omega^3 + C} \quad (4.10)$$

donde:

$k_c$  = Coeficiente de pérdidas en el cobre = 0.3

$k_i$  = Coeficiente de pérdida en el hierro =0.01

$k_w$  = Coeficiente de pérdida por fricción con el aire =5x10-6

$C$  = Constante de pérdidas =600

Después de calcular las fuerzas y potencias mecánicas necesarias para mover un vehículo, el siguiente paso es convertir esa potencia mecánica en potencia eléctrica, para determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para alimentar el motor del vehículo. En resumen, la cantidad de potencia eléctrica necesaria para el motor del vehículo será equivalente a la potencia mecánica necesaria para impulsar el movimiento del vehículo, incluyendo las pérdidas mecánicas previamente identificadas. La ecuación resultante para la potencia eléctrica necesaria será determinada a partir de las siguientes ecuaciones.[25]

### **En aceleración:**

Durante la aceleración, la velocidad de la rueda aumenta a medida que se aplica más energía al motor. La velocidad de rotación del motor también aumenta, pero a una tasa menor debido a la pérdida de energía en forma de calor y fricción en el sistema. Como resultado, la relación de velocidad entre la rueda y el motor se reduce, y se necesita dividir la potencia de salida del motor por  $n_m$  para obtener la potencia de entrada necesaria.

$$P_{mot;n} = P_{mot;ut} / n_m (W) \quad (4.11)$$

### **En frenado:**

Por otro lado, durante el frenado, la velocidad de la rueda disminuye a medida que se aplica la fuerza de frenado. En este caso, la velocidad de rotación del motor debe aumentar para mantener la relación de velocidad entre el motor y la rueda. Como resultado, se necesita multiplicar la potencia de salida del motor por  $n_m$  para obtener la potencia de entrada necesaria durante el frenado.

$$P_{mot;n} = P_{mot,out} \cdot n_m (W) \quad (4.12)$$

donde:

$P_{mot;n}$  = Potencia de entrada del motor (W)

$P_{mot,out}$  = Potencia de salida del motor (W)

$n_m$  = relación de transmisión de motor

La cantidad de energía eléctrica necesaria para mover un vehículo no siempre es igual a la energía eléctrica demandada a la batería, ya que hay otros componentes eléctricos dentro del vehículo que también operan mediante electricidad y están enlazados a la misma fuente de energía eléctrica. Estos elementos pueden comprender luminarias, sistemas de comunicación, dispositivos de audio, control de temperatura y sistemas de climatización, etc. El consumo de energía de estos componentes no siempre será constante y, en muchos casos, estarán apagados.[25] Por lo tanto, el valor de la potencia consumida por estos componentes ( $P_{acc}$ ) se calculará como un valor constante que representa el promedio de su funcionamiento y potencia. En consecuencia, la energía eléctrica total requerida por la batería se obtendrá sumando la energía eléctrica necesaria para impulsar el vehículo y la energía eléctrica consumida por los diferentes componentes del vehículo, lo que se puede expresar en la siguiente ecuación:

$$P_{bat} = P_{mot;n} + P_{acc} (W) \quad (4.13)$$

donde:

$P_{bat}$  = Potencia total entregada por la batería (W)

$P_{mot;n}$  = Potencia de entrada del motor (W)

$P_{acc}$  = Potencia consumida por los accesorios eléctricos (W)

Como se mencionó previamente, la potencia del motor del vehículo puede ser negativa en ciertas situaciones. Si esto ocurre, la cantidad de energía eléctrica requerida de la batería también será menor en magnitud.

### 4.3. Representación de un Modelo de un vehículo eléctrico.

En el ambiente del análisis es importante obtener los resultados del modelo para poder simular en Matlab las diferentes formas de comportamiento de un vehículo eléctrico.[4]

Dentro del trascurso del proyecto es sustancial el modelo físico, que establecen el comportamiento del vehículo eléctrico recorriendo sobre un espacio específico. Debemos tener en cuenta las variables de las ecuaciones físicas para poder realizar la simulaciones en el programa (Matlab).

### 4.4. Modelado de la Batería.

La representación del comportamiento de la batería de un vehículo eléctrico puede describirse mediante ecuaciones, de manera similar al movimiento del vehículo eléctrico que se representa mediante las fuerzas que actúan sobre él.

En las baterías existen variables sencillas de medir como su temperatura y voltaje, pero también existen variables complejas como son su carga, formas en las que hayan sido tratado en el pasado, profundidad de descarga (Dod "Depth of Discharge"), del cual se deriva el estado de carga SoC(State of Charge).

$$SoC = 1 - Dod \quad (4.14)$$

donde:

$SoC$  = el estado de carga de la batería

$Dod$  = profundidad de descarga de la batería

El modelo que se presenta en la figura 4.2 representa una aproximación del funcionamiento real de la batería, porque es fácil tomar nota de las medidas experimentales mas relevantes disponibles en las hojas técnicas de los fabricantes, por ejemplo la caída de voltaje en los terminales de la batería en función a la carga, la caída de voltaje debido a las variaciones de temperatura.[4]

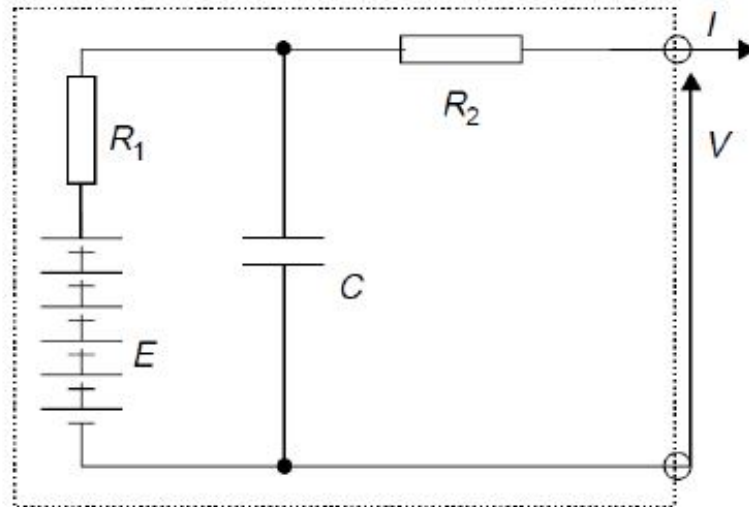


Figura 4.2: Esquema de funcionamiento real de una batería [4]

donde:

$V$  = Voltaje en los terminales (V)

$I$  = Corriente entregada (A)

$E$  = Potencial. (V)

$R1$  = Resistencia interna. (ohm)

$R2$  = Resistencia interna. (ohm)

$C$  = Condensador el cual caracteriza la respuesta transitoria.(uF)

A través del esquema mostrado en la figura anterior se puede calcular las tensiones en circuito abierto de la batería tal como se muestran en las ecuaciones

4.15 y 4.16

**Batería de Plomo-ácido.**

$$E = n[2,15 - Dod * (2,15 - 2,00)](J) \quad (4.15)$$



### **Batería de Níquel-Cadmio.**

$$E = n[-8,28 * Dod^7 + 23,57 * Dod^6 - 30 * Dod^5 + 23,7 * Dod^4 - 12,58 * Dod^3 + 4,13 * Dod^2 - 0,86 * Dod + 1,37](J) \quad (4.16)$$

donde:

$E$  = Potencial eléctrico de la Batería (V)

$n$  = numero de celdas que componen la batería.

$Dod$  = Profundidad de descarga.

Para realización del calculo respectivo deberá darse un valor de profundidad de descarga.

