



DOI: [10.23857/dc.v9i3.3494](https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3494)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

***Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción***

***Determination of the autonomy of the electric vehicle and its control system in the city of Ambato through the analysis of minimum weighted differences in real driving cycles***

***Determinação da autonomia do veículo elétrico e seu sistema de controle na cidade de Ambato através da análise de diferenças mínimas ponderadas em ciclos reais de condução***

Ángel José Quevedo-Ríos<sup>I</sup>  
[angel.quevedo@esepoch.edu.ec](mailto:angel.quevedo@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-2304-018X>

Fabián Celso Gunsha-Maji<sup>II</sup>  
[fabian.gunsha@esepoch.edu.ec](mailto:fabian.gunsha@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-5637-1052>

Calozuma Ricky Jhomar Calozuma-Apolo<sup>III</sup>  
[jhomarca69@gmail.com](mailto:jhomarca69@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0001-0450-0761>

Anthony Daniel Toscano-Cayo<sup>IV</sup>  
[danieltoscano028@gmail.com](mailto:danieltoscano028@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0003-2570-715X>

**Correspondencia:** [angel.quevedo@esepoch.edu.ec](mailto:angel.quevedo@esepoch.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de junio de 2023 \***Aceptado:** 15 de julio de 2023 \* **Publicado:** 10 de agosto de 2023

- I. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Investigadores Independientes, Ecuador.
- IV. Investigadores Independientes, Ecuador.

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

---

## Resumen

El presente trabajo de investigación determina la autonomía real del vehículo eléctrico creando ciclos de conducción en tres rutas diferentes de la ciudad de Ambato, además se toma en cuenta el perfil de altitud y el estilo de conducción, para calcular la demanda de energía consumida, el cálculo del freno regenerativo y el kilometraje alcanzado en cada ruta. La selección de la metodología para establecer el ciclo típico de conducción se lo realizó mediante un análisis de estudios realizados en las diferentes ciudades del Ecuador para establecer el ciclo de conducción, posteriormente se realizaron 9 viajes en la ruta 1, 4 viajes en la ruta 2 y 6 viajes en la ruta 3 que cubren la zona urbana y rural de la ciudad de Ambato, para obtener los parámetros necesarios en cada viaje para establecer el ciclo típico de conducción en cada ruta, mediante el método de mínimas diferencias ponderadas, para después proceder al cálculo de la autonomía, donde se establece las eficiencias del tren motriz del vehículo eléctrico, para encontrar la energía aprovechada del freno regenerativo que es aprovechada en un vehículo eléctrico y el kilometraje alcanzado.

**Palabras clave:** Ciclo típico de conducción; demanda de energía; rendimiento de energía; autonomía; freno regenerativo.

## Abstract

The present research work determines the real autonomy of the electric vehicle by creating driving cycles on three different routes in the city of Ambato, in addition the altitude profile and driving style are taken into account to calculate the demand for energy consumed, the calculation of the regenerative brake and the mileage achieved on each route. The selection of the methodology to establish the typical driving cycle was carried out through an analysis of studies carried out in the different cities of Ecuador to establish the driving cycle, later 9 trips were made on route 1, 4 trips on route 2 and 6 trips on route 3 that cover the urban and rural area of the city of Ambato, to obtain the necessary parameters for each trip to establish the typical driving cycle on each route, using the method of minimum weighted differences, to then proceed to the calculation of the autonomy, where the efficiencies of the powertrain of the electric vehicle are established, to find the energy used from the regenerative brake that is used in an electric vehicle and the mileage reached.

**Keywords:** Typical driving cycle; energy demand; energy yield; autonomy; regenerative brake.

## Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

---

### Resumo

O presente trabalho de pesquisa determina a autonomia real do veículo elétrico criando ciclos de condução em três rotas diferentes na cidade de Ambato, além disso, o perfil de altitude e o estilo de condução são levados em consideração para calcular a demanda de energia consumida, o cálculo do freio regenerativo e a quilometragem alcançada em cada rota. A seleção da metodologia para estabelecer o ciclo de direção típico foi realizada através da análise de estudos realizados nas diferentes cidades do Equador para estabelecer o ciclo de direção, posteriormente foram feitas 9 viagens na rota 1, 4 viagens na rota 2 e 6 viagens na rota 3 que abrangem a área urbana e rural da cidade de Ambato, obter os parâmetros necessários para cada viagem para estabelecer o ciclo de condução típico em cada rota, usando o método de diferenças mínimas ponderadas, para então proceder ao cálculo da autonomia, onde são estabelecidas as eficiências do powertrain do veículo elétrico, para encontrar a energia usada do freio regenerativo que é usado em um veículo elétrico e a quilometragem alcançada.

**Palavras-chave:** Ciclo típico de condução; demanda energética; rendimento energético; autonomia; freio regenerativo.

### Introducción

Con el aumento de la población y, como resultado, de la movilidad, se han generado problemas como el cambio climático y la degradación del medio ambiente debido a la emisión de gases como el CO<sub>2</sub>, hidrocarburos y NO<sub>x</sub>. Para abordar estos problemas, los planes de protección ambiental se basan en diversas estrategias para reducir estos contaminantes, y una de ellas es la incorporación de vehículos eléctricos. La adopción de vehículos eléctricos es clave para lograr un futuro sostenible y reemplazar gradualmente los vehículos de gasolina y diésel. Esta integración de vehículos eléctricos es fundamental para promover un enfoque ambientalmente consciente y avanzar hacia un planeta más saludable y sostenible a largo plazo [1].

