



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**Propuesta de un modelo para la estimación de consumo  
energético en buses eléctricos considerando características de  
buses convencionales: caso de estudio en un campus  
universitario**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN SISTEMAS DE ENERGÍA**

**Presentada por:**

**Jorge Enrique Valverde Burneo**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2024**

# TRIBUNAL DE TITULACIÓN

---

**Miguel Torres R., Ph.D.**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**Juan Peralta J., Ph.D.**  
**VOCAL**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi profunda gratitud a Dios, quien ha sido mi guía y sostén, otorgándome la fortaleza para superar este desafío. A mi familia, por su amor y apoyo constante, incluso a la distancia. A aquellos de la Dirección de Sostenibilidad, mi segunda familia, por sus valiosos consejos y aliento. A mis educadores a lo largo de la vida y en particular a mis mentores, el PhD. Miguel Torres, PhD. José Córdova, y el PhD. Pritpal Singh, aún en la distancia, por su inestimable dedicación y asistencia en el desarrollo de esta tesis.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

Jorge Enrique Valverde Burneo

## RESUMEN

Este estudio tuvo como finalidad proponer un método para calcular el consumo de energía de buses eléctricos de batería (BEBs), con el fin de determinar la demanda energética necesaria para la infraestructura eléctrica de un campus universitario público ante el reemplazo de buses de combustión interna (ICEBs) por una flota completamente eléctrica. Este enfoque se enmarca en las normativas de eficiencia energética que actualmente se están adoptando en Ecuador.

Se inició con una revisión exhaustiva del estado del arte, abarcando desde investigaciones internacionales hasta nacionales, para identificar los factores que inciden en el consumo energético de los BEBs y las diversas metodologías empleadas para estimarlo. Esta exploración incluyó desde adaptaciones de ciclos de conducción hasta análisis más sofisticados como el *Wheel to Wheel* (WTW), la implementación de modelos progresivos y regresivos, así como simulaciones basadas en modelos físicos y datos. Algunos de estos estudios subrayan los beneficios ambientales de los BEBs, especialmente en áreas con energías renovables, y su capacidad para reducir significativamente el consumo de petróleo y las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con los ICEBs alimentados por diésel. Además, se estableció un marco conceptual y normativo que proporciona una base sólida y completa para el estudio.

Se optó por un enfoque basado en modelos físicos, utilizando ecuaciones que describen el movimiento longitudinal de los vehículos para predecir el consumo energético. Para recabar datos de velocidad y altitud, se aplicó el método de persecución, utilizando un *Data Logger*, específicamente el dispositivo *Freematics One + Model A*. Se realizó cada uno de los recorridos entre paradas consecutivas que comprende la ruta interna del campus para la obtención de datos. A partir de estos datos recopilados, procesados y analizados, se logró caracterizar el perfil de altitud y pendiente de la carretera, así como establecer el ciclo de conducción y el perfil de consumo energético para los diferentes periodos programados del día, registrando un consumo máximo de 3.54 kWh/km. Con base en esta información y otros criterios evaluados, se estimó una demanda energética anual de aproximadamente 139.60 MWh. Al comparar estos resultados con el historial de consumo de los ICEBs, se concluyó que la transición a una flota totalmente eléctrica reduciría el impacto ambiental en un estimado de 91.51%, posicionando a los BEBs como una solución significativamente más sostenible.

## ABSTRACT

This study aimed to propose a method for calculating the energy consumption of battery electric buses (BEBs) to determine the energy demand required by the electrical infrastructure of a public university campus in the event of replacing internal combustion buses (ICEBs) with a completely electric fleet. This approach is aligned with the energy efficiency regulations currently being adopted in Ecuador.

The research began with a comprehensive review of the state of the art, covering both international and national studies, to identify the factors that affect the energy consumption of BEBs and the various methods used to estimate it. This exploration ranged from adaptations of driving cycles to more sophisticated analyses such as Wheel to Wheel (WTW), the implementation of progressive and regressive models, as well as simulations based on physical models and data. Some of these studies highlight the environmental benefits of BEBs, especially in areas with renewable energies, and their ability to significantly reduce oil consumption and CO<sub>2</sub> emissions compared to diesel-fed ICEBs. Furthermore, a conceptual and normative framework was established, providing a solid and comprehensive basis for the study.

A physical model-based approach was chosen, using equations that describe the longitudinal movement of vehicles to predict energy consumption. To gather speed and altitude data, the pursuit method was applied, using a Data Logger, specifically the Freematics One + Model A device. Each of the journeys between consecutive stops that make up the internal campus route was carried out to collect data. From these collected, processed, and analyzed data, the altitude and slope profile of the road was characterized, as well as the driving cycle and the energy consumption profile for the different scheduled periods of the day, recording a maximum consumption of 3.54 kWh/km. Based on this information and other evaluated criteria, an annual energy demand of approximately 139.60 MWh was estimated. Comparing these results with the historical consumption of ICEBs, it was concluded that transitioning to a completely electric fleet would reduce the environmental impact by an estimated 91.51%, positioning BEBs as a significantly more sustainable solution.

**Keywords:** BEBs, Energy Consumption, Public University Campus, ICEBs, Physical Model Simulations, Data Logger

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>7</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>SIMBOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>16</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 <i>Planteamiento del Problema</i> .....	16
1.1.1 Panorama energético nacional .....	16
1.1.2 Legislación en materia de eficiencia energética.....	17
1.1.3 Caso de estudio .....	19
1.2 <i>Justificación</i> .....	20
1.3 <i>Objetivos</i> .....	21
1.3.1 Objetivo general .....	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 <i>Alcance</i> .....	21
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>23</b>
2. MARCO DE REFERENCIA .....	23
2.1 <i>Estado del arte</i> .....	23
2.2 <i>Marco conceptual</i> .....	27
2.2.1 Vehículo eléctrico .....	27
2.2.2 Diferencias entre EVs y ICEVs .....	29
2.2.3 Clasificación vehicular .....	31
2.2.4 Bus urbano.....	32
2.2.5 Transición hacia movilidad eléctrica .....	32
2.2.6 Bus eléctrico.....	33

2.2.7	Parámetros que influyen en el consumo energético de BEBs.....	36
2.2.8	Ciclos de conducción.....	37
2.2.9	Sistema <i>On Board Diagnostics II</i> .....	38
2.2.10	OBD II PIDs.....	39
2.2.11	Métodos para levantar ciclos de conducción .....	40
2.2.12	Modelo físico para estimación de consumo energético.....	42
2.3	<i>Marco legal</i> .....	48
2.3.1	Regulaciones nacionales.....	48
2.3.2	Regulaciones internacionales.....	48
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>49</b>
3.	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b> .....	49
3.1	<i>Flujograma de trabajo</i> .....	49
3.2	<i>Caracterización de la ruta y flota vehicular</i> .....	49
3.2.1	Características de la ruta.....	50
3.2.2	Flota vehicular del campus.....	51
3.3	<i>Selección de método para estimación de consumo energético</i> .....	52
3.4	<i>Identificación de parámetros de consumo energético</i> .....	53
3.5	<i>Selección de métodos para la recolección de datos</i> .....	55
3.5.1	Perfil de altimetría y velocidad.....	55
3.5.2	Caracterización de la carga de pasajeros.....	58
3.6	<i>Tratamiento, almacenamiento y análisis de datos</i> .....	59
3.6.1	Cálculo de la pendiente de la ruta .....	60
3.7	<i>Determinación de ciclo de conducción</i> .....	61
3.7.1	Velocidad máxima .....	61
3.7.2	Velocidad promedio.....	61
3.7.3	Distancia recorrida .....	61
3.7.4	Tiempo de recorrido .....	62
3.7.5	Pendiente máxima.....	62
3.8	<i>Determinación de perfil energético</i> .....	62
3.8.1	Determinación de consumo energético del BEB.....	62
3.8.2	Evaluación de las necesidades energéticas para la carga.....	62
3.9	<i>Evaluación del impacto ambiental</i> .....	63
3.10	<i>Presentación y análisis de resultados</i> .....	63
3.10.1	Perfil de altitud y pendiente de la carretera.....	64
3.10.2	Ciclo de conducción .....	67
3.10.3	Perfil energético .....	70

3.10.4 Necesidades energéticas de infraestructura de carga .....	73
3.10.5 Impacto ambiental .....	74
3.11 <i>Trabajo futuro</i> .....	74
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>76</b>
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	76
4.1 <i>Conclusiones</i> .....	76
4.2 <i>Recomendaciones</i> .....	77
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>89</b>

## ABREVIATURAS

PLANEE	=	Plan Nacional de Eficiencia Energética
MEER	=	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
LOEE	=	Ley Orgánica de Eficiencia Energética
GAD	=	Gobierno Autónomo Descentralizado
RGLOEE	=	Reglamento General de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética
SNEEE	=	Sistema Nacional Estadístico sobre Eficiencia Energética
UNICAMP	=	Universidad Estatal de Campinas
IoT	=	Internet of Things
WTW	=	Wheel to Wheel
BTW	=	Battery to Wheel
MATLAB	=	MATrix LABoratory
EV	=	Electric Vehicle
BEV	=	Battery Electric Vehicle
REHEV	=	Range extended Hybrid Electric Vehicle
EREV	=	Extended-range electric vehicle
HEV	=	Hybrid Electric Vehicle
PHEV	=	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
FCEV	=	Fuel Cell Electric Vehicle
ICE	=	Internal Combustión Engine
ICEV	=	Internal Combustion Engine Vehicle
GEI	=	Gases de Efecto Invernadero
ICEB	=	Internal Combustion Engine Bus
HEB	=	Hybrid Electric Bus
PHEB	=	Plug-in Hybrid Electric Bus
BEB	=	Battery Electric Bus
FCEB	=	Fuel Cell Electric Bus
HVAC	=	Heating Ventilation and Air Conditioning
OBD	=	On Board Diagnostics
DLC	=	Data-Link Conector
PID	=	Parameter ID
SAE	=	Society of Automobile Engineers
CAN	=	Controller Area Network
DTC	=	Diagnostic Trouble Codes
GPS	=	Global Positioning System

## SIMBOLOGÍA

ton	=	toneladas
kg	=	kilogramos
ton CO <sub>2</sub> -eq	=	toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente
h	=	horas
km/h	=	kilometro / hora
km	=	kilometro
min	=	minutos
s	=	segundos
BEP	=	Barriles Equivalentes de Petróleo
ha	=	hectáreas
gal	=	galones
kgal	=	kilogalones
CO	=	monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	=	dióxido de carbono
NO <sub>x</sub>	=	óxidos de nitrógeno
PM	=	material particulado
m	=	metros
Hz	=	hertz
$\frac{m}{s^2}$	=	metros/segundo <sup>2</sup> al cuadrado
kW	=	kilovatio
kWh	=	kilovatio-hora
MWh	=	Megavatio-hora
°	=	grados
°C	=	grados Celsius
°K	=	grados Kelvin
$\frac{kg}{m^3}$	=	kilogramos/metros cúbicos
rad	=	radianes
msnm	=	metros sobre el nivel del mar