#### **4.4.1. Calculo de la corriente por la batería:**

Se conoce que la potencia eléctrica demandada sera igual a la potencia necesaria para mover el vehículo.[4]

$$P_{te} = F_{te} * v = P_{elctrica}(W) \quad (4.17)$$

donde:

$P_{te}$  = Potencia de tracción (W)

$F_{te}$  = Fuerza de tracción (N)

$P_{elctrica}$  = Potencia eléctrica (W)

$v$  = velocidad (m/s)

#### **Potencia eléctrica demandada:**

$$P = V * I = E(E - I * R) * I = E * I - R * I^2(W) \quad (4.18)$$

Para despejar paso a paso I de la ecuación de la potencia eléctrica demandada, seguimos los siguientes pasos:

Factorizamos la ecuación para obtener una expresión cuadrática en términos de I:

$$EI - RI^2 - P = 0$$

$$I^2 - \frac{E}{R} * I + \frac{P}{R} = 0$$

Utilizamos la fórmula cuadrática para resolver para I:

$$I = \frac{-\frac{E}{R} \pm \sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2 - 4 * \frac{1}{1} * \frac{P}{R}}}{2 * 1}$$

Simplificamos la expresión:

$$I = \frac{-\frac{E}{R} \pm \sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2 - 4 * \frac{P}{R}}}{2}$$

Simplificamos el término dentro de la raíz cuadrada:

$$I = \frac{-\frac{E}{R} \pm \sqrt{\frac{E^2}{R^2} - \frac{4PR}{R^2}}}{2}$$

$$I = \frac{-\frac{E}{R} \pm \sqrt{\frac{E^2}{R^2} - \frac{4P}{R}}}{2}$$

$$I = \frac{-\frac{E}{R} \pm \sqrt{\frac{E^2 - 4PR}{R^2}}}{2}$$

$$I = \frac{-\frac{E}{R} \pm \sqrt{\frac{(E-2RP)(E+2RP)}{R^2}}}{2}$$

Finalmente, simplificamos aún más la expresión:

$$I = \frac{-1}{2R} \left( E \pm \sqrt{E^2 - 4RP} \right)$$

Y podemos reescribir esta expresión utilizando notación de productos:

$$I = \frac{-1}{2R} \left( E \pm \sqrt{1 \cdot (E^2 - 4RP)} \right)$$

$$I = \frac{-1}{2R} \left( E \pm \sqrt{1^2 + 4RP/E} \right)$$

Por lo tanto, hemos llegado a la ecuación:

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4RP}}{2R} \quad (4.19)$$

donde:

$P$  = Potencia de eléctrica (W)

$V$  = tensión (V)

$I$  = corriente eléctrica (A)

$E$  = Potencial eléctrico de la Batería (V)

$R$  = Resistencia eléctrica (ohm)

La resistencia interna de la batería se calcula con la siguientes ecuaciones :

**Batería de Plomo-ácido.**

$$R = n * \frac{0,022}{C_{10}} (Ohm). \quad (4.20)$$

donde:

$n$  = es un número entero que representa el número de circuitos en serie.

$C_{10}$  = es la capacitancia nominal de la batería en decenas de amperios-hora (Ah).

**Batería de Níquel-Cadmio.**

$$R = n * \frac{0,06}{C_3} (Ohm). \quad (4.21)$$

donde:

$n$  = es un número entero que representa el número de circuitos en serie.

$C_3$  = es la capacitancia nominal de la batería en decenas de amperios-hora (Ah).

#### 4.4.2. Actualización el registro de la carga sustraída de la batería

$$CR_{n+1} = CR_n + \frac{\partial * t * I^K}{3600} * Ah. \quad (4.22)$$

donde:

$CR$  = representa la capacidad restante de una batería (%).

$n$  = es simplemente un índice de tiempo que se refiere al momento actual.

$t$  = representa el tiempo transcurrido desde la última medición de la capacidad restante (h).

$I$  = representa la corriente que fluye hacia o desde la batería (A).

$K$  = es una constante que depende de las características de la batería y del tipo de corriente que fluye(C

$Ah$  = representa la capacidad nominal de la batería en amperios-hora.)

Para  $n=1$  la carga sustraída se interpreta que es cero, ya que es el primer punto de simulación se parte de la condición que la batería esta a plena carga.[4]

#### 4.4.3. Actualización el nivel de la descarga

Obtenemos la profundidad de descarga al analizar los datos extraídos de la carga consumida y la capacidad de Peukert, que se calcula a partir de la corriente requerida.

$$Dod_n = \frac{CR_n}{C_p}. \quad (4.23)$$

Donde:

$Dod_n$  = es la profundidad de descarga de la batería en el momento "n".

$CR_n$  = es la capacidad restante de la batería en el momento "n".

$C_p$  = es la capacidad nominal de la batería.

Por lo tanto:

$$C_p = I^K * t \quad (4.24)$$

Donde:

$C_p$  = es la capacidad nominal de la batería.

$I$  = es la corriente eléctrica que fluye a través de la batería, expresada en amperios (A).

$K$  = es una constante que depende de las características de la batería y del tipo de corriente que fluye.

$t$  = es el tiempo durante el cual la batería se utiliza, expresado en horas (h).

## 4.5. Cálculo de la autonomía de la moto

El modelo del vehículo tiene en cuenta los principales fenómenos físicos que afectan al movimiento de los vehículos, los cuales son: la fuerza de rozamiento de las ruedas con el asfalto, la resistencia aerodinámica que aumenta con la velocidad debido a la forma y el área frontal del vehículo, las inercias debidas al cambio de velocidad de su masa y de los mecanismos internos, y la fuerza sobre la masa del vehículo en los desniveles causada por la gravedad.[15]

El modelo también considera las pérdidas en la transmisión y el motor de inducción, las cuales varían según el par y la velocidad de rotación. Además, tiene en cuenta la tasa de regeneración durante el frenado. Además, permite ajustar la cantidad de energía adicional requerida para alimentar los sistemas del vehículo, controlar la temperatura interior y proporcionar iluminación en la carretera.[23]

Utilizando todas estas consideraciones, es posible determinar con una precisión considerable el nivel de descarga de la batería y, por lo tanto, predecir la autonomía real del vehículo en función de las condiciones establecidas. Se establecen como fijos ciertos parámetros, tales como los coeficientes de ineficiencia, la transmisión de calor, la fricción entre la rueda y el asfalto, así como las áreas que se pueden medir. Otros parámetros, como la velocidad de desplazamiento, cambian a lo largo del tiempo y se registran en las tablas de ciclos de conducción. La elección de un determinado ciclo de conducción tendrá un gran impacto en la autonomía del vehículo.[4]

El diagrama de flujo que se presenta en la figura indica la estructura del programa realizado para calcular la autonomía consumida y restante del vehículo en una trayectoria elegida.