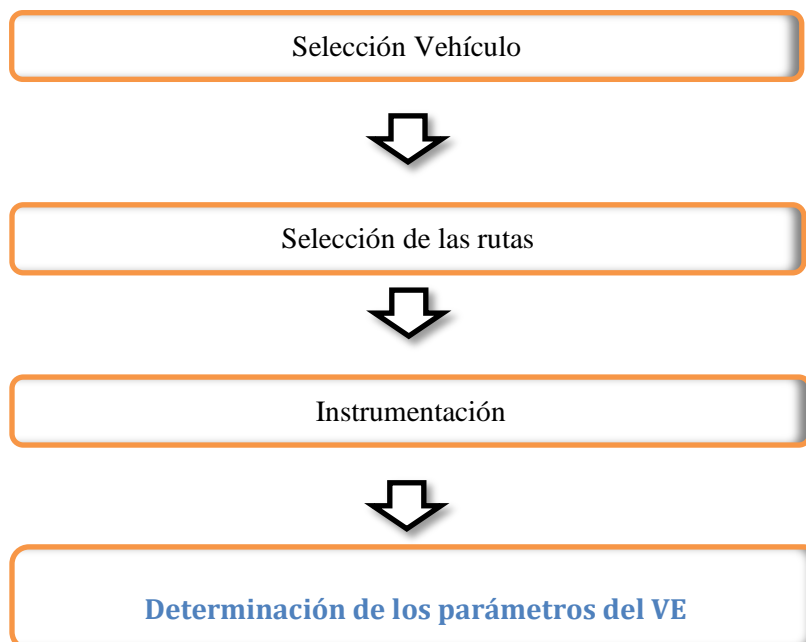
Esta investigación se fundamenta en el funcionamiento del vehículo eléctrico basándose en los ciclos de conducción homologados: NEDC (New European Driving Cycle), WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures), estos ciclos son tomados en cuenta ya que son los más relevantes, además son útiles para determinar los consumos de energía eléctrica del vehículo, teniendo en cuenta la metodología utilizada de mínimas diferencias ponderadas para determinar el ciclo típico.

## Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

El objetivo de esta investigación es examinar la autonomía de un vehículo completamente eléctrico (EV) mediante pruebas experimentales en diferentes rutas y ciclos de conducción. El estudio se enfoca en analizar el comportamiento de los parámetros cinemáticos y funcionales del EV, así como determinar un valor de autonomía y consumo energético específico basado en las condiciones geográficas y de circulación de la ciudad de Ambato. A través de esta investigación, se busca obtener información detallada sobre el rendimiento del EV en términos de distancia recorrida y eficiencia energética en el contexto específico de Ambato, lo cual contribuirá a una mejor comprensión de las capacidades y limitaciones de los vehículos eléctricos en esta área geográfica.

### Calculo Autonomía

En esta sección se detalla el proceso que se llevará a cabo para determinar la autonomía del vehículo eléctrico como se muestra en la figura 1. Entre los pasos están aplicar el método de máximas y mínimas diferencias ponderadas, proponer un procedimiento para seleccionar rutas que abarquen diversas zonas de la ciudad de Ambato, establecer una guía para futuros estudios de vehículos eléctricos en ciudades similares, también se contempla la definición de ciclos de conducción con datos recopilados, la medición del consumo de energía del vehículo y un análisis comparativo entre la autonomía real y la autonomía teórica.





**Determinación de las variables de la autonomía**

*Figura 1. Esquema a seguir para el cálculo de la autonomía*

### Vehículo seleccionado

En la selección del vehículo para este estudio es el DSFK Glory E3, es un vehículo eléctrico tipo SUV figura 2. El rendimiento del automóvil se considera confiable en diversas condiciones de trabajo. Dado que tiene 163 caballos de fuerza y 300 Nm de torque, puede acelerar de 0 a 50 kilómetros en 3,9 segundos. Además, hay tres modos de conducción, Normal/Eco/Sport, que se pueden seleccionar según sea necesario, como se muestra en la Tabla I. Información técnica del manual del propietario del vehículo utilizado.



*Figura 2. Vehículo Glory E3 SUV*

*Tabla I. Ficha técnica*

Motor/Baterías	
Motor	Eléctrico 100%
Potencia máxima	120 Kw
Par máximo	300
Velocidad máxima	160

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

Capacidad de batería	53,61
Autonomía en ciudad	329 km

### Selección de rutas

Estableció 3 rutas, las rutas más representativas en toda la ciudad de Ambato. A continuación, utilizamos los datos de longitud y latitud proporcionados por VBox para mostrar las imágenes obtenidas de Google Earth. Dentro de la asignación de las rutas, surgirán varios parámetros a tomar en cuenta para la selección de las misma como lo son: [2].