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Demanda de energía por sector (%) en Ecuador en 2022. ....	16
Figura 2. Consumo de energía en el sector Transporte en 2021 vs. 2022. ....	17
Figura 3. Consumo de diésel por tipo de vehículo en 2021 vs. 2022. ....	17
Figura 4. Campus público universitario. ....	19
Figura 5. Pilares del laboratorio vivo de movilidad eléctrica de UNICAMP. ....	20
Figura 6. Parámetros que influyen en el consumo de energía de buses eléctricos de batería.....	24
Figura 7. Arquitectura del tren de potencia de los vehículos eléctricos. ....	28
Figura 8. Proceso de combustión de un ICE.....	30
Figura 9. Clasificación vehicular en la subcategoría M3.....	32
Figura 10. Clasificación de EBs. ....	34
Figura 11. Tren de potencia de un BEB. ....	34
Figura 12. Resumen de parámetros que afectan el consumo energético de BEBs. ....	36
Figura 13. Ciclo de conducción para ciudad del Distrito Metropolitano de Quito. ....	38
Figura 14. Ciclo de conducción para ciudad de Cuenca. ....	38
Figura 15. Puerto con conector OBD II en vehículo. ....	39
Figura 16. Diagrama de cuerpo libre de fuerzas actuantes en un BEB. ....	43
Figura 17. Influencia de la velocidad en los coeficientes de oposición al movimiento del vehículo. ....	45
Figura 18. Diagrama de flujo de la metodología del estudio.....	49
Figura 19. Recorridos de la ruta interna del campus. ....	51
Figura 20. Diagrama resumido de modelo seleccionado.....	53
Figura 21. Persecución de vehículo para el registro de datos. ....	55
Figura 22. Dispositivo Freematics ONE + Model A con receptor GPS externo.....	56
Figura 23. Conexión de dispositivo Freematics ONE + Model A en vehículo de persecución.....	57
Figura 24. Recorrido realizado de la ruta interna del campus para la toma de datos. .	64
Figura 25. Recorrido de ruta interna del campus durante periodo 1 (6h30 - 8h00).....	64
Figura 26. Recorrido de ruta interna del campus durante periodo 2 (8h00 - 9h30).....	65

Figura 27. Recorrido de ruta interna del campus durante periodo 3 (9h30 - 16h30)....	65
Figura 28. Recorrido de ruta interna del campus durante periodo 4 (16h30 - 18h00)..	66
Figura 29. Ciclos de conducción de la ruta interna del campus, a) periodo 1 (6h30 - 8h00), b) periodo 2 (8h00 - 9h30), c) periodo 3 (9h30 - 16h30), periodo 4 (16h30 - 18h00).....	68
Figura 30. Perfil energético del BEB en la ruta interna del campus durante el periodo 1. ....	71
Figura 31. Perfil energético del BEB en la ruta interna del campus durante el periodo 2. ....	72
Figura 32. Perfil energético del BEB en la ruta interna del campus durante el periodo 3. ....	72
Figura 33. Perfil energético del BEB en la ruta interna del campus durante el periodo 4. ....	73
Figura 34. Consumo mensual de diésel de los ICEBs que operan en la ruta interna del campus. ....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos de consumo de combustible, expresado en galones-mes. ....	18
Tabla 2. Parámetros de ingreso para modelo de estimación con su variabilidad. ....	25
Tabla 3. Parámetros operacionales del transporte urbano. ....	26
Tabla 4. Clasificación de vehículos eléctricos. ....	28
Tabla 5. Términos y definiciones para vehículos automotores. ....	31
Tabla 6. Algunos BEBs en el mercado mundial. ....	35
Tabla 7. Modos de operación o servicio establecidos por el estándar SAE J1979. ....	39
Tabla 8. PIDs de modo de operación 1 destacables para el estudio. ....	40
Tabla 9. Ventajas y limitaciones de métodos para levantar ciclos de conducción. ....	41
Tabla 10. Recorridos entre paradas en el campus de estudio. ....	50
Tabla 11. Cantidad de vehículos disponibles para cada periodo del día. ....	51
Tabla 12. Datos de los vehículos que comprenden la flota vehicular de la ruta interna del campus. ....	52
Tabla 13. Especificaciones técnicas del BEB usados en el caso de estudio. ....	54
Tabla 14. Parámetros del BEB usados en el caso de estudio. ....	54
Tabla 15. Parámetros constantes utilizados en el modelo. ....	54
Tabla 16. Especificaciones del dispositivo Freematics ONE + Model A. ....	56
Tabla 17. PIDs que se almacenaron del equipo Freematics ONE + Model A. ....	56
Tabla 18. Especificaciones técnicas del vehículo persecutor usado en el caso de estudio. ....	57
Tabla 19. Caracterización de la demanda de pasajeros promedio por periodo del día. .....	58
Tabla 20. Peso promedio aproximado por género. ....	59
Tabla 21. Tabla con formato de almacenamiento de datos de equipo Freematics ONE+. ....	59
Tabla 22. Muestra de datos recopilados de Freematics ONE + Model A. ....	59
Tabla 23. Parámetros clave de ciclo de conducción. ....	61
Tabla 24. Resumen de pendientes y altitudes de cada recorrido por periodos. ....	66
Tabla 25. Parámetros característicos de ciclo de conducción. ....	68

Tabla 26. Energía requerida por un BEB para cada uno de los periodos del día. ....	70
Tabla 27. Estimación de las necesidades energéticas que deberá suplir la infraestructura eléctrica del campus.....	73

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del Problema

#### 1.1.1 Panorama energético nacional

De acuerdo con el Balance Energético Nacional de Ecuador del año 2022, la demanda energética del país presentó un aumento del 21.6%, pasando de 82.2 millones de Barriles Equivalentes de Petróleo (BEP) en 2012 a 99.9 millones de BEP en 2022. Conforme a la tendencia histórica, el sector transporte se destaca como el principal consumidor de energía, manteniendo un valor promedio de 41.9 millones de BEP durante la última década (IIGE, Instituto de Investigación Geológico y Energético, págs. 28-29).

La Figura 1 muestra el porcentaje de participación de cada sector en la demanda energética registrada en 2022, resaltando que el sector transporte representó el 49.1% del total. Este dato respalda la información proporcionada por (IIGE, Instituto de Investigación Geológico y Energético), que indica que, de acuerdo con la tendencia histórica, el sector transporte se mantiene como el principal demandante de energía, con un valor promedio de 41.9 millones de BEP en los últimos diez años.

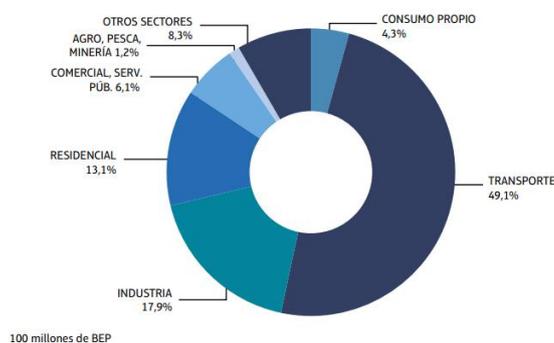


Figura 1. Demanda de energía por sector (%) en Ecuador en 2022.

Fuente(s): (IIGE, Instituto de Investigación Geológico y Energético, págs. 28-29).

Al comparar el Balance Energético Nacional de los años 2021 y 2022, se destaca que el 98.9% y el 98% de la energía utilizada en el sector del transporte provino mayormente de combustibles como el diésel y las gasolinas (IIGE, Instituto de Investigación Geológico y Energético, págs. 30-33) (IIGE, Instituto de Investigación Geológico y Energético, págs. 31-34). Tal como se presenta en la Figura 2, el diésel oil, predominó con una participación del 51.6% en 2021 (alrededor de 23.7 millones de BEP) y del 50.7% en 2022 (aproximadamente 24.8 millones de BEP).

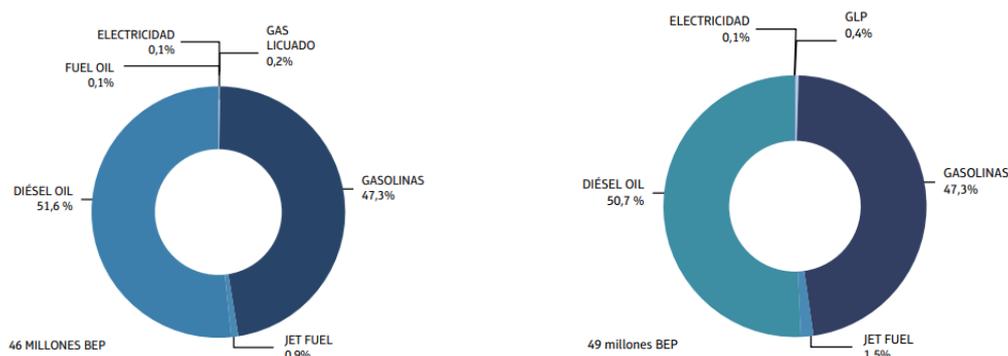


Figura 2. Consumo de energía en el sector Transporte en 2021 vs. 2022.

Fuente(s): (IIGE, Instituto de Investigación Geológica y Energético, pág. 32) (IIGE, Instituto de Investigación Geológica y Energético, pág. 32)

En lo que respecta a vehículos de transporte colectivo, como furgonetas y buses, como se ilustra en la Figura 3, su participación en el consumo total de diésel experimentó un notable incremento, pasando del 6% en 2021 (alrededor de 54.2 millones de galones) al 10.9% en 2022 (aproximadamente 103 millones de galones), lo que señala una tendencia creciente en su demanda de combustible.

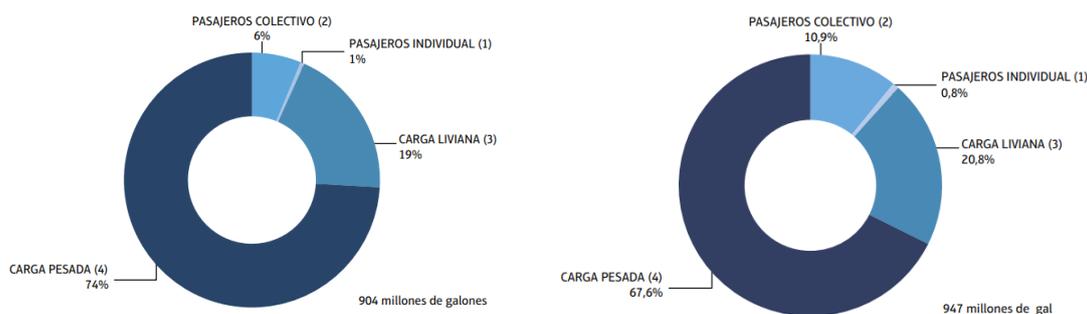


Figura 3. Consumo de diésel por tipo de vehículo en 2021 vs. 2022.

Fuente(s): (IIGE, Instituto de Investigación Geológica y Energético, pág. 34) (IIGE, Instituto de Investigación Geológica y Energético, pág. 34).

### 1.1.2 Legislación en materia de eficiencia energética

El Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE), elaborado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), impulsa estrategias que buscan disminuir las emisiones al medio ambiente al reemplazar gradualmente los combustibles por fuentes energéticas más sostenibles. Durante el periodo de 2016 a 2035, en el PLANEE se ha propuesto reducir la dependencia de los combustibles y las emisiones al medio ambiente. En el sector del transporte, se ha planificado como línea de acción el reemplazar los combustibles actuales por alternativas más limpias, adoptando tecnologías avanzadas que sean más eficientes y respetuosos con el medio ambiente ((BID) & energética).

La Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE), aprobada el 12 de marzo de 2019, tiene como objetivo regular y fomentar el uso responsable de la energía en todas sus formas. Esta legislación cubre tanto actividades públicas como privadas relacionadas con el consumo energético. En su artículo 14, se enfoca en la eficiencia energética en el transporte, especialmente en el transporte público, de carga pesada y logístico,

priorizando el uso de medios eléctricos en la planificación pública (República del Ecuador, Asamblea Nacional, 2019, pág. 6).

De acuerdo con el artículo 14 de la LOEE, se implementará un programa de renovación de vehículos tanto para particulares como para el transporte público, a través de los ministerios correspondientes. Inicialmente, hasta el 10 de enero de 2024, el gobierno tenía la intención de que, a partir de 2025, todos los nuevos vehículos de servicio público en áreas urbanas e interparroquiales de Ecuador debieran ser exclusivamente de propulsión eléctrica (República del Ecuador, Asamblea Nacional, 2019, págs. 6-7).