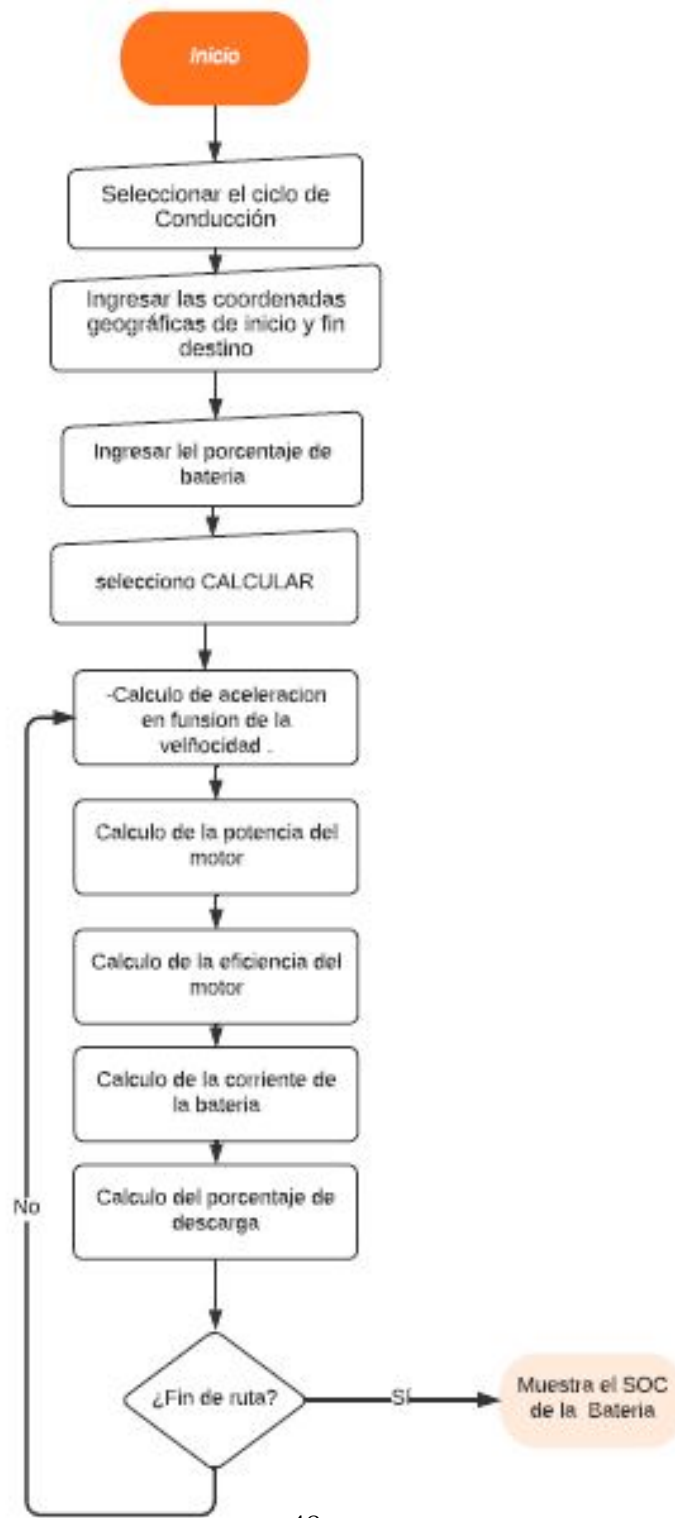


Figura 4.3: Diagrama de Flujo

# Capítulo 5

## Método de validación del programa

En este trabajo se propone un método para determinar el porcentaje de estado de carga de la batería del vehículo eléctrico después de haber recorrido sobre una ruta elegida.

Para utilizar el método de aproximación gráfica, primero se debe descargar completamente la batería de la moto. Luego, se carga la batería al 100%. En la pantalla de la moto, se puede ver el estado de la batería, que se indica mediante barras, como se muestra en la figura 5.1. Esto nos permite monitorear el nivel de carga de la batería durante el periodo de carga.

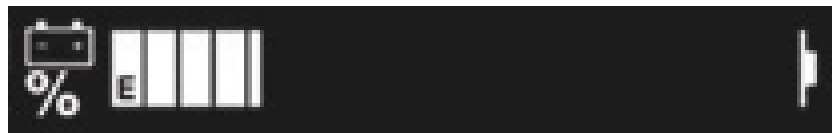


Figura 5.1: Carga de la batería de la moto

Cada barra en la pantalla de la moto representa el 10% de la batería. Para hacer una prueba, medimos cuánto tiempo tomó para que cada barra se llenara. Estos tiempos se registraron en la Tabla 5.1.



Soc( %)	Tiempo(h)
0	0:00
10	0:46
20	1:39
30	2:13
40	2:50
50	3:24
60	3:57
70	4:36
80	5:19
90	5:50
100	6:38

Tabla 5.1: Tiempo de carga de la batería

En la tabla 5.1 se puede observar que la batería del vehículo tarda al rededor seis horas y media en cargarse completamente. Además, podemos ver que, en promedio, cada barra del indicador de carga de la moto se carga en 39.8 minutos. Usando estos datos se crea una gráfica que muestra cómo la batería se carga a lo largo del tiempo, y podemos ver que la carga se aproxima a una línea recta en la Gráfica 5.2. Para obtener una ecuación que se ajuste a los puntos obtenidos en la gráfica, se utilizó una ecuación de segundo grado.

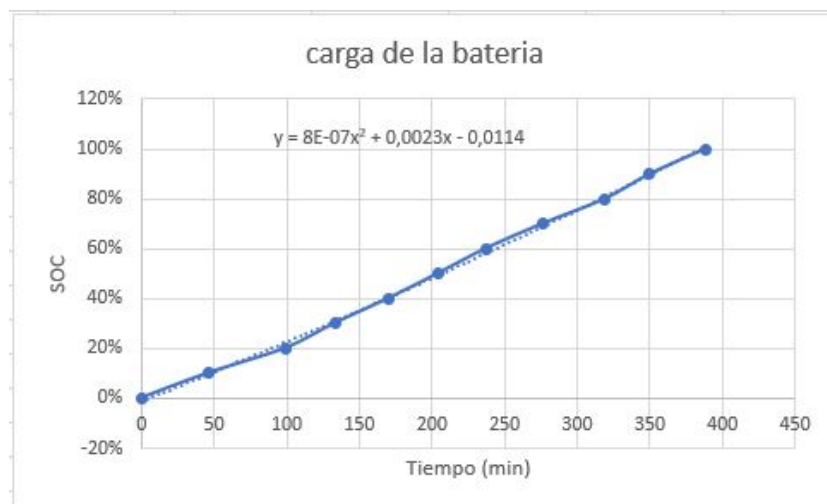


Figura 5.2: Carga de la batería de la moto

$$Y = 8E - 07x^2 + 0,0023x - 0,0114 \quad (5.1)$$

donde:

$$Y = \text{SoC (\%)}$$

$$X = \text{Tiempo de carga (min)}$$

## 5.1. Pruebas de ruta y estado de carga de batería

Se realizaron tres pruebas de ruta diferentes. La primera fue urbana, la segunda de autopista y la tercera que combina parte urbana y de autopista. Estas pruebas se realizaron en la ciudad de Cuenca. Para comenzar cada prueba se caga la batería al cien por ciento, se recorre la ruta elegida y se observa en el panel de control el estado de carga de la batería al final de recorrido.

Para realizar las diferentes pruebas se usa una aplicación llamada Kommot, la cual permite crear y seguir rutas en función del tipo de conducción. Empleando los puntos iniciales y los finales Kommot indica la distancia, el perfil de elevación, la superficie de la carretera y el tiempo estimado para llegar al destino. Al iniciar y empezar a conducir, la aplicación indicara las velocidades instantáneas durante el recorrido y la distancia recorrida tal como se muestra en la figura 5.3.

A continuación se muestran las pruebas realizadas con la moto eléctrica Venus 2.0, el primer recorrido elegido es el traslado desde la Universidad Politécnica Salesiana hasta la parroquia Chaullabamba.

### Trayecto 1

La figura 5.3 muestra las velocidades instantáneas del vehículo durante este recorrido, se observa que en los primeros instantes de tiempo los cambios de velocidad son mayores que en los intervalos de tiempo intermedios.

La figura 5.4 indica la ruta que Google Maps sugiere para llegar a la parroquia Chaullabamba, mientras que la figura 5.5 muestra el perfil de elevación de la ruta elegida para llegar al destino. Este dato de elevación se tiene en cuenta para calcular las fuerzas actuantes del vehículo eléctrico.