- Avenidas principales que crucen la ciudad tanto en sentido Norte-Sur, Este-Oeste y viceversa.
- Rutas que atraviesen y cubran la ciudad.
- Según las rutas con mayor volumen de asignación de tráfico
- Condiciones geográficas
- Pendientes

### Rutas urbanas

Ruta 1 se realizó por varios sectores de la ciudad como: Automekano – Ficoa – Huachi chico – Mercado mayorista – Av. Bolivariana.

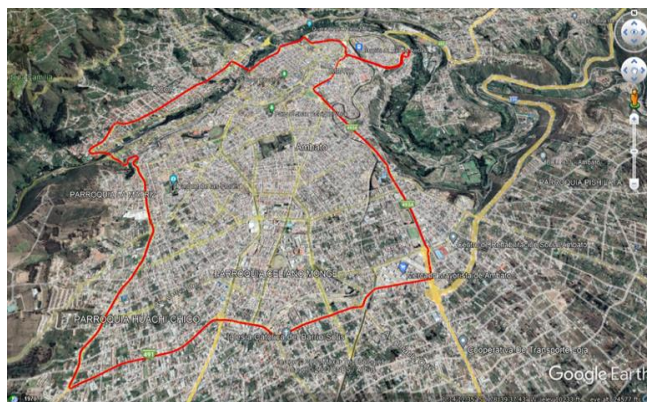


Figura 3. Ruta1; trayecto dentro de la ciudad de Ambato



Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

---

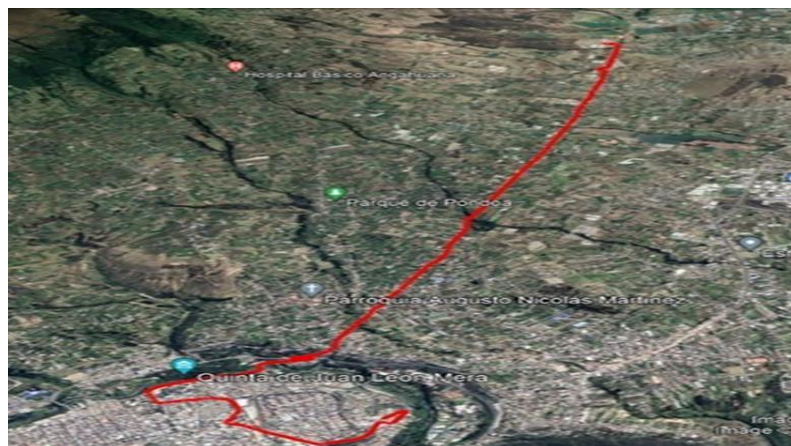
Ruta 3 se realizó en la parte urbana de la ciudad iniciando el ciclo en Automekano continuando por Yahaira, huachi chico y retornando por las mismas calles.



*Figura 4. Ruta 3; trayecto dentro de la ciudad de Ambato*

### Ruta Urbana-Rural

Ruta 2 empezó en la ciudad de Ambato por el sector de Automkano y terminó en CIAUTO



*Figura 5. Ruta 2; trayecto desde Automekano a CIAUTO*

## Instrumentación

Para la instrumentación del vehículo eléctrico tipo SUV se tomar en cuenta dos tipos de dispositivos que son muy importantes para la toma de datos como lo son el VBOX GPS y ELM 327 OBDII.

### VBOX SPORT

Permite analizar inmediatamente el rendimiento al proporcionar acceso inmediato a los datos que necesita para ir más rápido. La duración de la batería de seis horas se adaptará a la mayoría de los vehículos y con solo 130g de peso el dispositivo Vbox Sport no habrá restricciones por su uso [8].



*Figura 6. VBOX GPS*

El dispositivo a su vez es conectado por vía bluetooth y proporciona valores reales cuando el vehículo se pone en movimiento en las rutas establecidas anteriormente.

### ELM 327 OBDII

Para la recolección de datos se utilizó el dispositivo ELM 327 OBD II figura 7, que permite recolectar datos necesarios del recorrido que el vehículo eléctrico realiza en cada ruta [5].



*Figura 7. ELM327 OBDII*



## Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

Los datos necesarios para determinar un ciclo de conducción se obtuvieron utilizando el software Torque Pro, que proporciona datos a una frecuencia de un segundo. El software Torque Pro, que se muestra en la Figura 8, le permite registrar datos en tiempo real sobre el rendimiento del vehículo, como RPM reales del motor, velocidad, aceleración, potencia del motor, lecturas y códigos del vehículo [5].



Figura 8. Software Torque pro

### Determinación de los parámetros del VE

En el siguiente apartado se definen los parámetros del vehículo eléctrico analizado, teniendo en cuenta que actualmente el modo de conducciones, la masa del vehículo que es el peso bruto que hace referencia al peso máximo que soporta el chasis y con dos ocupantes.