No obstante, el 11 de enero de 2024, la entrada en vigor de la Ley Orgánica de Competitividad Energética generó reformas en la LOEE. Estas reformas establecieron que la fecha de inicio se pospondría al 2030 y que, a partir del 2024, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) tendrían la obligación de llevar a cabo estudios e implementar la infraestructura necesaria para cumplir con lo estipulado (República del Ecuador, Asamblea Nacional, 2024).

El (Reglamento General de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (RGLOEE)), tiene como objetivo principal desarrollar y estructurar las normativas necesarias para implementar lo establecido en la LOEE. Estas normativas tienen un carácter prioritario sobre cualquier otra disposición de menor rango y son de cumplimiento obligatorio para todas las entidades que conforman la administración pública. Una de las disposiciones del RGLOEE, la cual se encuentra en el artículo 16, es la clasificación de los consumidores de energía, tanto eléctrica como de combustible. En particular, se enfatiza en esta última, la cual se describe a continuación:

*Tabla 1. Rangos de consumo de combustible, expresado en galones-mes.*

<i>Sector</i>	<i>Actividad</i>	<i>Grande</i>	<i>Mediano</i>	<i>Pequeño</i>
<i>Primario</i>	Agro y pesca	> 525000	25000 – 525000	< 25000
	Minería	> 1000000	125000 – 1000000	< 125000
<i>Secundario</i>	Industrial	> 1750000	235000 – 1750000	< 235000
	Comercial	> 1900000	235000 – 1900000	< 235000
	Construcción	> 5000000	1150000 – 5000000	< 1150000
<i>Terciario</i>	Otros	> 250000	35000 – 250000	< 35000
	Público	> 1250000	400000 – 1250000	< 400000
	Residencial	> 25000	15000 – 25000	< 15000

Fuente(s): (Reglamento General de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (RGLOEE))

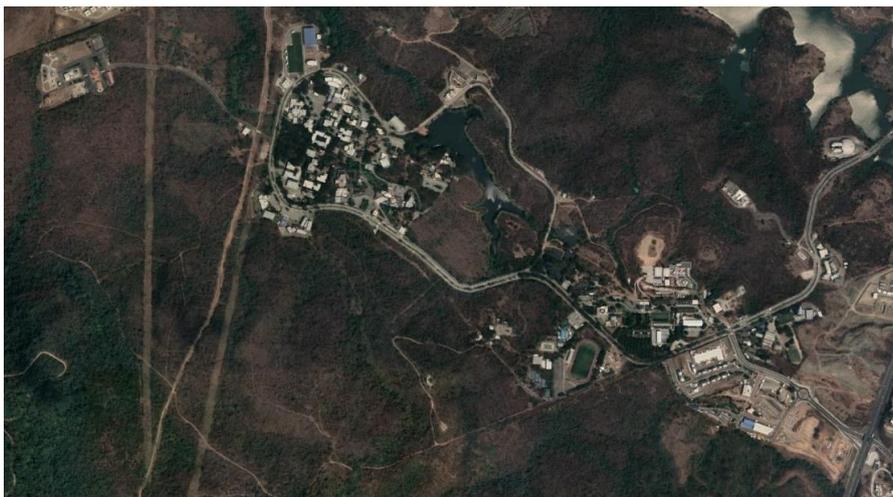
En la categoría de "Otros" dentro del sector Terciario se engloban instituciones educativas, como las universidades, mientras que en la categoría "Público", instituciones de administración pública. Según lo establecido en el artículo 17 del RGLOEE, en caso de que estas instituciones sean clasificadas como grandes consumidores, deberán obligatoriamente presentar anualmente información detallada sobre las acciones tomadas en relación con la Eficiencia Energética. Esto abarcará medidas como auditorías energéticas, adopción de tecnologías más eficientes, entre otras obligaciones.

Finalmente, conforme a lo establecido en el artículo 19 del RGLOEE, estos grandes consumidores de energía están obligados a adoptar la (NTE INEN ISO 50001) en sus

actividades operativas, y deberán remitir su certificación al Sistema Nacional Estadístico sobre Eficiencia Energética (SNEEE) a partir del 30 de enero de 2025.

### 1.1.3 Caso de estudio

Un campus de una institución de educación superior del sector público, que se ubica en el km 30.5 de la vía Perimetral al noroeste de Guayaquil, formando parte del entorno urbano, cuenta con una extensión de alrededor de 658 ha, donde se albergan ocho facultades universitarias, así como instalaciones administrativas, científicas, centros de investigación, áreas deportivas, residenciales y de apoyo.



*Figura 4. Campus público universitario.*

Fuente(s): (Google Earth).

Dentro del campus, se utilizan dos fuentes de energía: una proviene del combustible para equipos fijos y móviles, utilizados en labores internas. La otra fuente de energía es eléctrica y abastece a las diferentes edificaciones del campus. Para los propósitos de este estudio, el enfoque será únicamente en la primera fuente de energía mencionada.

En el campus, se utilizan hidrocarburos, tanto gasolina como diésel para el funcionamiento de fuentes móviles y fijas. Las fuentes móviles comprenden vehículos como motos, buses, camionetas y camiones de trabajo, entre otros, empleados en las labores dentro del campus. Por otro lado, las fuentes fijas, que consumen considerablemente menos, constan de calderas situadas en diversos laboratorios y pequeños termo motores.

En 2021, el consumo de combustible de los vehículos del campus (fuentes móviles) superó los 41.5 kgal, representando aproximadamente el 12.21% de las emisiones totales del campus, equivalente a 390.8 ton CO<sub>2</sub>-eq (Programa de Sostenibilidad, pág. 37). Esta cifra aumentó a 42.1 kgal en 2022, con emisiones de hasta 402.66 ton CO<sub>2</sub>-eq (Programa de Sostenibilidad, pág. 52), y en 2023 se incrementó aún más, superando los 49.2 kgal y alcanzando las 436.76 ton CO<sub>2</sub>-eq, indicando una clara tendencia al alza. Al contrastar el registro histórico anual del consumo de combustibles con los rangos presentados en la Tabla 1, se observa que el campus siempre se mantuvo por debajo del umbral para Pequeños consumidores en la categoría "Público". No obstante, en la categoría "Otros", si se clasifica como un Mediano consumidor.

## 1.2 Justificación

En la actualidad, el campus cuenta con un parque automotor compuesto por 93 vehículos, que incluyen buses, busetas, camiones, furgonetas, entre otros. De este total, solo hay 16 unidades que son buses. Al menos 10 de estas unidades fueron fabricadas antes del 2010. Considerando un tiempo de vida útil máximo de 20 años a partir de su año de fabricación (Diario Correo, 2022), para el 2030 estas unidades requerirán ser reemplazadas y, según lo establecido por la LOEE, estas deberían ser de propulsión eléctrica, es decir, buses eléctricos.

En ese sentido, esta transición hacia una tecnología más eficiente tendría un impacto positivo en la huella de carbono de la institución. En los últimos años, se ha observado un aumento en el consumo de combustibles fósiles y en las emisiones al medio ambiente en la institución, por lo que la adopción de buses eléctricos podría reducir significativamente las emisiones contaminantes y optimizar el consumo energético de los recursos primarios (Castillo & Olmedo Martínez, 2019). Además, dependiendo de las rutas asignadas, los buses eléctricos podrían alcanzar una mayor eficiencia energética y ofrecer una rentabilidad económica superior a la de los buses convencionales similares.

En la Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), se implementó un laboratorio vivo para la movilidad eléctrica en el transporte público. Incluyó la adquisición de un bus eléctrico conectado a una estación de carga en el campus, que a su vez está conectada a una planta fotovoltaica. El laboratorio consta tres pilares: monitoreo en tiempo real de la estación de carga con su sistema fotovoltaico (EE0), dispositivos IoT para monitorear tanto el bus eléctrico como convencionales, y monitoreo de la demanda energética de la estación de carga desde la red eléctrica, como se muestra en la Figura 5 (Unicamp, 2021).

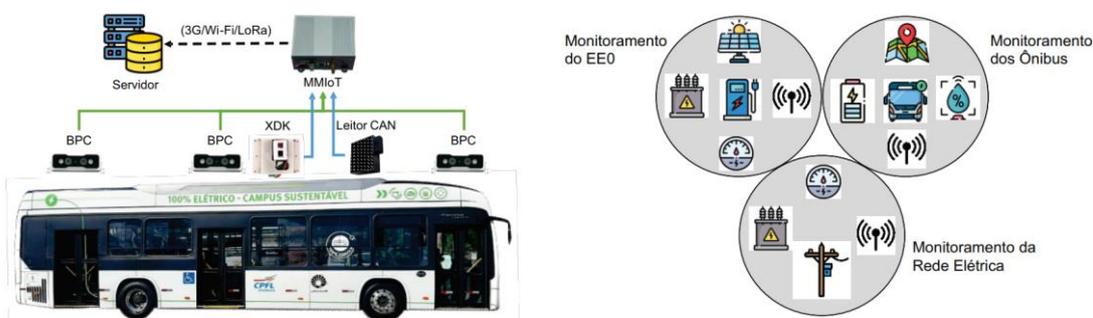


Figura 5. Pilares del laboratorio vivo de movilidad eléctrica de UNICAMP.

Fuente(s): (Unicamp, 2021).

En este laboratorio, se monitorean tanto el bus eléctrico como cinco buses convencionales, registrando variables como aceleración, velocidad angular, temperatura, humedad y cantidad de pasajeros mediante contadores de pasajeros de autobuses (BPC). Además, con la información recopilada de todas estas variables, se analizan propuestas de rutas y se evalúa el consumo de los buses convencionales en condiciones similares, identificando las rutas donde los buses eléctricos son más competitivos.

Por lo tanto, considerando todo lo anterior, y partiendo del caso del laboratorio vivo de UNICAMP, se propone desarrollar un modelo de estimación para calcular la demanda energética actual de los buses convencionales que operan en el campus, así como la

correspondiente para los buses eléctricos, considerando todas las variables pertinentes. Este modelo permitirá evaluar la competitividad del bus eléctrico en cuanto a impacto ambiental en la ruta analizada y a identificar la demanda energética que deberá suplir la red eléctrica del campus en el escenario de una flota vehicular compuesta por buses eléctricos. Dado que la ruta interna del campus proporciona un entorno más controlado en comparación con las rutas externas, el estudio se centrará en este trayecto, considerando únicamente la cantidad actual de vehículos necesarios para atender la demanda de dicho recorrido.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Proponer un modelo de estimación del consumo energético de buses eléctricos, evaluando los parámetros influyentes en la autonomía de los buses convencionales en uso en la ruta interna de un campus universitario, para la determinación de las necesidades energéticas que la infraestructura eléctrica del campus deberá suplir ante una potencial transición a una flota vehicular exclusivamente formada por buses eléctricos.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión del estado del arte para obtener un entendimiento más profundo de las metodologías existentes para estimar el consumo energético y los parámetros relevantes involucrados.
- Recopilar datos a través de un *Data Logger* considerando técnicas establecidas para capturar ciclos de conducción.
- Determinar el ciclo de conducción de los buses convencionales que operan en la ruta interna del campus.
- Estimar el perfil energético de buses eléctricos, basándose en la información obtenida de los buses convencionales y en los factores que afectan su autonomía.
- Evaluar el impacto ambiental que conllevaría la electrificación de la flota vehicular, enfocándose en la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 1.4 Alcance

Este estudio parte de una revisión del estado del arte, incluyendo marcos conceptuales y legales, y examina estudios internacionales y nacionales sobre la movilidad sostenible a través del uso de vehículos eléctricos de gran tamaño, como los buses eléctricos. El objetivo es revisar y seleccionar metodologías y enfoques para estimar el consumo energético, enfocándose en los parámetros que afectan la demanda energética de vehículos eléctricos, abarcando aspectos tanto generales como específicos, e incorporando la revisión de terminología y otros factores relevantes. Esto sienta las bases para seleccionar un modelo que facilite la comprensión y estimación de las necesidades energéticas, basándose en datos reales de la operación de los buses convencionales de la ruta interna del campus

Se distinguirán las variables obtenidas de investigaciones previas de aquellas específicamente relacionadas con la ubicación geográfica del estudio. Para recopilar datos operativos de los vehículos mediante una metodología de registro de datos de ciclo de conducción, se instalará un dispositivo con un registrador de datos ("*Data*

*Logger*"), capturando información esencial como la ubicación (*GPS*) y velocidad del vehículo, a través puerto *On Board Diagnostics II*. Adicionalmente, se recogerán datos sobre la ocupación de los buses durante los diferentes horarios de operación de la flota.