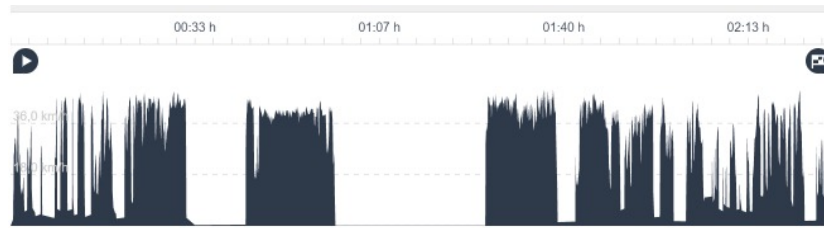


Figura 5.3: Ciclo de Conducción de Kommot

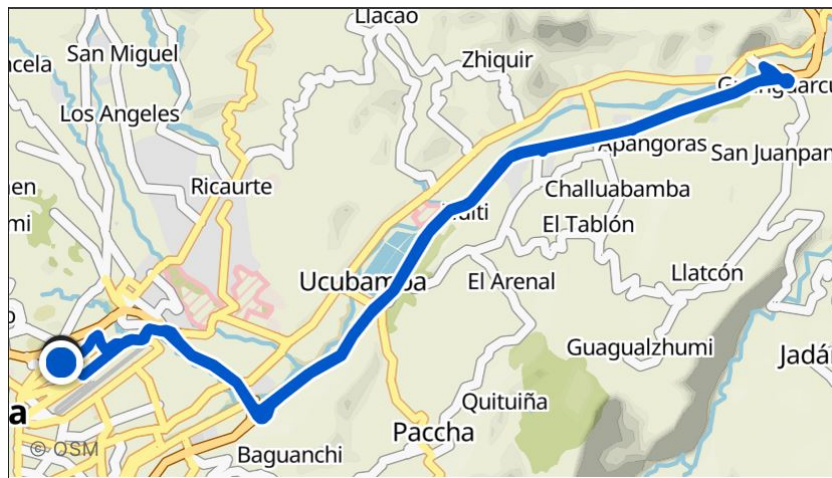


Figura 5.4: ruta uno de prueba

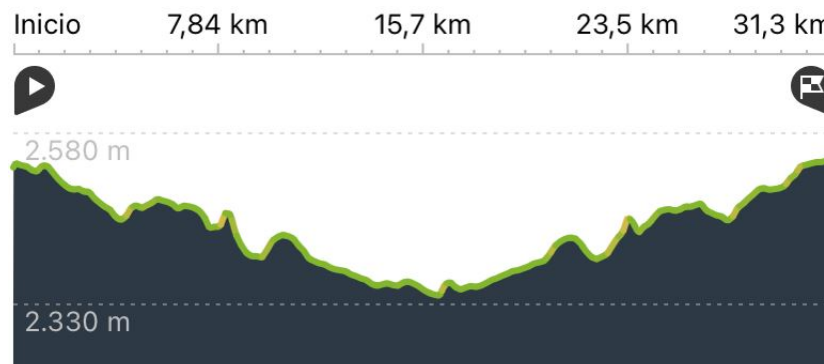


Figura 5.5: altitud del trayecto uno de prueba

Los datos reflejados en la tabla 6.1 se obtuvieron de la aplicación antes mencionada. El consumo de la batería se obtuvo de la ecuación 5.1 .

ascenso	410m
descenso	410 m
Altitud maxima	2530 metros
Altitud minima	2340 m
Velocidad media	33.5 Km/h
tiempo total	56 min
distancia total	31.3 Km
profundidad de descarga	30.87 %

Tabla 5.2: Resumen del recorrido uno

## Trayecto 2

En la prueba dos combinamos la ruta urbana con la ruta de carretera, esta ruta tiene un punto de inicio desde universidad politécnica salesiana hasta sayausi que sería la parte urbana, desde sayausi hasta el Cajas sería una ruta de carretera.

En la figura 5.6 se muestra la ruta sugerida por Google Maps para llegar al parque Nacional El Cajas, mientras que la figura 5.7 indica el perfil de elevación de la carretera elegida.

La tabla 5.3 indica los resultados obtenidos desde la aplicación Kommot.

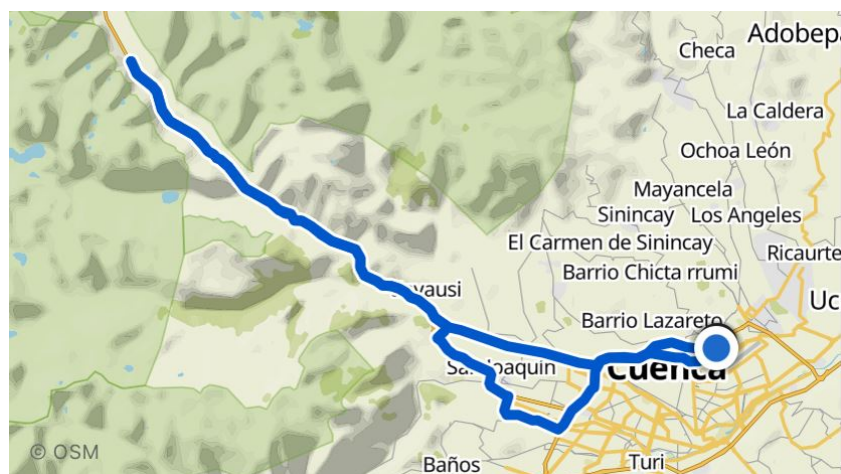


Figura 5.6: ruta dos de prueba

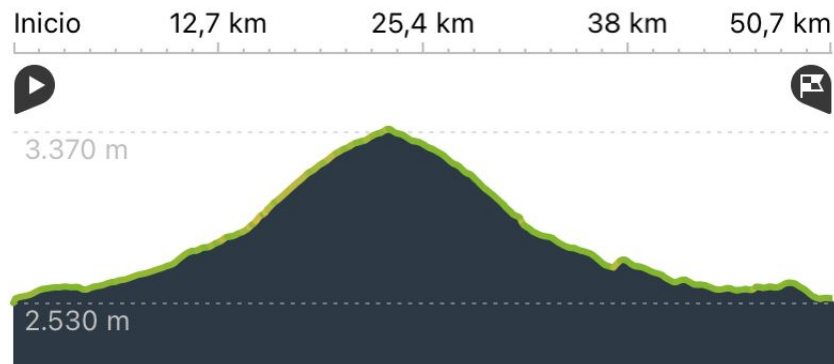


Figura 5.7: altitud del trayecto dos de prueba

ascenso	980 m
descenso	980 m
Altitud maxima	3370 m
Altitud minima	2530 m
Velocidad media	32.5 Km/h
tiempo total	94 min
distancia total	50.7 Km
profundidad de descarga	89.16 %

Tabla 5.3: Resumen del recorrido dos

### Trayecto 3

En la prueba tres se realizó un tipo de ruta netamente urbana, teniendo como referencia un punto de partida la Universidad Politécnica Salesiana y llegada centro comercial Coral Centro ubicado en el sector Yanuncay. En la figura 5.8 se muestra la ruta sugerida por Google Maps para llegar al destino Yanuncay, mientras que en la figura 5.9 se muestra el perfil de elevación de la ruta y la tabla 5.4 se muestra los resultados de la prueba.



Figura 5.8: ruta tres de prueba



Figura 5.9: altitud del trayecto tres de prueba

ascenso	180 m
descenso	180 m
Altitud maxima	2610 m
Altitud minima	2530 m
Velocidad media	23.7 Km/h
tiempo total	43 min
distancia total	16.8 Km
profundidad de descarga	28 %

Tabla 5.4: Resumen del recorrido dos

# Capítulo 6

## Desarrollo del entorno de simulación

### 6.1. Aplicación de cálculo de autonomía de vehículo eléctrico

La interfaz gráfica elaborada en Matlab permite determinar el consumo de batería que tendrá el vehículo en funcionamiento. Para este cálculo se usa la ruta de conducción entre dos puntos geográficos generada por Google Maps, el perfil de alturas de la trayectoria y un ciclo de conducción de prueba. El cálculo de consumo energético se realiza con las ecuaciones expuesta en el capítulo 4.