- Masa del autobús [ $M$ ]
- Coeficiente de arrastre [ $C_d$ ]
- Coeficiente de resistencia a la rodadura [ $f_r$ ]
- Área frontal del autobús [ $A_f$ ]
- Gravedad [ $g$ ]
- Densidad del aire [ $d$ ]
- Radio dinámico [ $r_d$ ]
- Coeficiente básico [ $f_o$ ]
- Coeficiente de efecto de velocidad [ $f_s$ ]

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

*Tabla III. Parámetros del vehículo eléctrico*

Parámetros del vehículo		Unidades
Masa [ $M$ ]	1975	[Kg]
Coeficiente de arrastre [ $C_d$ ]	0,35	[-]
Coeficiente de rodadura [ $f_r$ ]	0,01	[-]
Área frontal [ $A_f$ ]	2,22	[m <sup>2</sup> ]
Gravedad [ $G$ ]	9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
Densidad del aire [ $\rho$ ]	1,16599485	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Radio dinámico [ $r_d$ ]	0,345303	[m]
Coeficiente básico [ $f_o$ ]	0,01	[-]
Coeficiente de efecto de velocidad [ $f_s$ ]	0,005	[-]

Para la elaboración del ciclo de conducción típico en cada ruta mediante mínimas diferencias ponderadas donde se evalúa los promedios de ponderación y los factores de ponderación, se hace un estudio de las variables que intervienen en la autonomía del VE [3].

## Determinación de las variables de la autonomía del VE

### Modelo de la dinámica longitudinal del vehículo eléctrico

Modelar un vehículo requiere analizar cómo se desplazan a través de una carretera urbana o rural teniendo en cuenta las pendientes y curvas, así también como las fuerzas que actúan sobre el comportamiento del vehículo y establecer un equilibrio entre las fuerzas. Para ello, es necesario identificar y definir las fuerzas que actúan sobre él. Se consideran cuatro fuerzas principales que afectan la dinámica del vehículo. Suponiendo que la masa del vehículo es  $M$ , las fuerzas que inhiben su movimiento son la fricción aerodinámica ( $F_d$ ), la resistencia a la rodadura ( $R_x$ ), la resistencia a la pendiente ( $R_g$ ) y la resistencia de inercia ( $R_i$ ) [4].

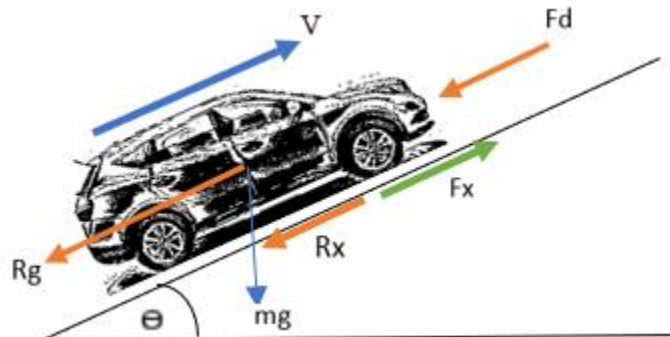


Figura 9. Diagrama de fuerzas que actúan sobre el vehículo eléctrico

A continuación, se describen las fuerzas que se oponen al movimiento como se puede observar en la ecuación (1), y de igual manera se obtienen sus energías para el cálculo del ciclo típico de conducción.

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad (1)$$

Donde;  $F_d$  es la fuerza aerodinámica [N],  $R_x$  es la resistencia a la rodadura [N],  $R_g$  es la resistencia a la pendiente [N] y  $R_i$  es la resistencia de inercia [N].

### Fuerza aerodinámica

Esta resistencia se debe al efecto del aire, por lo que depende en gran medida del tamaño y la forma del automóvil eléctrico, lo que a su vez determina el coeficiente aerodinámico del vehículo. Todos los aspectos que determinan la magnitud de la fuerza aerodinámica se obtienen con la ecuación (2) [4].

$$F_d = \frac{1}{2} \rho * A_f * C_d * V^2 \quad (2)$$

Donde;  $\rho$  es la densidad del aire [ $kg/m^3$ ],  $V$  es la velocidad del vehículo [ $m/s$ ],  $A_f$  es el área frontal del vehículo [ $m^2$ ] y  $C_d$  es el coeficiente de arrastre [-].

### Resistencia a la pendiente

Esta fuerza es por la inclinación del terreno se produce por la resistencia de un componente del peso del vehículo y es aplicada en el centro de gravedad. La resistencia a la pendiente es obtenida con la ecuación (10) [6].

$$R_g = M * G * \sin(\theta) \quad (3)$$

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

---

Donde;  $\theta$  es el ángulo de la pendiente [*rad*] de la carretera,  $M$  es la masa del vehículo [*kg*], y  $G$  es la aceleración de la gravedad [*m/s<sup>2</sup>*].

### Resistencia de inercia

La resistencia de inercia es una fuerza que se opone la variación de velocidad de un cuerpo en movimiento. Esta resistencia de inercia se obtiene con la ecuación (4).

$$R_i = M * a \quad (4)$$

Dónde;  $M$  es la masa del vehículo [*Kg*] y  $a$  es la aceleración [*m/s<sup>2</sup>*].