Una vez consolidada una base de datos que sintetice toda la información recopilada de cada recorrido entre paradas en la ruta interna del campus, se integrarán estos datos en el modelo para estimar el consumo energético de los buses eléctricos a lo largo de la ruta en los diferentes periodos de funcionamiento del día. El análisis resultante ofrecerá una comprensión detallada de las necesidades energéticas que la infraestructura eléctrica de la institución deberá suplir en el hipotético escenario de una flota vehicular compuesta solo por buses eléctricos, y permitirá estimar la posible reducción del impacto ambiental al compararlo con el de los buses convencionales actuales.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo, se realiza una revisión de la literatura, enfocándose en investigaciones destacables que tratan sobre la estimación del consumo energético de buses eléctricos. Se abordan tanto estudios relacionados con la autonomía de los vehículos eléctricos como aquellos que examinan su impacto ambiental en comparación con los vehículos a combustión. Se revisan diversas metodologías y enfoques aplicados a la estimación del consumo energético, así como los distintos parámetros que intervienen. Toda esta información recopilada, tanto de manera directa como indirecta, servirá como insumo para el desarrollo y selección de un modelo de estimación de consumo energético que se ajuste a las necesidades específicas del caso de estudio en cuestión.

#### 2.1 Estado del arte

La adopción de buses eléctricos de batería es vista como una estrategia para reducir emisiones en el transporte, contrastando con los buses diésel que impactan negativamente al medio ambiente. La precisión en la estimación del consumo energético es vital para la efectividad de las flotas eléctricas y su infraestructura de carga, como se resalta en la investigación (Review of the Estimation Methods of Energy Consumption for Battery Electric Buses, 2021). En este sentido, en esta sección se explorarán distintos estudios y análisis que han tratado este tema, iniciando con perspectivas internacionales seguidas por enfoques nacionales.

En cuanto a investigaciones internacionales, el estudio de (Al-Ogaili, y otros, Review of the Estimation Methods of Energy Consumption for Battery Electric Buses, 2021), resalta la importancia de adaptar los ciclos de conducción a las condiciones locales para una estimación precisa, con ejemplos como el análisis de (Vilppo & Markkula, 2015), que selecciona ciclos de conducción basados en el número de paradas. Además, la variabilidad del consumo energético debido a factores como la cantidad de pasajeros, condiciones meteorológicas o clima, modo de conducción y las condiciones de la ruta se destaca en la investigación de (Suh, Minyoung, Jedok, Sang Taek, & Jong-Phil, 2015), demostrando la complejidad en la predicción del consumo energético.

El mismo estudio introduce el análisis Wheel to Wheel (WTW) para evaluar el consumo energético de buses eléctricos desde la generación hasta las baterías, complementando el enfoque Battery to Wheel (BTW). Aunque este estudio no explora en profundidad el método WTW, menciona hallazgos relevantes de investigaciones que lo aplicaron, como el estudio de (Athanasopoulou, Bikas, & Stavropoulos, 2018), que evidencia los beneficios ambientales de los vehículos eléctricos de batería frente a los de combustión interna en zonas con uso intensivo de energías renovables, y contrasta con la dependencia de combustibles fósiles en otras áreas, donde la diferencia en emisiones de CO<sub>2</sub> de ambos vehículos es mínima.

Se menciona el estudio (The economic effects of electromobility in sustainable urban public transport, 2021), que señala que un bus eléctrico puede reducir el consumo de petróleo hasta un 85-87% frente a su equivalente diésel, logrando una disminución en el uso de combustibles fósiles del 32-46% y en las emisiones de CO<sub>2</sub> del 19-35% a lo largo de su ciclo de vida. Por otro lado, en el estudio (A comparison of carbon dioxide emissions between battery electric buses and conventional diesel buses, 2021), se

menciona que los buses eléctricos de batería pueden disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 18-23.9%, especialmente bajo uso moderado del aire acondicionado y a bajas velocidades.

Retomando lo descrito en el estudio de (Al-Ogaili, y otros, Review of the Estimation Methods of Energy Consumption for Battery Electric Buses, 2021), se destaca que, para analizar el consumo energético de un bus eléctrico de batería, se usan dos enfoques: el modelo progresivo, que considera el comportamiento del conductor como el porcentaje del acelerador y frenado del vehículo que influye en el consumo de energía, y el modelo regresivo, que utiliza datos del bus y ciclos de conducción, sin tener en cuenta la dinámica del vehículo ni el modo de conducción del conductor. Se menciona un enfoque basado en modelos que utilizan software de simulación para modelar la dinámica del vehículo, se puede emplear diversas herramientas de MATLAB/Simulink (MathWorks) para estimar el consumo de energía de estos vehículos mediante los modelos progresivo y regresivo.

Complementando este enfoque, el autor (Hinse, 2010) desarrolla un modelo predictivo del consumo energético de buses eléctricos, contrastándolo con vehículos diésel a través del *Power Train Analysis Toolkit* (PSAT) de MATLAB (MathWorks), utilizando datos reales de operaciones en Oshawa, Canadá. Este método resalta la precisión en la simulación del consumo energético basado en condiciones operativas específicas. Asimismo, los autores (Mohamed & Abdelaty, 2021), mediante MATLAB/Simulink (MathWorks) desarrollan un modelo de estimación de consumo energético para buses eléctricos de batería utilizando datos reales de prueba de Altoona para validarlo.

Siguiendo esta temática, (Mohamed & Abdelaty, 2021) también hacen una contribución significativa identificando veinticinco parámetros influyentes en el consumo de buses eléctricos, clasificados en cuatro categorías principales: vehicular, operacional, externos y topológicos, mostrados en la Figura 6.

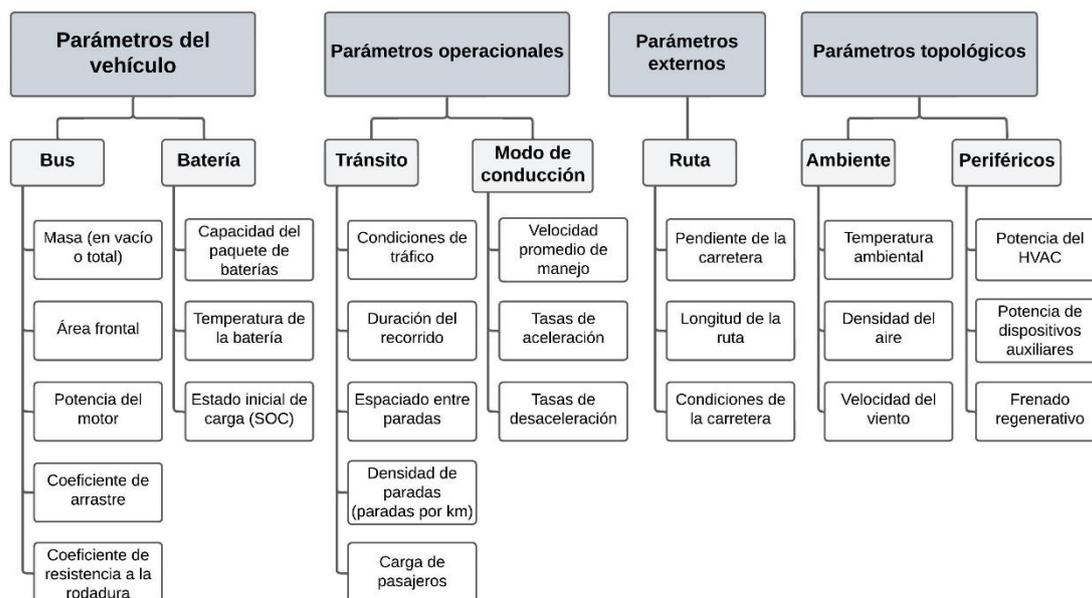


Figura 6. Parámetros que influyen en el consumo de energía de buses eléctricos de batería.

Fuente(s): (Mohamed & Abdelaty, 2021).

Los autores (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019), quienes aplican un enfoque de simulación mediante el modelo longitudinal para evaluar el consumo eléctrico en buses eléctricos urbanos, destacan la variabilidad de algunos parámetros del modelo, detallados en la Tabla 2. Varios de estos parámetros se encuentran reflejados dentro del listado de (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) presentado en la Figura 6.

*Tabla 2. Parámetros de ingreso para modelo de estimación con su variabilidad.*

Parámetro	Descripción	Dependencia	Variabilidad
$g, A$	Gravedad, Área frontal	-	fijo
$C_D$	Coefficiente de arrastre	dirección del viento	bajo
$\rho$	Densidad del aire	clima	bajo
$m$	Masa	carga de pasajeros	alto
$\eta$	Eficiencia general del tren de potencia	velocidad, torque, temperatura	alto
$C_R$	Coefficiente de resistencia a la rodadura	camino, clima	alto
$\alpha$	Inclinación/pendiente	camino	alto

Fuente(s): (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019).

La investigación de (Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023) señala que los métodos empíricos, aunque simples y útiles para estimaciones iniciales, suelen ser inexactos y no aptos para análisis en sistemas de gestión en tiempo real, limitando su aplicabilidad a flotas con condiciones operativas similares. Los modelos físicos, por otro lado, ofrecen mayor precisión, pero demandan tiempo y datos específicos para calcular la energía necesaria, incluyendo la potencia para el movimiento del vehículo y los sistemas auxiliares. El modelo longitudinal del vehículo, basado en la segunda Ley de Newton y que considera todas las fuerzas en la dinámica del vehículo, es el enfoque más común y se detallará en la sección 2.2.12. Los autores (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019) sugieren este método, empleando ecuaciones de movimiento longitudinal con datos reales para estimar el consumo energético en buses eléctricos.

Además, (Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023) y (Zhang, Ye, Wang, & Ma, 2024) mencionan métodos alternativos de estimación, adoptando un enfoque basado en datos. Este enfoque implica entrenar modelos con información histórica para prever el consumo energético de los buses eléctricos, utilizando técnicas avanzadas como la regresión lineal múltiple, la regresión vectorial de soporte, las redes neuronales artificiales y *Machine Learning*.

A nivel nacional, es decir, en Ecuador, también se han llevado a cabo estudios para determinar el consumo energético de vehículos convencionales y eléctricos, livianos y de gran tamaño. Por ejemplo, (Bueno & Quizhpe, 2017), en Cuenca analizaron la autonomía real de vehículos eléctricos, identificando factores clave como el modo de conducción y las condiciones meteorológicas mediante la correlación de Pearson, desarrollando un modelo de regresión que predice la autonomía con un margen de error del 5%.

Siguiendo esta línea, (Armijos & Gómez, 2018) exploraron el impacto de dispositivos auxiliares en la autonomía de los vehículos eléctricos, destacando la necesidad de considerar todos los elementos que afectan el consumo energético. Complementariamente, (Peñaloza & LLivicura, 2021) estimaron la demanda energética de las principales líneas de buses urbanos no eléctricos, estableciendo perfiles

energéticos y utilizando dispositivos *Data Logger* para medir el consumo de combustible en condiciones reales, notando un aumento significativo en la demanda energética durante horas pico, con un consumo por recorrido que varió entre 9.57 kWh y 32.84 kWh sin carga, y entre 13.32 kWh y 46.67 kWh a plena carga.