Para acceder al API de Google Maps es necesario usar una librería que permite acceder a la aplicación no disponible en Matlab. Por lo que es necesario realizar un programa usando Python, debido a que este programa si posee una librería que accede a Google Maps.



## Python Client for Google Maps Services

Test failing
Release failing
codecov 89%
pypi package 4.10.0
downloads 1.7k/day
contributors 59

### Description

Use Python? Want to geocode something? Looking for directions? Maybe matrices of directions? This library brings the Google Maps Platform Web Services to your Python application.

The Python Client for Google Maps Services is a Python Client library for the following Google Maps APIs:

- Directions API
- Distance Matrix API
- Elevation API
- Geocoding API
- Geolocation API
- Time Zone API
- Roads API
- Places API
- Maps Static API

Figura 6.1: Librerías de Python para Matlab

La librería Google Maps de Python permite ejecutar APIS de Google Maps. De las que se usaran:

**Directions API:** Que genera una ruta de conducción entre dos puntos geográficos.

**Elevation API:** Genera un perfil de alturas a lo largo de una ruta generada entre dos puntos.

API de Directions

Obtén instrucciones sobre cómo llegar de un lugar a otro, en automóvil, en bicicleta, en transporte público o a pie.

Documentación de la API de Directions de la B

Figura 6.2: Librerías de Python para Matlab

La API de elevación es una herramienta que permite obtener datos de elevación para cualquier ubicación en la tierra, incluyendo en el fondo del océano. También

permite obtener datos de elevación para rutas específicas, lo que es útil para calcular cambios de elevación en caminatas o viajes en bicicleta.

Si la ubicación exacta no está disponible, la API interpola un valor promedio a partir de las cuatro ubicaciones más cercanas. Los valores de elevación se expresan en relación al nivel medio local del mar.

Para acceder a la API, se utiliza una interfaz HTTP o se puede acceder directamente a través del objeto de la API de JavaScript de Maps. Esta herramienta es útil para desarrollar aplicaciones de senderismo, ciclismo y topografía de baja resolución.

En Python usando estas librerías más las ecuaciones de potencia requerida para mover un vehículo, la potencia eléctrica consumida al acelerar, es posible generar un algoritmo que determina la autonomía del vehículo eléctrico.

Debido a que es necesario usar un ciclo de conducción que describa las velocidades y aceleraciones del vehículo. Se usan ciclos de conducción estandarizados y empleados en ensayos de conducción para determinar la autonomía de vehículos eléctricos.

Para acceder a este programa usando Matlab, existen funciones que tiene por defecto el lenguaje de programación que permite ejecutar códigos creados en lenguajes diferentes. Una vez se tiene el programa funcionando en Matlab se procede a crear una interfaz gráfica usando App Designer para poder ejecutar el programa de una manera amigable con el usuario.

## 6.2. Procedimiento

Para crear el programa en Python que permite obtener los datos de elevación de la ruta se realiza lo siguiente:

- 1. Registrar y obtener las credenciales de la API de Google Maps desde la consola de desarrolladores de Google.
- 2. Importar las librerías necesarias, tal como la librería de Google Maps para acceder a la API de Google Maps a través de Matlab y realizar los cálculos mostrados en el capítulo 4.
- 3. Definir una función para obtener la distancia y una ruta de conducción entre dos ubicaciones utilizando la API de Google Maps. Esta función puede tomar como argumentos las coordenadas de la ubicación inicial y final.

- 4. Definir otra función que obtenga el perfil de altura a lo largo de toda la ruta establecida con la API de Google Maps. Se usan las mismas coordenadas definidas en el paso anterior.
- 5. Se combinan las dos funciones y se exporta los resultados, de tal manera que se pueda acceder a ellos desde Matlab.

Para acceder al código en MATLAB y utilizarlo en una interfaz gráfica de usuario (GUI) creada en App Designer, se siguen los siguientes pasos:

- 1. Se crea un nuevo archivo de script en Matlab. Realizar el procedimiento requerido para poder compilar códigos creados en Python en el programa de Matlab instalado.
- 2. Importar los datos generados con Google Maps y Python en forma de vectores para realizar los cálculos necesarios.
- 3. Ingresar las propiedades físicas, mecánicas y eléctricas necesarias para realizar los cálculos requeridos.
- 4. Agregar los ciclos de conducción necesarios para obtener los valores de velocidad, aceleración y tiempo de ejecución del ciclo.
- 5. Definir otra función para medir la potencia mecánica necesaria para mover el vehículo a una velocidad cualquiera. Esta función tiene como argumentos la masa del vehículo, la velocidad y el coeficiente de resistencia aerodinámica.
- 6. Definir una tercera función para medir la potencia eléctrica necesaria para mover el vehículo a una velocidad dada. Esta función puede tener como argumentos la velocidad y la eficiencia del motor eléctrico.
- 7. Combinar las funciones anteriores para calcular la autonomía del vehículo. Esta función tiene como argumentos la masa del vehículo, la velocidad, las coordenadas de la ubicación inicial y final, y las credenciales de la API de Google Maps.
- 8. Se crea una nueva aplicación en App Designer en MATLAB.
- 9. En App Designer, se agregan los elementos de interfaz de usuario necesarios para que los usuarios ingresen los parámetros requeridos por el código.

- 10. Ejecutar la aplicación y se prueba los resultados.

En la figura 6.3 se observa la interfaz elaborada en Matlab para el calculo de la autonomía de la moto eléctrica.

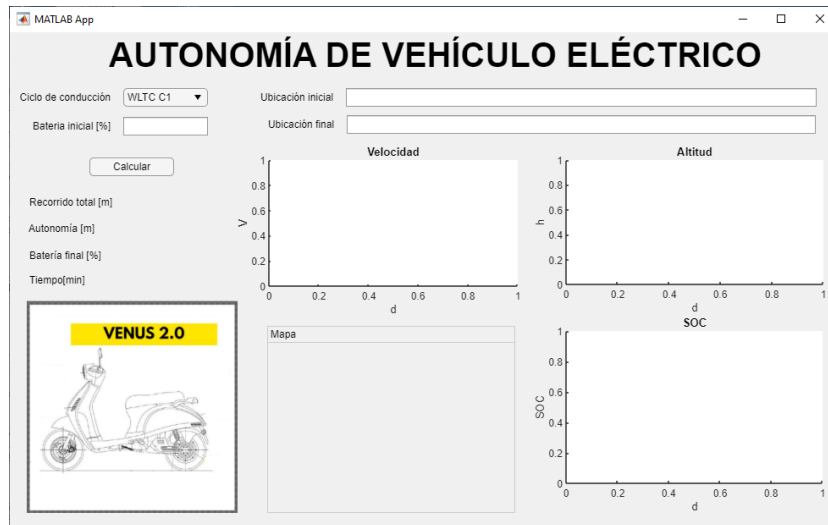


Figura 6.3: Interfaz Matlap

Se observa en la grafica anterior los datos de entrada para realizar el calculo de la autonomía y estado de carga del vehículo eléctrico. Incluye las gráfica de perfil de velocidad, perfil de elevación en la ruta, estado de carga de la batería, autonomía y la ruta generada.