### Resistencia a la rodadura

La resistencia de la rodadura se produce por la deformación que hay en el neumático del vehículo eléctrico cuando está en contacto con la superficie por la presión que existe entre ellos. La ecuación (5), representa la fuerza de resistencia a la rodadura [4].

$$R_x = C_r * M * G * \cos(\theta) \quad (5)$$

Donde;  $C_r$  es el coeficiente de rodadura [*N*],  $M$  es la masa del vehículo [*Kg*],  $G$  es la Gravedad [*m/s<sup>2</sup>*]

y  $\theta$  es el ángulo de la pendiente [*rad*] de la carretera.

Las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) permiten determinar la dinámica longitudinal del vehículo y calcular variables tales como la fuerza [*N*], el torque [*N.m*], la potencia [*kW*] y energía en rueda [*kW.h*]. El torque en rueda ( $T_x$ ) se determinó con la ecuación (6), la potencia en rueda ( $P_x$ ) con la ecuación (7) y la energía en rueda ( $E_x$ ) con la ecuación (8) [4].

$$T_x = F_x * r_d \quad (6)$$

$$P_x = F_x * \frac{V}{1000} \quad (7)$$

$$E_x = P_x * \Delta_t \quad (8)$$

Donde; ( $r_d$ ) es el radio dinámico de las ruedas [*m*],  $V$  la velocidad del vehículo [*m/s*] y ( $\Delta_t$ ) es la variación de tiempo [*s*].

Con los parámetros obtenidos se determina la Energía de la fuerza aerodinámica ( $E_{Fd}$ ), Energía de resistencia rodadura ( $E_{Rx}$ ), Energía de resistencia a la pendiente ( $E_{Rg}$ ), Energía de

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

resistencia de inercia ( $E_{Ri}$ ), y la Energía Total  $E_T$ , estas energías obtenidas permiten obtener el ciclo típico de cada una de las rutas [4].

$$E_{Fd} = P_{Fd} * \Delta_t \tag{9}$$

$$E_{Rx} = P_{Rx} * \Delta_t \tag{10}$$

$$E_{Rg} = P_{Rg} * \Delta_t \tag{11}$$

$$E_{Ri} = P_{Ri} * \Delta_t \tag{12}$$

$$E_T = E_{Fd} + E_{Rx} + E_{Rg} + E_{Ri} \tag{13}$$

En la tabla 3, tabla 4 y tabla 5 se muestran los porcentajes de energías demandadas en cada viaje que se realizó en la ruta 1, ruta 2 y ruta del vehículo eléctrico, utilizando el método de las mínimas diferencias ponderadas se determinó que el viaje número 5 de la ruta 1, el viaje número 3 de la ruta 2 y el viaje número 5 de la ruta 3 representan el ciclo típico de conducción.

Tabla III. Energías demandadas en cada viaje de la ruta 1

ANALISIS DE LOS CICLOS						
Número de viajes	Energía Fd	Energía Rx	Energía Rg	Energía Ri	Total Energía	Sumatoria
[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
1	2,94	10,66	45,65	40,75	100	1,17
2	2,95	10,95	43,72	42,38	100	2,76
3	2,93	10,87	51,11	35,09	100	3,76
4	2,86	11,14	49,42	36,57	100	2,40
5	3,17	10,46	46,21	40,16	100	0,66
6	3,21	10,91	44,60	41,27	100	1,91

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

7	2,77	10,32	45,37	41,54	0	10	1,58
8	2,18	8,86	59,17	29,78	0	10	9,77
9	2,43	8,28	39,35	49,94	0	10	7,97

Tabla IV. Energías demandadas en cada viaje de la ruta 2

<b>ANALISIS DE LOS CICLOS</b>							
<i>Número de viajes</i>	<i>Energía Fd</i>	<i>Energía Rx</i>	<i>Energía Rg</i>	<i>Energía Ri</i>	<i>Total Energía</i>	<i>Sumatoria</i>	
[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	
1	4,00	9,48	44,79	41,74	0	10	0,78
2	3,81	9,54	50,24	36,41	0	10	5,49
3	3,95	8,88	44,24	42,93	0	10	0,05
4	4,19	7,91	37,56	50,34	0	10	6,25

Tabla V. Energías demandadas en cada viaje de la ruta 3

<b>ANALISIS DE LOS CICLOS</b>							
<i>Número de viajes</i>	<i>Energía Fd</i>	<i>Energía Rx</i>	<i>Energía Rg</i>	<i>Energía Ri</i>	<i>Total Energía</i>	<i>Sumatoria</i>	
[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	
1	1,40	7,47	60,32	30,82	0	10	2,59
2	1,94	9,97	50,45	37,63	0	10	5,52



Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

3	1,96	8,77	53,33	35,94	0	10	3,22
4	1,56	6,58	61,25	30,60	0	10	3,26
5	1,43	7,60	55,94	35,04	0	10	1,39
6	1,39	7,37	62,15	29,09	0	10	4,22

### Variables para el cálculo de la autonomía

Para el cálculo de la autonomía  $A$  como se observa en la ecuación (14) como es el  $KmR$  como freno regenerativo en [km] y el  $KmA$  kilometraje alcanzado en [km].

$$A = KmA + KmR \quad (14)$$

### Kilometraje alcanzado

El kilometraje alcanzado se obtiene de la ecuación (15) que nos da a entender cuál fue el recorrido del vehículo eléctrico en ruta teniendo en cuenta la energía nominal que nos da el fabricante, la eficiencia de la batería y el rendimiento.

$$Km A = \frac{(E.nominal * E.bateria)}{R} \quad (15)$$

Dónde;  $E.nominal$  es la energía nominal en [kWh],  $E.bateria$  es la eficiencia de la batería en [%] y  $R$  el Rendimiento en [kWh/Km].