En cuanto a estudios en la ciudad de Guayaquil, los autores (Castillo & Olmedo Martínez, 2019), comparan el rendimiento de los buses eléctricos con los de diésel en el transporte público de la ciudad, conforme a la LOEE. Entrevistan al presidente de la Compañía de Transporte Saucinc S.A. y a expertos para comprender su experiencia con los buses eléctricos y los desafíos en su implementación. Mencionan que existe una reducción de hasta el 70% en los gastos operativos, principalmente en energía y mantenimiento. En resumen, determinan que los buses eléctricos representan una alternativa sostenible que reduce la contaminación y beneficia la economía y sociedad del país.

Finalmente, el autor (Albán Guerrero, 2022) enfatiza la importancia de optimizar los recursos en el transporte público urbano mediante la definición de parámetros operacionales que impactan directamente en la eficiencia del servicio y la satisfacción de los usuarios, destacando cómo estos parámetros pueden influir positiva o negativamente en la sociedad. Dichos parámetros se resumen en la Tabla 3.

*Tabla 3. Parámetros operacionales del transporte urbano.*

<b>Parámetro operacional</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>
Cantidad de vehículos por hora	Número de unidades que prestan servicio de transporte durante un periodo determinado	bus/h
Cantidad de pasajeros por unidad	Medida de la productividad según el número de pasajeros que utilizan los vehículos en un intervalo de tiempo	pasajeros/bus/día
Distancia recorrida	Promedio de kilómetros que recorre cada unidad en circulación.	km
Tiempo de parada	Periodo que una unidad permanece en un andén, desde su llegada hasta el inicio del siguiente recorrido programado	min
Tiempo de recorrido	Tiempo necesario para que una unidad de transporte público complete su trayecto, usualmente expresado en minutos	min
Velocidad de operación	Relación entre la distancia total del recorrido y el tiempo requerido para completarlo	km/h
Consumo de combustible	Factor determinante para la fijación de tarifas en el transporte público urbano	gal
Kilómetros muertos	Distancia recorrida por el bus cuando no está en servicio y no transporta pasajeros	km

Costos operacionales	Costos monetarios que las empresas de transporte público o los propietarios de las unidades deben cubrir para mantener la operatividad del sistema de transporte	\$
----------------------	--	----

Fuente(s): (Albán Guerrero, 2022). Elaboración propia.

## 2.2 Marco conceptual

Esta sección proporciona un entendimiento profundo de los vehículos eléctricos, resaltando cómo se diferencian de los vehículos a combustión en aspectos críticos como eficiencia, tecnología e impacto ambiental. Se detallan los parámetros determinantes en el consumo de energía de estos vehículos, con especial atención en los buses eléctricos. Se ofrece una visión detallada sobre sus características, tipologías, historia y principios operativos, incluyendo el análisis de las ecuaciones que rigen la dinámica longitudinal y los métodos empleados para medir algunos de los parámetros para el modelo, apoyándose en investigaciones pertinentes en el campo, tanto de las mencionadas previamente como de contribuciones adicionales de otros autores.

### 2.2.1 Vehículo eléctrico

Conocido también como vehículo eléctrico (EV, por *Electric Vehicle* en inglés) o EVs en plural, este término engloba a los vehículos que operan total o parcialmente con electricidad, mediante el uso de uno o más motores eléctricos alimentados por energía proveniente de baterías recargables (Lie, Prasad, & Ding, 2017).

Los EVs emergieron como una solución prometedora para contrarrestar los efectos negativos asociados con los vehículos de motor de combustión interna en el sector del transporte. Su creciente aceptación puede explicarse por las numerosas ventajas que presentan en comparación con los vehículos de combustión interna (Veza, y otros, 2023), los cuales se detallan en la sección 0.

### **Componentes**

Tal como se muestra en la Figura 7, la arquitectura de un EV se compone de cinco componentes que constituyen el “*powertrain*” o tren de potencia, facilitando así el movimiento del vehículo. Estos componentes incluyen motor eléctrico, paquete de baterías, el inversor, el cargador a bordo o “*On Board Charger*” (OBC) en inglés, y el convertidor DC-DC (Thakur, 2021).

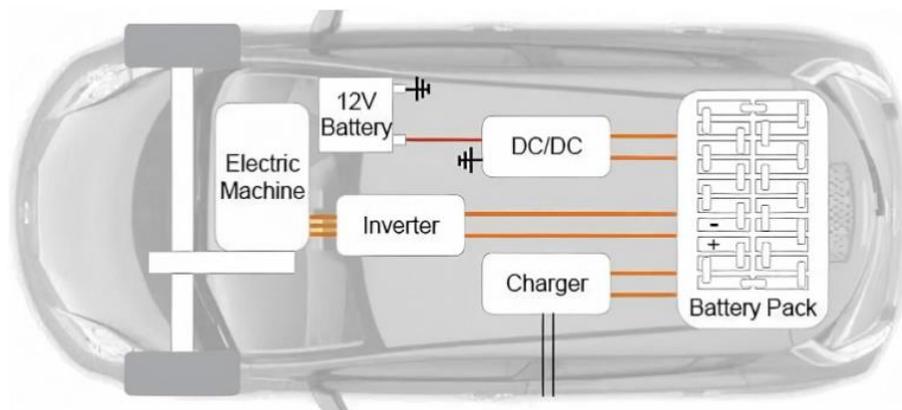


Figura 7. Arquitectura del tren de potencia de los vehículos eléctricos.

Fuente(s): (Thakur, 2021).

De las componentes presentadas, se destaca el motor eléctrico y el paquete de baterías. El motor eléctrico es aquel que emplea la energía eléctrica acumulada en el interior del paquete de baterías para accionar el EV y proporcionar el torque mediante el uso de campos electromagnéticos (Armijos & Gómez, 2018). Por otro lado, el paquete de baterías opera como un dispositivo para almacenar energía, siendo capaz de suministrar corriente al motor eléctrico (Thakur, 2021).

### Tipologías

En función del sistema de recarga de las baterías y su propulsión, se pueden distinguir diversos tipos de EVs. Algunos se impulsan exclusivamente con la energía almacenada en sus baterías, otros generan dicha energía a través de un motor de combustión interna o por sus siglas en inglés ICE (*Internal Combustión Engine*), y también existen vehículos que combinan tanto el ICE como los motores eléctricos de manera simultánea.

La Tabla 4 resume las características principales de los cinco tipos de EVs según su nivel de electrificación (Armijos & Gómez, 2018) (Rodríguez, Análisis de Autonomía de Vehículos Eléctricos en Función del Ciclo de Conducción, 2022) (Veza, y otros, 2023). Se incluyen las siglas en inglés, una descripción corta o resumen del vehículo, forma de tracción, las fuentes de energía utilizadas, los métodos de recarga de las baterías y la presencia o ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero.

Tabla 4. Clasificación de vehículos eléctricos.

Tipo de Vehículo	Siglas (inglés)	Resumen	Tracción	Fuente de Energía	Método de carga	Emisiones
Vehículo Eléctrico Puro	BEV ( <i>Battery Electric Vehicle</i> )	Propulsión netamente eléctrica mediante motores eléctricos	Motor eléctrico	Baterías recargables	Carga externa y frenado regenerativo	Cero

Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida	REHEV ( <i>Range extended Hybrid Electric Vehicle</i> ) o EREV ( <i>Extended-range electric vehicle</i> )	Combinación de ICE limitado a carga de baterías y motor eléctrico	Motor eléctrico	Baterías recargables e ICE	ICE y frenado regenerativo	ICE-dependientes
Vehículo Eléctrico Híbrido no Enchufable	HEV ( <i>Hybrid Electric Vehicle</i> )	Mezcla de ICE y motor eléctrico sin opción de carga externa	Motor eléctrico + ICE	Baterías recargables e ICE	ICE y frenado regenerativo	ICE-dependientes
Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable	PHEV ( <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> )	Combinación de ICE con motor eléctrico	Motor eléctrico + ICE	Baterías recargables e ICE	Carga externa y frenado regenerativo	ICE-dependientes
Vehículo Eléctrico de Pila de Hidrógeno	FCEV ( <i>Fuel Cell Electric Vehicle</i> )	Generación de electricidad mediante pila de combustible de hidrógeno	Motor eléctrico	Pila de combustible + hidrógeno	Pila de combustible de hidrógeno	Cero

Fuente(s): (Armijos & Gómez, 2018) (Rodríguez, Análisis de Autonomía de Vehículos Eléctricos en Función del Ciclo de Conducción, 2022) (Veza, y otros, 2023) (California Air Resources Board). Elaboración propia.

## 2.2.2 Diferencias entre EVs y ICEVs

### **Tecnología**

Según (Sornosa, 2023), la principal diferencia entre un vehículo de ICE, denominado de aquí en adelante como ICEV (por sus siglas en inglés de *Internal Combustion Engine Vehicle*) o ICEVs en plural, y un EV radica en la fuente de energía empleada. Los ICEVs utilizan combustibles fósiles, tales como gasolina o diésel, para producir energía, mientras que los EVs, que incluyen las categorías mencionadas en la Tabla 4, operan mediante el uso de baterías recargables.

En contraste (Mitchell, 2023), pone énfasis en las diferencias relacionadas con el tren de potencia, señalando que los EVs, se distinguen por el uso de motores eléctricos y baterías para la propulsión de sus ruedas, en oposición a los ICEVs que dependen de un ICE. Esta configuración confiere a los EVs una ventaja en términos de simplicidad mecánica, ya que poseen menos partes móviles, resultando en un tren potencia más compacto y fácil de manufacturar.

### **Eficiencia**

De acuerdo con (Canada Energy Regulator, 2021), los BEVs superan en eficiencia a los ICEVs porque los motores eléctricos tienen una eficiencia significativamente mayor que los ICEs. En los ICEVs, combustibles como el diésel o la gasolina se queman para generar un gas en expansión que impulsa los pistones y produce movimiento, como se ilustra en la Figura 8. Sin embargo, sólo entre un 12% y un 30% de la energía del

combustible se emplea realmente en el movimiento del vehículo, perdiéndose la mayor parte de la energía restante en forma de calor.

Por otro lado, los motores eléctricos de los BEVs aprovechan casi toda la electricidad para propulsar el vehículo y, mediante el frenado regenerativo, transforman la energía cinética del frenado en electricidad, almacenándola en sus baterías. Esta capacidad eleva su eficiencia hasta el 77%, convirtiendo más de tres cuartas partes de la energía eléctrica directamente en movimiento, lo que los hace notablemente más eficientes que los ICEVs.

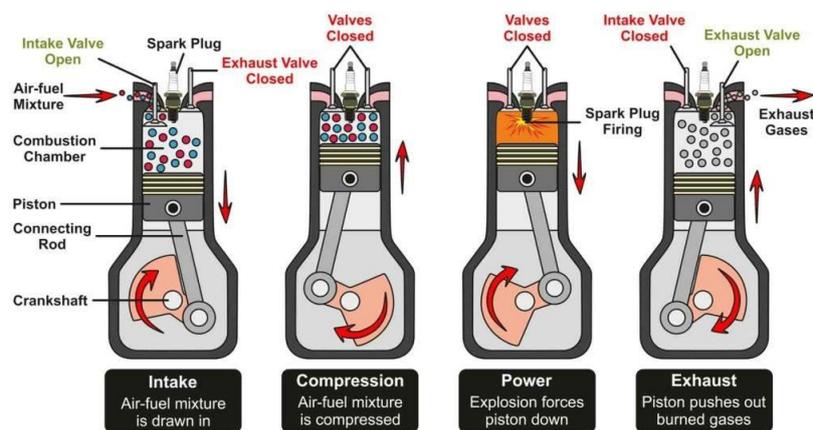


Figura 8. Proceso de combustión de un ICE.