A continuación, se realiza el análisis de las rutas experimentales usando el programa:

### 6.3. Ruta 1

Punto A (punto de salida y llegada)	-2.885570037785652, -78.9906379498574
Punto B (punto de retorno)	-2.842547569778251, -78.88590305590286

Tabla 6.1: Puntos de ubicacion de la ruta 1

Ruta obtenida con Matlab y el API de Google Maps:

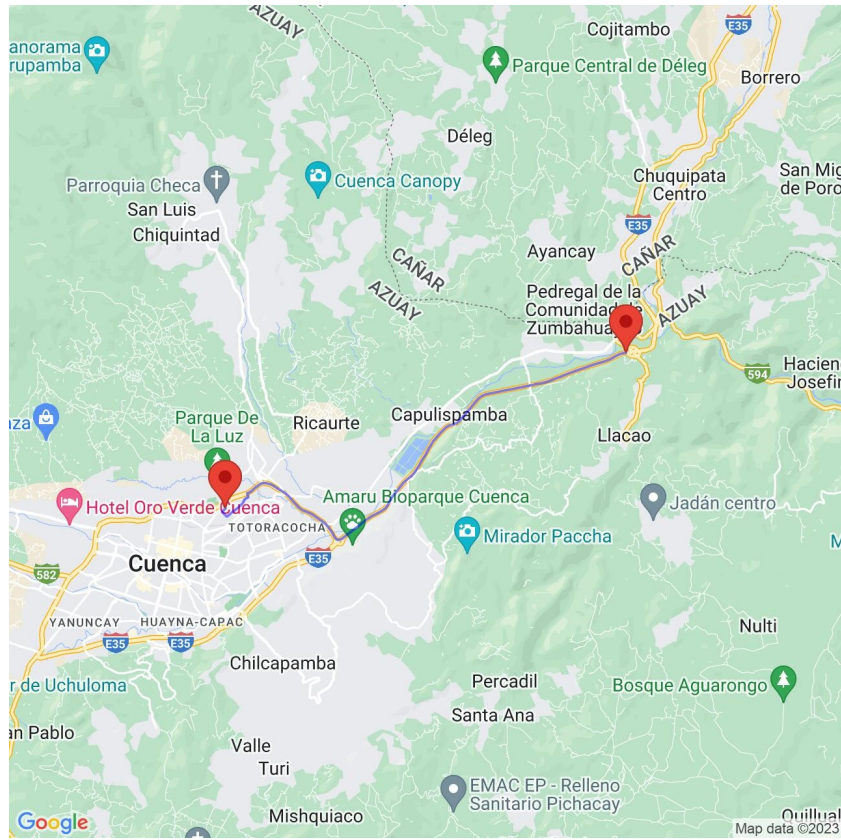


Figura 6.4: Ruta 1 desde Google maps

Usando el programa creado se obtiene los siguientes resultados:

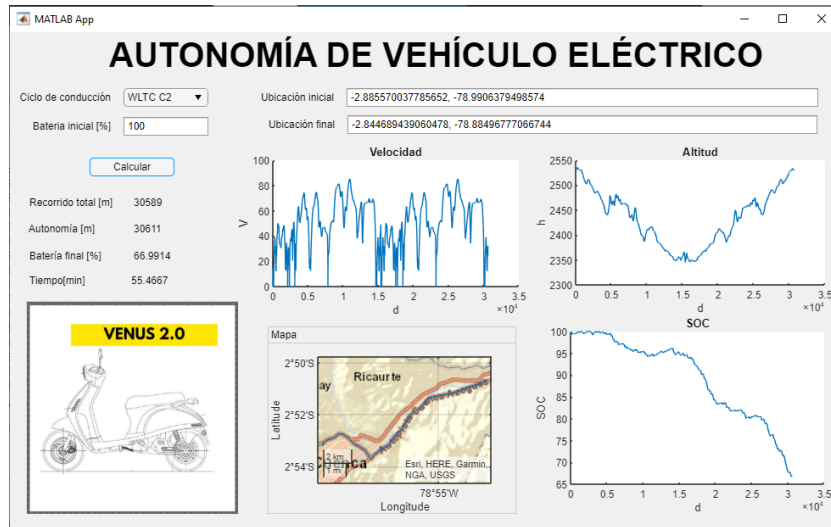


Figura 6.5: Resultados Matlab Ruta 1


Profundidad de descarga calculado (%)	Profundidad de descarga medido (%)
30.87%	

Tabla 6.2: Comparación de valores simulados vs valores calculados

Se tiene que para la primera ruta el porcentaje de batería consumida al manejar la motocicleta es de 30.87 %, mientras que el valor calculado es 31.25 %.

## 6.4. Ruta 2

Punto A (punto de salida y llegada)	-2.885570037785652, -78.9906379498574
Punto B (punto de retorno)	-2.8045549964293057, -79.15743742381858

Tabla 6.3: Puntos de ubicacion de la ruta 2

Ruta obtenida con Matlab y el API de Google Maps:

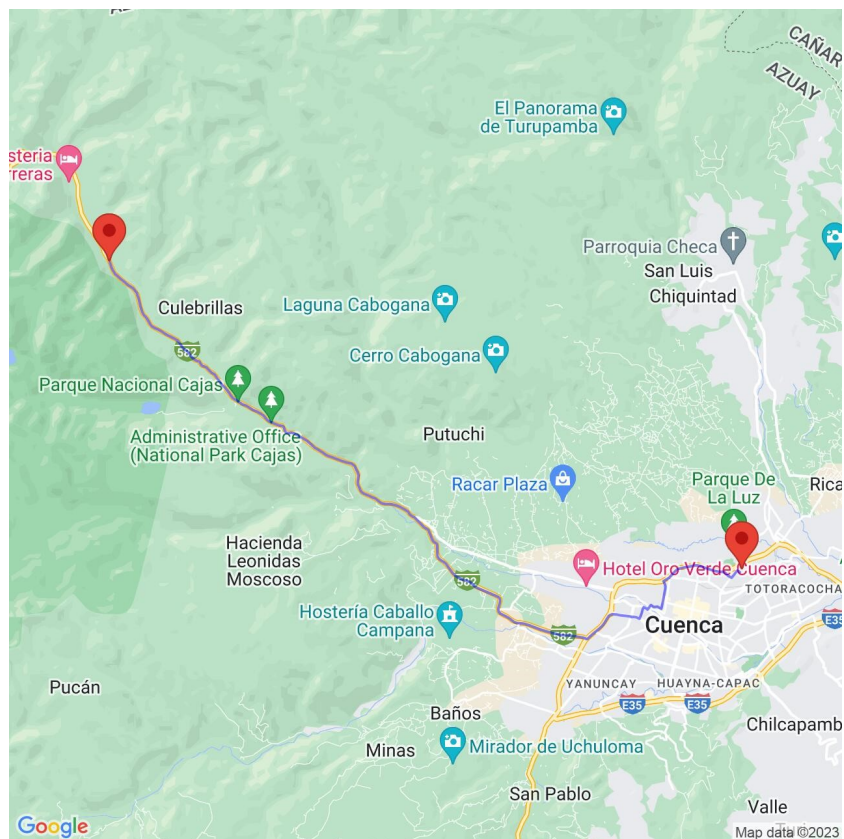


Figura 6.6: Ruta 2 desde Google maps

Usando el programa creado se obtuvieron los siguientes resultados:

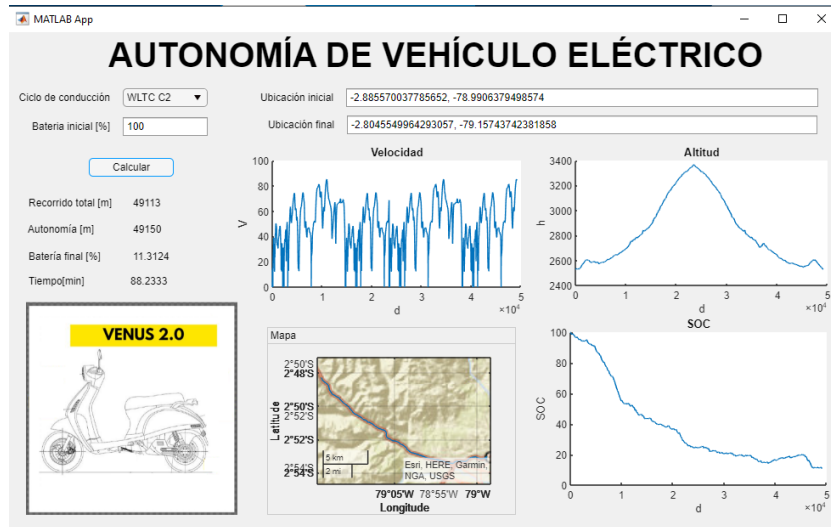


Figura 6.7: Resultados Matlab Ruta 2

Profundidad de descarga calculado (%)	Profundidad de descarga medido (%)
89.16%	

Tabla 6.4: Comparación de valores simulados vs valores calculados

Se tiene que para la segunda ruta el porcentaje de batería consumida al manejar la motocicleta es de 89.16%, mientras que el valor calculado es 88.69%.