### Kilometraje regenerativo

El kilometraje regenerativo se obtiene de la ecuación (16) que consiste en reducir la velocidad del vehículo eléctrico, para transformar la energía cinética en energía eléctrica y se pueda aprovechar más adelante [7].

$$Km R = \frac{E.regenerativa\ del\ ciclo}{R} \quad (16)$$

Dónde;  $R$  es el Rendimiento en [kWh/Km],  $E. regenerativa\ del\ ciclo$  es la Energía regenerativa del ciclo [kWh].

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

## Resultados y Discusión

### Resultados obtenidos en rueda de cada ruta

Los resultados obtenidos son todos los cálculos realizados en el ciclo típico de conducción de cada ruta, para obtener los parámetros que se muestran en la tabla VI que indica los valores necesarios para la obtención de la autonomía del vehículo eléctrico.

Tabla IVI. Datos obtenidos en rueda de cada ruta

Parámetros	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Unidad
Distancia total	19,58	25,05	13,39	[Km]
Velocidad. máx.	59,37	90,64	56,71	[Km/h]
Velocidad. promedio	28,39	36,00	19,93	[Km/h]
Aceleración. máx.	2,51	3,61	3,54	[m/s <sup>2</sup> ]
Aceleración. min.	-3,14	-3,52	-4,31	[m/s <sup>2</sup> ]
Tiempo total	2482	2629,00	2418,00	[s]
Potencia máx.	64,29	99,01	80,92	[kW]
Torque máx.	6066,17	6408,72	6816,22	[Nm]
Energía positiva total	4,58	7,63	3,89	[kWh]
Energía negativa total	-3,10	-5,54	-3,13	[kWh]
% Regeneración	-68,48	-73,50	-80,79	[%]
% EV Rendimiento	0,24	0,31	0,29	[kWh/Km]
% EV Detenido	0	0	0	[%]
% EV Velocidad constante	0,28	0,27	0,41	[%]
% EV Aceleración	51,87	51,03	49,61	[%]
% EV Desaceleración	47,85	48,71	49,98	[%]
TOTAL:	100	100	100	[%]

### Obtención del ciclo real de conducción ruta 1

La tabla III del ciclo típico de conducción (viaje 5), con una duración de tiempo recorrido de aproximadamente 41 minutos, distancia de 19.58 km, velocidad promedio de 28.39 km/h, la velocidad máxima de 59.37 km/h y con una mínima diferencia de 0,66 la cual fue menor con respecto a los demás viajes.

En la figura 10, se muestra el perfil de velocidades que corresponden al ciclo típico de conducción y su cambio de altitud del vehículo eléctrico recorriendo la ruta 1.

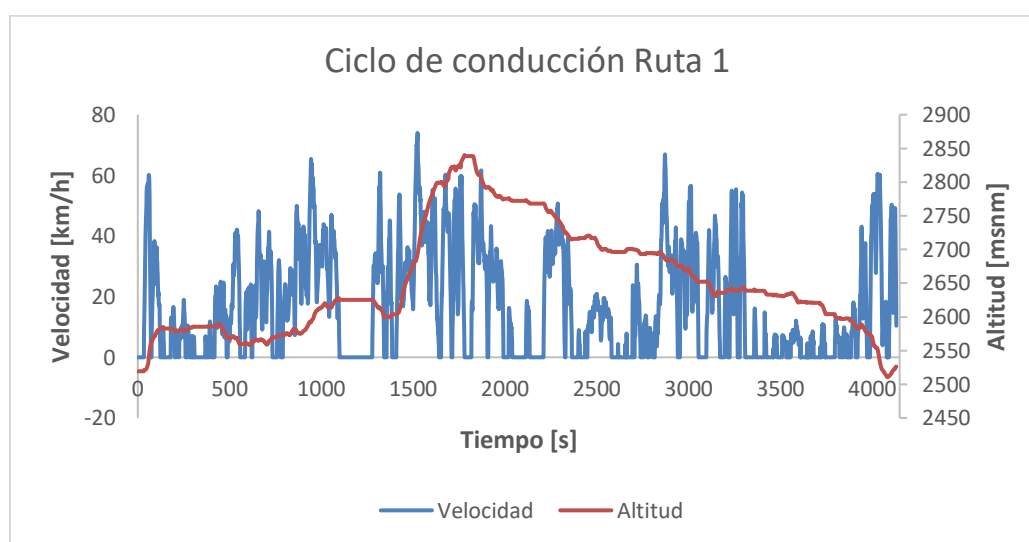


Figura 10. Ciclo de conducción y altitud del EV en la ruta 1 establecida en la ciudad de Ambato

### Obtención del ciclo real de conducción ruta 2

La tabla IV del ciclo típico de conducción (viaje 3), con una duración de tiempo recorrido de aproximadamente 45 minutos, distancia de 25.05 km, velocidad promedio de 36 km/h, la velocidad máxima de 90.64 km/h y con una mínima diferencia de 0,05 la cual fue menor con respecto a los demás viajes.