Fuente(s): (cycopro)

### **Emisiones de gases de efecto invernadero**

Según (Bieker, 2021), aunque es ampliamente reconocido que los EVs no emiten gases de efecto invernadero (GEI) durante su uso, se ha observado que tienen una huella de carbono inicial (emisiones de CO<sub>2</sub>) más elevada que los ICEVs debido a los procesos de fabricación de los paquetes de baterías, los cuales consumen una gran cantidad de energía. Destaca que *“solo los BEV y los FCEV tienen el potencial de lograr la magnitud de reducciones de GEI en todo el ciclo de vida necesario para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París”*, el cual es un tratado internacional sobre el cambio climático.

Pese a que la huella de carbono de la producción de EVs supera a la de los ICEVs, esta palidece en comparación con la huella de carbono operativa de ICEVs. El déficit de carbono de la fabricación se compensa con el uso regular del vehículo durante unos pocos miles de millas al año de propiedad. Dependiendo de la sostenibilidad de la red eléctrica, es decir, la cantidad de generadoras que utilicen fuentes renovables para suplir la demanda energética, los EVs pueden igualar la huella de carbono de los ICEVs en seis meses (Cotes).

Según un estudio realizado por (Veza, y otros, 2023), se determinó que existe una reducción de aproximadamente del 20% en las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> de los EVs en comparación con los ICEVs, destacando particularmente los HEVs y PHEVs. Sin embargo, los EVs producen emisiones de NO<sub>x</sub> y N<sub>2</sub>O más altas debido a la electricidad generada a partir de combustibles fósiles.

### 2.2.3 Clasificación vehicular

La normativa (NTE INEN 2656, 2016) define cómo categorizar los vehículos motorizados y no motorizados en función de sus características de diseño y propósito. Esta regulación se aplica a todos los vehículos destinados a circular por tierra. Entre las distintas categorías, se enfatiza la categoría M, que abarca vehículos a motor con cuatro o más ruedas específicamente diseñados para transportar pasajeros.

Dentro de la norma, se establecen también conceptos contemplados en la (NTE INEN ISO 3833), los cuales se presentan en la Tabla 5.

*Tabla 5. Términos y definiciones para vehículos automotores.*

<b>Descripción</b>	<b>Concepto</b>
Capacidad de pasajeros	Número máximo de individuos permitido a bordo.
Carrocería	Conjunto estructural y de dispositivos de seguridad, que se une de manera fija al chasis, destinado al transporte de personas o carga.
Chasis	Estructura del vehículo sobre la cual se ensamblan los componentes mecánicos y la carrocería, incluyendo cualquier parte integral de dicha estructura.
Peso bruto vehicular	Peso total del vehículo, calculado como la suma del peso en vacío más la carga técnicamente permitida según la declaración del fabricante.

Fuente(s): (NTE INEN ISO 3833).

#### **Subcategoría M3**

Un automóvil perteneciente a esta clasificación es aquel con capacidad para al menos ocho ocupantes, incluyendo el asiento del conductor, y que presenta un peso bruto superior a los 5000 kg (NTE INEN 2656, 2016). Se incluyen en esta categoría vehículos como microbuses, minibuses, buses, buses de dos y medio pisos, entre otros, tal como se muestra en la Figura 9.

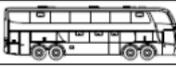
CÓDIGO	TIPO	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
MCB	MICROBÚS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.
MNB	MINIBÚS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.
BUS	BUS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2, 3.1.2.2, 3.1.2.3 y 3.1.2.4.
BDP	BUS DE DOS PISOS, PISO Y MEDIO		Vehículo destinado al transporte de pasajeros de dos plantas con espacios internos para la circulación (corredor central), de Clase III. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2 y 3.1.2.4.
ART	ARTICULADO		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.5.
BART	BIARTICULADO		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.5. En este caso el vehículo cuenta con tres secciones que están unidas por dos juntas.
TRO	TROLEBÚS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.6.
BCO	BUS TIPO COSTA		Vehículo destinado al transporte de pasajeros y mercancías a partir de un chasis cabina adaptado en forma artesanal, de Clase III (Tabla 6). Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.7.

Figura 9. Clasificación vehicular en la subcategoría M3.

Fuente(s): (Albán Guerrero, 2022).

## 2.2.4 Bus urbano

Según la (NTE INEN 2 205:2010 - Vehículos Automotores. Bus urbano. Requisitos), se considera como bus urbano a cualquier vehículo motorizado especialmente concebido y preparado para circular en áreas urbanas, con una capacidad de 60 personas o más. Un bus urbano no debe exceder los 13 m de longitud, los 2.6 m de ancho o los 3.5 m de altura.

### ***Bus urbano convencional***

Un bus urbano convencional, operado con ICE (conocidos como ICEB por sus siglas en inglés de *Internal Combustion Engine Bus*) (Lee, Oh, & Son, 2023), se caracteriza por depender de una única fuente energética que alimenta tanto la propulsión del vehículo como sus sistemas o dispositivos auxiliares. Dicha fuente es el propio ICE, cuya potencia se vincula directamente con la cantidad de combustible consumido (Peñaloza & LLivicura, 2021).

De manera general, el gas natural es el combustible más común para ICEs, seguido de la gasolina y el diésel (Yue & Liu, 2023). No obstante, en el transporte de buses, el diésel es el más predominante en la actualidad (Quarles, M. Kockelman, & Mohamed, 2020). Se han investigado combustibles alternativos, incluidos hidrógeno, acetileno, gas natural, etanol y biocombustibles, para su aplicación en ICEs (Ilhak, Tangoz, Akansu, & Kahraman, 2019).

## 2.2.5 Transición hacia movilidad eléctrica

Desde su concepción en el siglo XIX, la evolución del ICE ha avanzado hacia una sofisticación tecnológica, estimulado por regulaciones de emisiones progresivamente

restrictivas. Este desafío ha promovido una intensa labor investigativa destinada a elevar su eficiencia y disminuir la emisión de sustancias contaminantes (Yue & Liu, 2023).

Con el tiempo, los ICEVs mejoraron en eficiencia energética y ambiental, tanto de ciclo Otto como de ciclo Diésel. La eficiencia de un vehículo de gasolina oscila entre el 17% y el 21%, y rara vez supera el 30% en un diseño óptimo. Esto ha aumentado el interés en alternativas de motorización como los EVs, que pueden lograr eficiencias del 59% al 62% con emisiones reducidas (Utilities One, 2023).

En China, la preocupación por la seguridad energética y la contaminación urbana impulsó el desarrollo de buses eléctricos, empezando con la tecnología HEV y avanzando hacia la tecnología PHEV con mayor autonomía. La tecnología PHEV optimizó las baterías, resultando en buses del tipo EV con un motor eléctrico y mayor autonomía para recorrer largas distancias (Albán Guerrero, 2022). Según (Song, Liu, Gao, & Li, 2020), los investigadores indican que los buses urbanos del tipo PHEV y EV tienen el mayor potencial para reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono.

En Estados Unidos, el interés actual se centra en buses de tecnología FCEV, considerando también a los EVs como una tercera alternativa viable junto a los PHEVs y FCEVs (Schwertner & Weidmann, 2016). Según (O'Dea, 2018), los buses del tipo EV tienen un rango de eficiencia de 1.4 a 7.7 veces mejor que un ICEB de diésel en términos de equivalencia de emisiones de millas por galón.

### **2.2.6 Bus eléctrico**

Un bus eléctrico o EB por sus siglas en inglés "*Electric Bus*", se distingue de un ICEB por su sistema de propulsión, que consiste en uno o varios motores eléctricos. Es en el tren de potencia donde se ubican todas las componentes necesarias para su desplazamiento (Albán Guerrero, 2022).

#### ***Tipologías***

El mercado de EBs se clasifica en buses híbridos eléctricos en serie y paralelo (HEB), buses eléctricos híbridos enchufables (PHEB), buses eléctricos de batería (BEB), y buses eléctricos de celda de combustible (FCEB) (Al-Ogaili, y otros, 2021) (Albán Guerrero, 2022) (MRCacgney, 2017), tal como se presenta en la Figura 10.

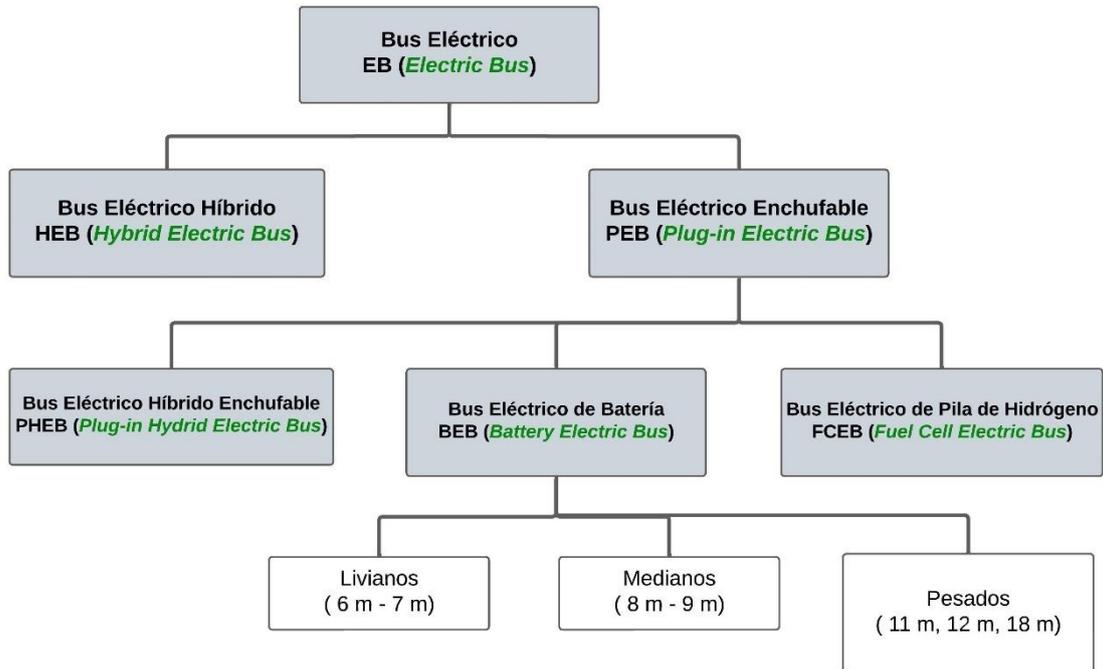


Figura 10. Clasificación de EBs.

Fuente(s): (Al-Ogaili, y otros, 2021) (Albán Guerrero, 2022) (MRCacgney, 2017).  
Elaboración propia.

### **Bus eléctrico de batería (BEB)**

El BEB, comúnmente descrito como 100% eléctrico, obtiene energía para su funcionamiento de la electricidad almacenada en su paquete de baterías a bordo, tal como se presenta en la Figura 11, que exhibe el tren de potencia de este tipo de vehículo (Mahmoud, Garnett, Ferguson, & Kanaroglou, 2016).