## 6.5. Ruta 3

Punto A (punto de salida y llegada)	-2.885570037785652, -78.9906379498574
Punto B (punto de retorno)	-2.9148788332292326, -79.0355095739796

Tabla 6.5: Puntos de ubicacion de la ruta 3

Ruta obtenida con Matlab y el API de Google Maps:

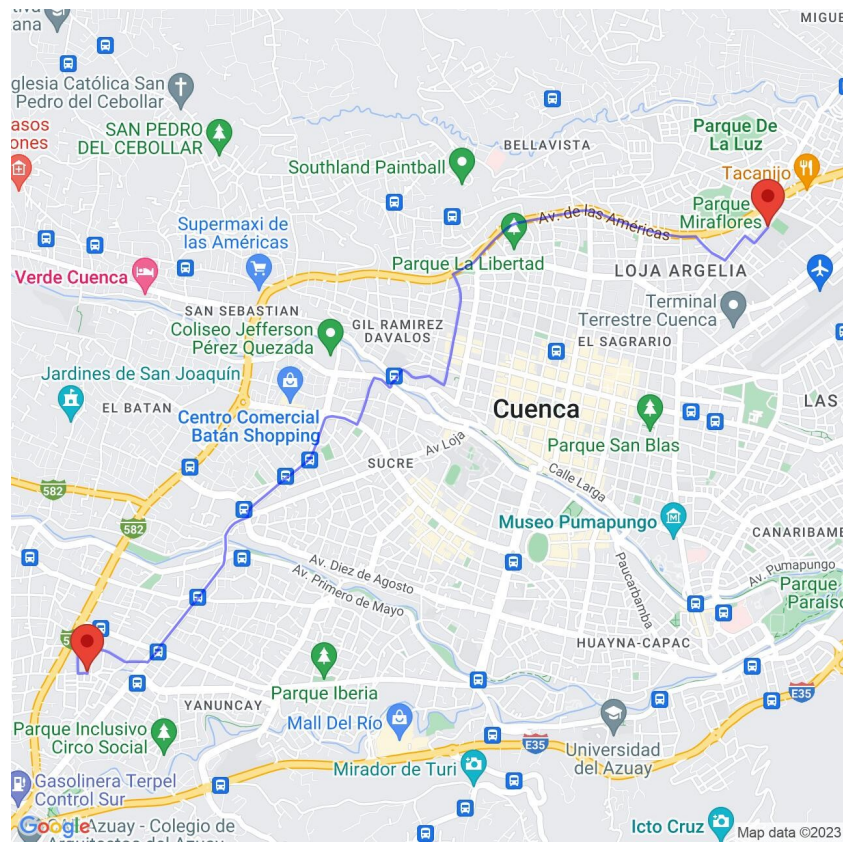


Figura 6.8: Ruta 3 desde Google maps

Usando el programa creado se obtuvieron los siguientes resultados:

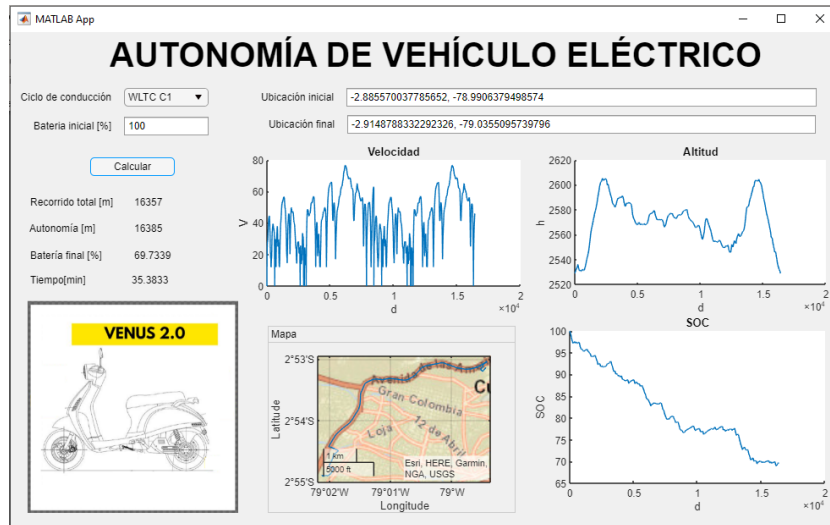


Figura 6.9: Resultados Matlab Ruta 3


Profundidad de descarga calculado (%)	Profundidad de descarga medido (%)
30.27%	

Tabla 6.6: Comparación de valores simulados vs valores calculados

Se tiene que para la segunda ruta el porcentaje de batería consumida al manejar la motocicleta es de 27 %, mientras que el valor calculado es 30.27

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con el programa son similares a los valores medidos, esto indica que el programa tiene una aproximación a la realidad sobre la predicción

de la autonomía del vehículo. Es decir el modelo físico utilizado en el programa desarrollado permite obtener resultados confiables.

También se puede concluir que la profundidad de descarga calculada con el programa coincide con la obtenida durante las pruebas durante las pruebas de conducción en las tres rutas elegidas.

El modelo físico del vehículo eléctrico empleado en el programa desarrollado en Matlab considera todas las pérdidas físicas mecánicas y eléctricas por lo que los resultados de autonomía y estado de carga son semejantes a los obtenidos en las pruebas de conducción.

Aunque los resultados obtenidos con el programa y los valores medidos son similares, es recomendable realizar varias pruebas de conducción en diferentes condiciones para asegurarse de que los resultados sean consistentes. Además, es importante seguir verificando los resultados a lo largo del tiempo para asegurarse de que el vehículo continúe funcionando de manera eficiente y confiable.

# Bibliografía

- [1] D. Chrenko, A. Ravey, R. Roche, and D. Bouquain, “Autonomy estimation for ev based on road planning software,” *2014 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo: Components, Systems, and Power Electronics - From Technology to Business and Public Policy, ITEC 2014*, 7 2014.
- [2] A. Desreveaux, A. Bouscayrol, R. Trigui, and E. Castex, “Automatic driving cycle generator for electric vehicles,” pp. 1–6, 1 2019.
- [3] J. G. Hayes, R. P. R. D. Oliveira, S. Vaughan, and M. G. Egan, “Simplified electric vehicle power train models and range estimation,” *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2011*, 2011.
- [4] F. M. Moreno, “Vehículos eléctricos. historia, estado actual y retos futuros,” *European Scientific Journal*, 2016.
- [5] M. García Ruíz, “Pasado, presente y futuro de vehículos eléctricos,” 2015.
- [6] M. Lillo Sarret, “Diseño de una estación de recarga para vehículos eléctricos móvil y autosuficiente,” B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.
- [7] D. A. Duque Sarmiento and J. A. Rocano Yunga, “Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados,” B.S. thesis, 2018.
- [8] J. Perales García *et al.*, “Diseño de una bicicleta eléctrica urbana.” 2017.
- [9] G. P. Salvador, G. S. Osorio, and J. Francisco, “Modelado de un autobús eléctrico urbano y optimización de la estrategia de carga.”
- [10] N. Bratu Serbán, *Trenes eléctricos*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de . . . , 1991.