En la figura 11, muestra el perfil de velocidades que corresponden al ciclo típico de conducción y su cambio de altitud del vehículo eléctrico recorriendo la ruta 2.

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

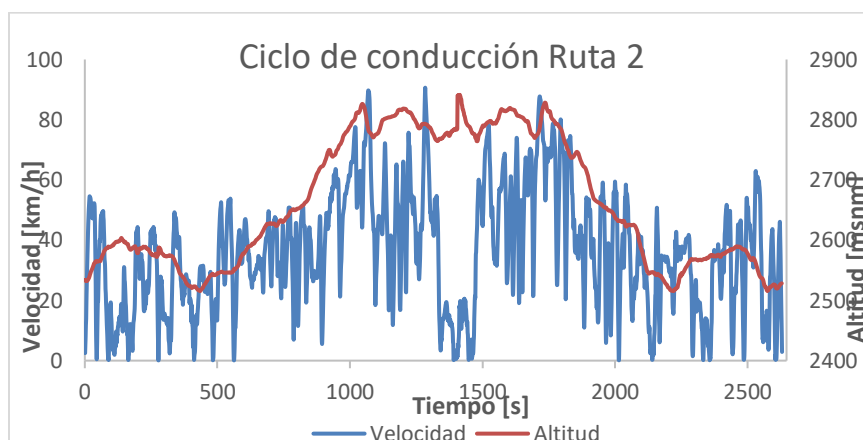


Figura 11. Ciclo de conducción y altitud del EV en la ruta 1 establecida en la ciudad de Ambato

### Obtención del ciclo real de conducción ruta 3

La tabla V del ciclo típico de conducción (viaje 5), con una duración de tiempo recorrido de aproximadamente 40 minutos, distancia de 13,39 km, velocidad promedio de 19,93 km/h, la velocidad máxima de 56.71 km/h y con una mínima diferencia de 1,39 la cual fue menor con respecto a los demás viajes.

En la figura 12, muestra el perfil de velocidades que corresponden al ciclo típico de conducción y su cambio de altitud del vehículo eléctrico recorriendo la ruta 3.

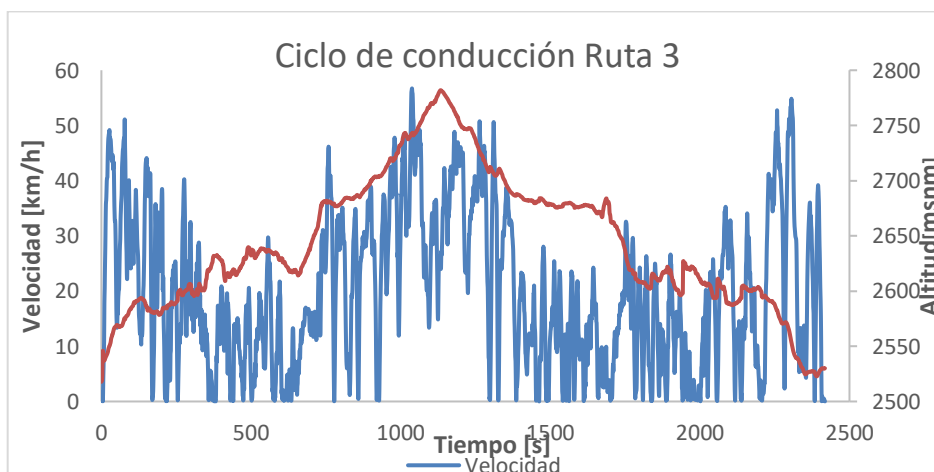


Figura 12. Ciclo de conducción y altitud del EV en la ruta 1 establecida en la ciudad de Ambato

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

### Obtención de la autonomía del EV

Para el cálculo de la autonomía se considera los siguientes parámetros las eficiencias del motor eléctrico, transmisión, inversor y batería [9].

*Tabla VII. Eficiencias del Tren motriz*

EFICIENCIAS		
Eficiencia de batería	95	[%]
Eficiencia de inversor	94	[%]
Eficiencia de motor eléctrico	97	[%]
Eficiencia de transmisión	98	[%]

El cálculo de la autonomía se detalla en la ecuación (14), con aspectos importantes como: Kilometraje alcanzado ecuación (15), kilometraje regenerativo ecuación (16) para obtener los parámetros de la tabla VIII considerando importantes el kilometraje total y el promedio de autonomía de las rutas.