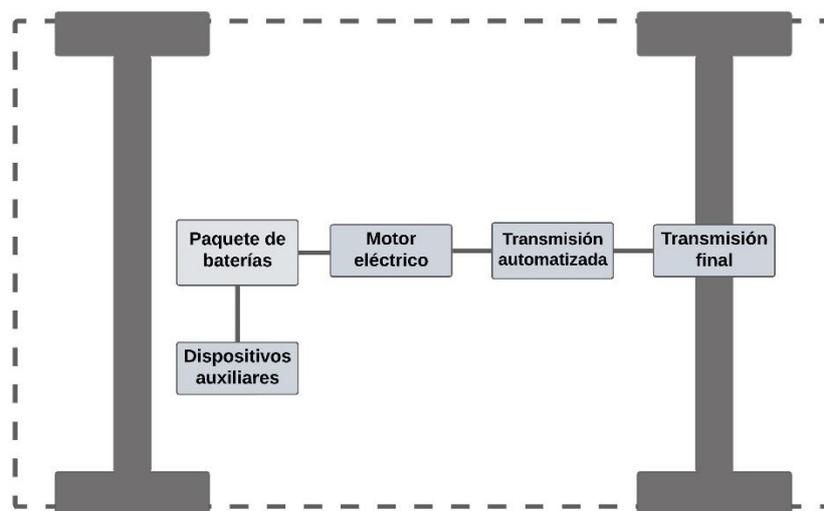


Figura 11. Tren de potencia de un BEB.

Fuente(s): (Mahmoud, Garnett, Ferguson, & Kanaroglou, 2016). Elaboración propia.

(Bakker & Konings, 2018) señalan que los BEBs, siendo vehículos de cero emisiones, contaminan menos que los ICEBs. (Al-Ogaili, y otros, 2017) describen dos formas de operación para los BEBs: nocturna, con un paquete de baterías grande, autonomía de hasta 200 millas y recarga en 2-4 h; y de oportunidad, con un paquete de baterías pequeño, 20-30 millas de autonomía y recarga en 5-10 min. (Al-Ogaili, y otros, 2021) anticipan un crecimiento del mercado BEB entre 2020 y 2030 por la reducción de los precios de baterías y sus bajas emisiones al medio ambiente. La Tabla 6 muestra algunos BEBs disponibles en el mercado, con sus características operativas y sus respectivas fuentes:

*Tabla 6. Algunos BEBs en el mercado mundial.*

Fuente(s)	Modelo	Compañía	Longitud (m)	Rango (km)	Batería	Capacidad de la batería (kWh)	Duración de la carga (kW)
(The BYD K9) (Ayeter, Mbonigaba, K. Sunnu, & Nyantekyi-Kwakye, 2021)	K9	BYD	12*	250	LFP	324	80
(The BYD C8M) (Ayeter, Mbonigaba, K. Sunnu, & Nyantekyi-Kwakye, 2021)	C8	BYD	10*	250	LFP	313	80/160
(18.75m eBus) (Rodrigues & Seixas, 2022)	18MLE	BYD	18	250	LFP	563	80
(E12) (Rodrigues & Seixas, 2022)	E12	Yutong	12	320	LFP	295	60/80
(Rodrigues & Seixas, 2022)	Urbino 12	Solaris	12	266	LFP/LTO	-	80/300

Fuente(s): (Ayeter, Mbonigaba, K. Sunnu, & Nyantekyi-Kwakye, 2021) (Rodrigues & Seixas, 2022). Elaboración propia. \* **Convertido de pies a metros**

En América Latina, de acuerdo con los datos proporcionados por e-bus Radar, en 2022 hay un total de 3209 BEBs operando a lo largo de la región. Dentro de este conjunto, se identifican ocho fabricantes asiáticos, siendo BYD el más prominente con 1692 unidades, destacándose significativamente sobre las otras marcas (Mobility Portal, 2022). Entre los BEBs listados en la Tabla 6, el modelo K9 de BYD ha sido especialmente notable a nivel nacional. En la ciudad de Guayaquil, se registra una flota de 20 BEBs de esta marca (Mobility Portal, 2023).

## 2.2.7 Parámetros que influyen en el consumo energético de BEBs

La autonomía de un EV se define como la capacidad de desplazarse cierta distancia utilizando exclusivamente la energía almacenada en sus baterías, sin necesidad de recarga. (Mohamed & Abdelaty, 2021) identificaron 25 parámetros que influyen en el consumo energético de un BEB, los cuales fueron presentados en la Figura 6 de la sección 2.1. Sin embargo, (Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023) consolidaron estos parámetros en solo 12, en categorías relacionadas con el vehículo, operativas, de la ruta y ambientales. Con ligeras adaptaciones a la clasificación de (Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023), se propone la clasificación presentada en la Figura 12. Se destacan el modo de conducción, la pendiente de la carretera, el peso de los pasajeros, los periféricos, la temperatura exterior y el frenado regenerativo. Los primeros cinco serán explicados a continuación, mientras que el frenado regenerativo se detallará en la sección 2.2.12.

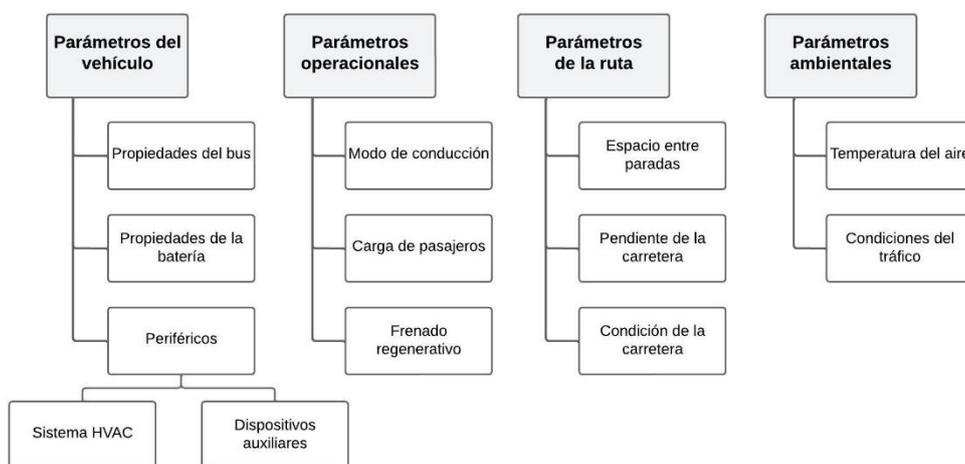


Figura 12. Resumen de parámetros que afectan el consumo energético de BEBs.

Fuente(s): (Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023). Elaboración propia.

### **Modo de conducción**

Los modos de conducción se refieren al comportamiento del conductor al volante. Si el conductor acelera en exceso, aumenta el consumo de corriente en la batería, afectando la autonomía del EV. En contraste, un estilo de conducción más pausado, con frenadas repetidas, disminuye el consumo de corriente y mejora la regeneración de la batería. Así, el modo de conducción directamente influye en la autonomía del EV (Bueno & Quizhpe, 2017).

### **Pendiente de la carretera**

En pendientes ascendentes o descendentes, parte del peso del vehículo actúa en sentido contrario a la dirección del movimiento, generando una resistencia que contrarresta la fuerza de avance. La magnitud de esta resistencia en la pendiente varía según el tipo de carretera y el peso del vehículo. Esto se verá reflejado en las ecuaciones de la sección 2.2.12.

### ***Carga de pasajeros***

La autonomía de un EV puede disminuir en función del número de pasajeros a bordo, ya sea que estén sentados o de pie. Esto se debe a que un mayor peso requiere una potencia adicional para el desplazamiento (ver sección 2.2.12.), lo que resulta en un aumento del consumo de energía (Armijos & Gómez, 2018).

### ***Periféricos***

Los elementos periféricos o dispositivos auxiliares del vehículo están asociados con la comodidad, brindando un mayor placer tanto al conductor como a los ocupantes. Entre los periféricos más esenciales y que tienen un impacto significativo en un automóvil se encuentran la climatización (sistema HVAC), el sistema de audio, entre otros.

### ***Temperatura del aire***

Las condiciones climáticas desempeñan un papel fundamental en el desempeño de todas las baterías, y también inciden directamente en la necesidad de consumo energético para la climatización. Las baterías alcanzan su mejor rendimiento cuando operan en un rango de temperatura de entre 20 y 40 °C (Rodríguez, 2022).

## **2.2.8 Ciclos de conducción**

El ciclo de conducción describe una secuencia detallada de datos de velocidad y tiempo, los cuales reflejan los patrones de manejo específicos en una ruta determinada. Estos datos pueden proporcionar información crucial sobre la distancia y velocidad que alcanza el vehículo a lo largo de todo el recorrido (Rodríguez, 2022).

En América Latina, se han llevado a cabo diversos estudios (Solís Santamaría & Quinchimbla Pisuña, 2017) (Pérez & Quito, 2018) que exploran la obtención de ciclos de conducción en distintas ciudades. No obstante, este estudio se centrará únicamente en estudios realizados en Ecuador, lo cual sirve como punto de referencia para comprender mejor los comportamientos de conducción en el país, sobre todo dentro de ciudades como Quito y Cuenca, los cuales se detallan a continuación.

### ***Estudio en Quito***

En el estudio titulado “Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el distrito Metropolitano de Quito”, se obtuvieron tres ciclos de conducción bajo condiciones reales de manejo hacia rutas de tráfico (ciudad, carretera y combinado), con un recorrido de 1325.84 km durante 59 h de conducción. En ciudad, registraron una distancia recorrida de 11.91 km en un lapso de aproximadamente 52.81 min de conducción, con una velocidad máxima de 45.77 km/h y una velocidad promedio de 13.26 km/h (Solís Santamaría & Quinchimbla Pisuña, 2017). El ciclo de conducción resultante se visualiza en la Figura 13.

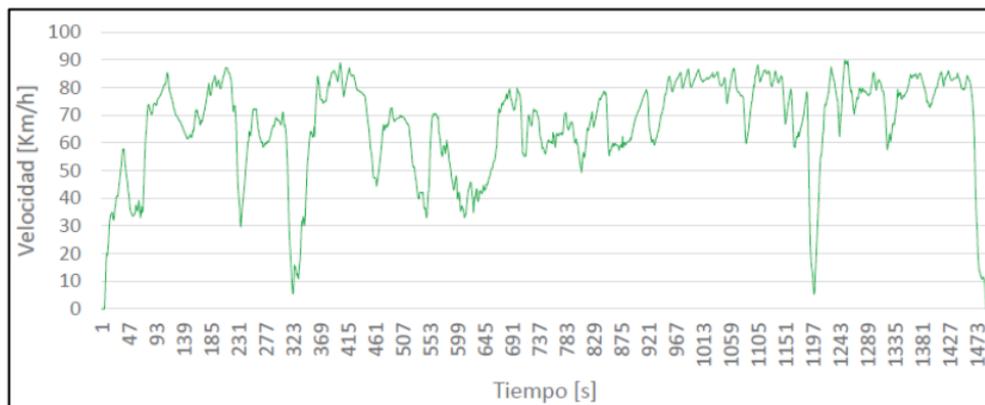


Figura 13. Ciclo de conducción para ciudad del Distrito Metropolitano de Quito.

Fuente(s): (Solís Santamaría & Quinchimbla Pisuña, 2017).

### **Estudio de Cuenca**

En el estudio titulado "Determinación de los patrones de conducción de un vehículo categoría M1 en la ciudad de Cuenca", se recopilieron datos de 120 recorridos efectuados tanto en horas de mayor congestión como en períodos de menor tráfico dentro de la ciudad de Cuenca. Estos recorridos sumaron una distancia total de 10.49 km en un lapso de aproximadamente 19.46 min de conducción, con una velocidad máxima de 61 km/h y velocidad promedio de 26.09 km/h. El ciclo de conducción resultante se visualiza en la Figura 14 (Pérez & Quito, 2018).