- [11] L. I. R. Valera, “Los vehículos eléctricos,” *Obtenido de [https://www.nebrija.com/la\\_universidad/facultad es/facultad](https://www.nebrija.com/la_universidad/facultad_es/facultad)*, 2011.
- [12] R. Bustos, A. R. M. Siddique, T. Cheema, S. A. Gadsden, and S. Mahmud, “State of charge and parameter estimation of electric vehicle batteries,” 5 2018.
- [13] J. TRASHORRAS MONTECELOS, *Vehículos eléctricos*. Ediciones Paraninfo, SA, 2019.
- [14] J. Rocha-Hoyos, L. E. Tipanluisa, S. W. Reina, and C. R. Ayabaca, “Evaluación del sistema de tracción en un vehículo eléctrico biplaza de estructura tubular,” *Información tecnológica*, vol. 28, no. 2, pp. 29–36, 2017.
- [15] L. Reinoso and J. Ortega, “Incremento de la autonomía de un vehículo eléctrico dayang chok-s mediante paneles solares,” *Revista Digital Novasinerгия*, vol. 3, no. 2, pp. 40–46, 2020.
- [16] D. A. Martínez, J. D. Poveda, and D. Montenegro, “Li-ion battery management system based in fuzzy logic for improving electric vehicle autonomy,” *2017 3rd IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications, PEPQA 2017 - Proceedings*, 7 2017.
- [17] L. E. A. Noriega, C. Delgado, M. Pantoja, and A. Pantoja, “Diseño y construcción de una motocicleta eléctrica: una alternativa para el transporte sostenible,” *El Hombre y la Máquina*, no. 45, pp. 88–97, 2014.
- [18] R. D. Molina-Redrobán, E. L. Jiménez-González, and L. A. Chica-Castro, “Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica,” *Domino de las Ciencias*, vol. 5, no. 1, pp. 28–43, 2019.
- [19] “Bmw c evolution,” <https://www.motorbikemag.es/ficha-tecnica/bmw-c-evolution/>, accessed: 3 March 2023.
- [20] “Zero motorcycles - model zero s,” <https://www.zeromotorcycles.com/es-es/model/zero-s/>, accessed: 3 March 2023.
- [21] R. de Motorpasión Moto, “Honda ev-neo: la prueba, valoración y ficha técnica,” <https://www.motorpasionmoto.com/zona-de-pruebas/honda-ev-neo-la-prueba-valoracion-y-ficha-tecnica>, 2011, Último acceso: 3 de marzo de 2023.

- [22] R. de Electromotos, “Vectrix vx1 li: características, especificaciones y precio,” <https://www.electromotos.net/marcas/vectrix/vx1-li/>, 2021, Último acceso: 3 de marzo de 2023.
- [23] D. A. Hernández Vargas and J. D. Rueda Arenas, “Diseño de un sistema de mejora de autonomía para un vehículo eléctrico,” B.S. thesis, Fundación Universidad de América, 2020.
- [24] D. A. Duque Sarmiento and J. A. Rocano Yunga, “Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados,” B.S. thesis, 2018.
- [25] F. Jiménez Alonso, A. Román de Andrés, and J. M. López Martínez, “Determinación de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas,” *Dyna Ingeniería e Industria*, vol. 88, no. 6, pp. 681–688, 2013.
- [26] N. R. E. L. (NREL), “National renewable energy laboratory (nrel),” <https://www.nrel.gov/index.html>, s.f., accedido el 9 de marzo de 2023.
- [27] E. Triana Barreda *et al.*, “Baterías de tracción para vehículos eléctricos,” 2019.
- [28] C. Peña Ordoñez, “Estudio de baterías para vehículos eléctricos,” B.S. thesis, 2011.
- [29] J. A. Martín Moreno *et al.*, “Herramienta de simulación de vehículos eléctricos,” B.S. thesis, 2013.
- [30] T. E. Vehicles. (2018) Bedienungsanleitung venus. [Online]. Available: [https://www.trinity-electric-vehicles.de/bilder/kk\\_dropper\\_uploads/6\\_Bedienungsanleitung\\_VENUS.pdf](https://www.trinity-electric-vehicles.de/bilder/kk_dropper_uploads/6_Bedienungsanleitung_VENUS.pdf)

## ANEXOS



Figura 6.10: Anexo 1



Figura 6.11: Anexo 3



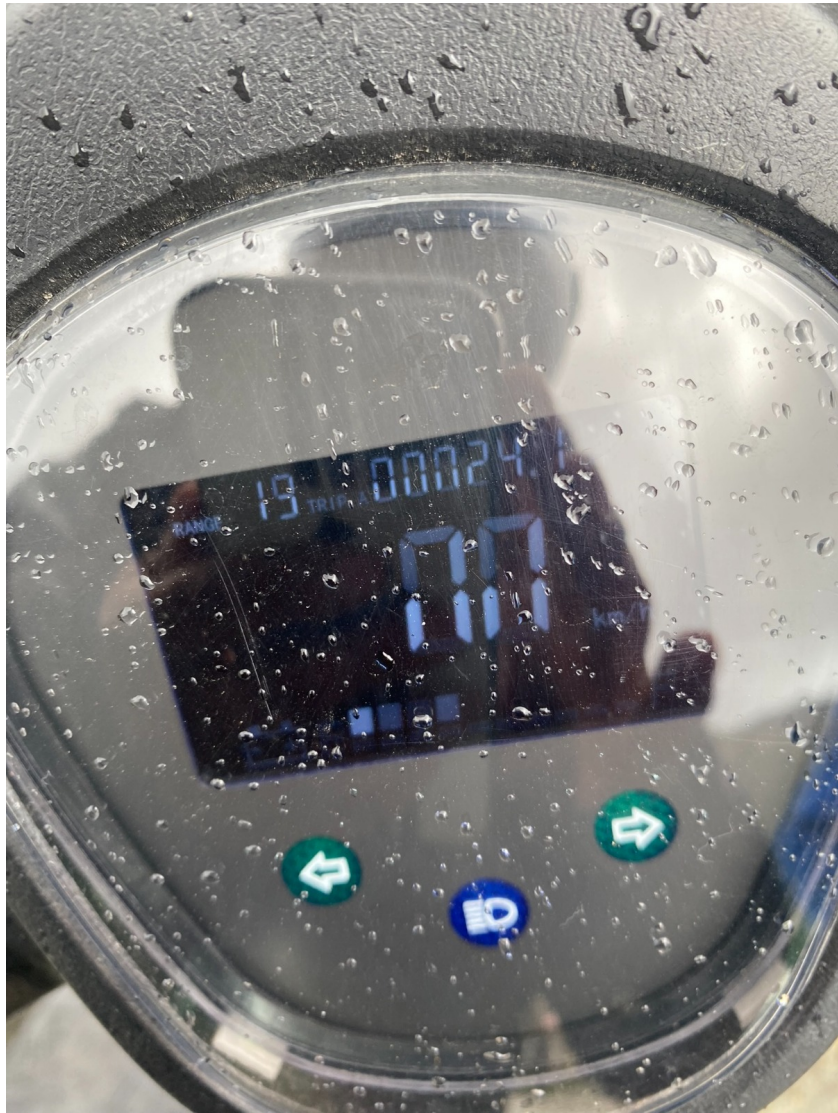


Figura 6.12: Anexo 3