*Tabla VIII. Obtención de la autonomía en las rutas establecidas.*

Cálculo de autonomía				
Parámetros	Ruta			Unidad
	1	2	3	
Energía negativa total	-3,10	-5,54	-3,13	[%]
Rendimiento	0,24	0,31	0,29	[kWh/Km]
Energía nominal	53,61	53,61	53,61	[kWh]
Energía regenerativa del ciclo	2,63	4,70	2,66	[kWh]
Kilometraje alcanzado	214,9	165,1	174,3	[Km]
Kilometraje regenerativo	11,10	15,24	9,10	[Km]
Kilometraje total o autonomía	226,0	180,3	183,4	[Km]

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

Promedio de autonomía de las rutas	197	[Km]
------------------------------------	-----	------

### Comparativa entre la autonomía real y la teórica

El estudio realiza una comparación entre la autonomía calculada y la autonomía indicada por el fabricante del vehículo. Después de obtener los cálculos de autonomía en diferentes rutas típicas, se determinó un promedio de 197 km de autonomía en la ciudad de Ambato, mientras que la autonomía indicada por el fabricante fue de 405 km, tal como se muestra en la siguiente tabla IX.

*Tabla IX. Comparativa entre la autonomía calculada y la indicada por el fabricante*

Comparación entre la autonomía calculada y la autonomía indicada por el fabricante			
Parámetro	Calculada en la ciudad de Ambato	Indicada por el fabricante del automóvil	Unidad
Autonomía	197	405	Km

Los resultados revelaron diferencias significativas entre la autonomía calculada y la autonomía indicada por el fabricante. Estas discrepancias pueden atribuirse a factores como las condiciones climáticas, el estilo de conducción, la carga adicional en el vehículo y la geografía de la ciudad.

Además, es importante destacar que la autonomía indicada por el fabricante se determinó utilizando el ciclo NEDC, el cual está discontinuado y no refleja las condiciones normales de uso diario de un vehículo. Además, este ciclo se realiza a una altura constante y no considera la resistencia a pendientes, que implica menos esfuerzo para el automóvil y, por ende, una mayor distancia recorrida con una sola carga.

### Conclusiones

El uso del Google Earth permite identificar las rutas con mayor flujo vehicular en diferentes horarios y la considerable variación de altitud que simule la movilidad urbana de los vehículos, con esta información se establecieron 3 rutas para los ciclos típicos de conducción.



Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

---

- Considerando el ciclo típico de conducción de la metodología de las mínimas diferencias ponderadas determino que las rutas recorridas por el vehículo eléctrico de adecuado factor para el análisis son la ruta 1 del viaje 5 con una mínima diferencia de 0.66, para la ruta 2 el viaje 3 cuya mínima diferencia es de 0.05 y para la ruta 3 el viaje 5 con una mínima diferencia de 1.39.
- Los resultados muestran una autonomía real para el vehículo eléctrico de 226.05 km en la ruta 1, en la ruta 2 de 180.35 km y en la ruta 3 de 183.44 km, equipado con una batería de 53.61 kWh considerando que la ruta 2 tiene mayor consumo de energía debido a la resistencia de la pendiente de 44.24 % por ende tiene un menor kilometraje alcanzado.
- El promedio de la autonomía calculada en ciclos reales de conducción de las 3 rutas que fue de 197 Km y la autonomía indicada por el fabricante de 400 Km en ciclos NEDC. Los resultados revelaron discrepancias significativas entre ambas mediciones, que resalta la necesidad de considerar condiciones de conducción reales al evaluar la autonomía de los vehículos eléctricos. Esta comparación proporciona una visión más completa y precisa del rendimiento de estos automóviles, que resulta esencial para fabricantes, usuarios y otros interesados en la adopción y comercialización de vehículos eléctricos porque proporcionan una comprensión más precisa de las limitaciones y las expectativas reales en términos de alcance y eficiencia energética.

## Referencias

- C. M. Bueno Juela and J. C. Quizhpe Sinchire, “Determinación de la autonomía real del vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca mediante análisis experimental, ” Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2017.
- P. S. Llanos Pérez and C. O. Shinchí Quito, “Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- D. S. Davalos Figueroa, “OBTENCIÓN DE UN CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN PARA LOS VEHÍCULOS DE LA UNIÓN DE TAXISTAS DEL AZUAY,” UNIVERSIDAD DEL AZUAY, 2017.
- E. J. Proaño Paillacho and A. X. Ijujes Tequis, “ANÁLISIS DE LA AUTONOMÍA DE LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO,” UNIVERSIDAD TÉCNICA

Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico y su sistema de control en la ciudad de Ambato mediante el análisis de mínimas diferencias ponderadas en ciclos reales de conducción

---

DEL NORTE, 2022.

F. A. Quito Varas and P. D. Sarango Casanova, “Diseño e implementación de un prototipo IOT de adquisición de datos de OBD-II con monitoreo web server para análisis de detección de fallas,” Universidad Politécnica Salesiana, 2021.

M. A. B. Yunes A. Cengel, Termodinámica, Séptima ed. Mexico, 2005.

A. Emadi, Advanced Electric Drive Vehicles. Ontario, 2014.

A. F. Idrovo Pauta, “Evaluación de un go-kart eléctrico con baterías de Ion-litio y Níquel-Hidruro metálico,”

A. J. Quevedo Ríos, F. C. Gunsha Maji, J. C. Castelo Valdivieso, W. J. Villagrán Cáceres, “Determinación numérica de la demanda de energía en rueda de un autobús de servicio urbano de la ciudad de Riobamba mediante el ciclo real de conducción,”. Polo del Conocimiento, Ecuador, 2022

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).