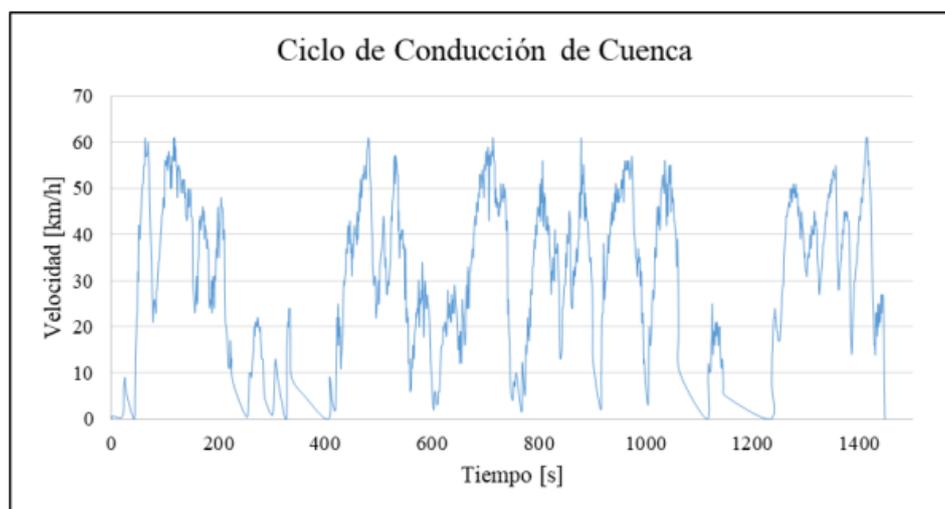


Figura 14. Ciclo de conducción para ciudad de Cuenca.

Fuente(s): (Pérez & Quito, 2018).

### **2.2.9 Sistema On Board Diagnostics II**

También llamado OBD, es un sistema integrado al computador de a bordo del vehículo, el cual se encarga de monitorear todos los sensores y actuadores existentes, así como también detectar fallos mecánicos, eléctricos o químicos que produzcan emisiones de

gases contaminantes. El sistema OBD II es la evolución de la OBD I, que fue su predecesora y la primera en ser implementada (Peñaloza & LLivicura, 2021).

Desde 1996 en adelante, de acuerdo con las regulaciones de la Agencia Estatal *California Air Resources Board* (CARB) de los Estados Unidos, todos los vehículos deben tener equipados sistemas OBD II. A partir de esta regulación estadounidense, se creó en Europa la Directiva 98/69/EG, la cual establece la exigencia a los fabricantes de contar con un puerto EOBD (Diagnóstico de a bordo Europeo) a partir del año 2000 para los motores de gasolina, desde 2003 para los motores diésel y a partir de 2005 para los camiones (Ruta 401 - El Blog de los Profesionales del Taller).

Los vehículos con sistema OBD II integrado cuentan con un puerto con conector de 16 pines denominado *Data-Link Conector* (DLC), el cual puede encontrarse en la mayoría de los casos, debajo del volante de los vehículos (ver Figura 15) y en otros casos, dependiendo del fabricante, en el lado derecho del vehículo (Peñaloza & LLivicura, 2021). Este puerto y sus protocolos de comunicación fueron estandarizados por la SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices).

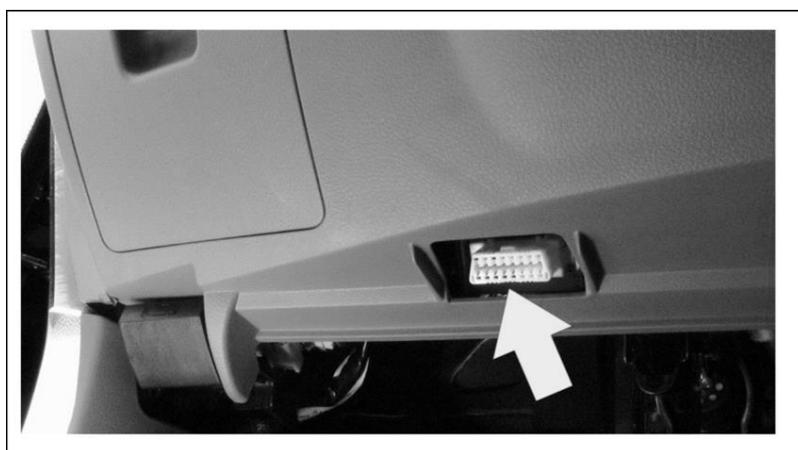


Figura 15. Puerto con conector OBD II en vehículo.

Fuente(s): (Equipo ArgSeguridad, 2021).

### 2.2.10 OBD II PIDs

Los parámetros de identificación (PIDs) del sistema OBD II de un vehículo son códigos de información que especifican datos reales de los diferentes sensores incorporados en el vehículo durante su operación. Estos se organizan en conjuntos según sus funciones, llamados servicios o modos, establecidos por el estándar SAE J1979 (Peñaloza & LLivicura, 2021). Este estándar define los diez modos o servicios de los PIDs, los cuales se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Modos de operación o servicio establecidos por el estándar SAE J1979.

Modos / Servicios	Descripción
1	También conocido como flujo de datos, muestra información en tiempo real de los valores analógicos o digitales de las salidas y entradas de la Unidad de Control del Motor (ECU, por sus siglas en inglés).
2	Presenta los datos registrados del ECU relacionados con las emisiones, en el momento que ocurre un evento.
3	Permite la extracción de los códigos de fallas de diagnóstico ( <i>Diagnostic Trouble Codes</i> , DTC).

4	Permite borrar los datos almacenados, incluyendo los DTC.
5	Proporciona los resultados de la evaluación de los sensores de oxígeno mediante pruebas de monitoreo para verificar su operatividad (solo válido para vehículos sin capacidad de comunicación a través de la red <i>Controller Area Network, CAN</i> ).
6	Permite acceso a los resultados de pruebas de monitoreo para sistemas o componentes específicos (válido para vehículos con CAN).
7	Presenta todos los DTC registrados por el ECU durante el ciclo de manejo actual o el más reciente.
8	Permite realizar pruebas de los actuadores u otras componentes.
9	Permite solicitar acceso a la información del vehículo.
10	Presenta DTC permanentes.

Fuente(s): (Peñaloza & LLivicura, 2021) (SAE INTERNATIONAL, 2014).

### **Modo de operación 1**

La información que se puede obtener del modo de operación 1 del sistema OBD II varía desde la velocidad del vehículo, posición del acelerador, RPM del motor hasta la presión del combustible (Wikibooks). En la Tabla 8 se presentan algunos de los PIDs más relevantes para este estudio.

*Tabla 8. PIDs de modo de operación 1 destacables para el estudio.*

PID	Bytes de respuesta	Descripción	Valor mín.	Valor máx.	Unidad
04	1	Carga calculada del motor	0	100	%
0C	2	RPM del motor	0	16,383.75	rpm
0D	1	Velocidad del vehículo	0	255	km/h
0E	1	Avance del tiempo	-64	63.5	°antes
0F	1	Temperatura del aire del colector de admisión	-40	215	°C
11	1	Posición del acelerador	0	100	%

Fuente(s): (Wikibooks) (SAE INTERNATIONAL, 2014) (Peñaloza & LLivicura, 2021).  
Elaboración propia.

#### **2.2.11 Métodos para levantar ciclos de conducción**

Se describen dos metodologías principales para obtener datos sobre el ciclo de conducción vehicular: el método *On-Board* y el de persecución (Solís Santamaría & Quinchimbla Pisuña, 2017) (Peñaloza & LLivicura, 2021) (Morey, Limanond, & Niemeier).

##### **Método On-Board**

El método *On-board* utiliza dispositivos como *Dataloggers* y GPS instalados en el vehículo para capturar en tiempo real datos como velocidad, aceleración, duración de paradas y distancia recorrida, dentro de sus condiciones normales de funcionamiento. Estos instrumentos son clave para monitorear y registrar de manera precisa el

comportamiento del vehículo durante su operación (Solís Santamaría & Quinchimbla Pisuña, 2017).

### ***Método de persecución***

El método de persecución recoge datos de conducción real siguiendo otro vehículo para analizar velocidad, aceleración, y otros parámetros. Esencial para formular ciclos de conducción realistas, este método apoya investigaciones sobre emisiones y uso de combustible (Sabas & Betanzo Quezada, 2023). El equipo utilizado en el vehículo persecutor para medir los parámetros del vehículo objetivo incluye dispositivos como telémetro láser, GPS, y analizadores de gases láser, entre otros instrumentos esenciales para registrar las variables necesarias (Solís Santamaría & Quinchimbla Pisuña, 2017) (Peñaloza & LLivicura, 2021).

### ***Ventajas y limitaciones de los métodos***

(Solís Santamaría & Quinchimbla Pisuña, 2017) recomiendan que los investigadores elijan el método más conveniente basándose en sus requerimientos específicos y restricciones, y para facilitar esta decisión, exponen una comparativa de las ventajas y desventajas de cada método la cual se presenta en la Tabla 9.

*Tabla 9. Ventajas y limitaciones de métodos para levantar ciclos de conducción.*

<b>Método</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
On-board	Recolección de datos de manejo	El costo es significativo debido a la necesidad de múltiples dispositivos para el registro de datos.
	Desarrollo de perfiles de conducción	Análisis de los patrones de manejo
	Ideal para escenarios de manejo irregulares	Necesita una extensa colección de datos para su validez.
	Su viabilidad económica depende de la elección de rutas representativas de una base de datos de tráfico existente.	Requiere un proceso de recolección de datos prolongado.
Persecución	Análisis del comportamiento al volante de distintos choferes.	Infracción de los límites de velocidad establecidos
	Implementación económica debido a la necesidad de solo un dispositivo para la recolección de datos.	Percepción del conductor del vehículo seguido sobre ser observado
	Obtención de comportamientos al conducir de varios autos en una sola ruta	Recolección de datos de forma no directa con un elevado potencial de inexactitud
	Validez de los datos obtenidos	Es posible que el vehículo seguidor pierda de vista al vehículo objetivo con facilidad
	Utilización de un único vehículo para la recopilación de información del modo de conducción	Variabilidad de la información recabada entre el vehículo de persecución y el objetivo.

Fuente(s): (Solís Santamaría & Quinchimbla Pisuña, 2017).

### 2.2.12 Modelo físico para estimación de consumo energético

Numerosos estudios han explorado (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019) (Mohamed & Abdelaty, 2021) la implementación de un modelo físico basado en ecuaciones de dinámica longitudinal para predecir el consumo energético de BEBs. El paquete de baterías de un BEB debe proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento completo del vehículo, incluido su tren de potencia y periféricos como los dispositivos auxiliares y el sistema HVAC (Kambly & Bradley, 2014). Estos elementos son tomados en cuenta dentro del modelo.

Para determinar el consumo energético del tren de potencia, se aplican las ecuaciones de movimiento longitudinal del vehículo. La dinámica longitudinal del vehículo puede describirse mediante la ecuación (1), la cual se basa en la segunda Ley de Newton, y puede expresarse considerando todas las fuerzas involucradas tal como se muestra en la ecuación (2), y como se muestra en la Figura 16, que representa una vista lateral del vehículo con todas las fuerzas longitudinales actuando sobre este (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019).

$$F_{inercia} = \sum F_{eje\ x} \quad (1)$$

Las diversas fuerzas que afectan el movimiento del vehículo en la dirección de avance abarcan la fuerza motriz ( $F_x$ ), la suma de las fuerzas de fricción en la rodadura  $F_r$ , la fuerza de resistencia aerodinámica ( $F_{aero}$ ) y la componente longitudinal en el eje X de la fuerza de gravedad ( $F_g$ ).

$$(m_{eff}) (a_x) = F_x - F_r - F_{aero} - \sin(\alpha)(F_g) \quad (2)$$

La variable  $\alpha$  dentro de la función seno representa la pendiente de la carretera. Por otro lado, la variable  $a_x$  denota la aceleración longitudinal del vehículo, y  $m_{eff}$  representa su masa efectiva, la cual comprende la fuerza de inercia ( $F_{inercia}$ ) rotacional de las ruedas y los componentes de la cadena cinemática, las cuales también experimentan aceleración rotacional cuando  $a_x$  no es cero. En el caso de los buses, la masa efectiva generalmente equivale al 102% de la masa total del vehículo ( $m$ ) (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019).

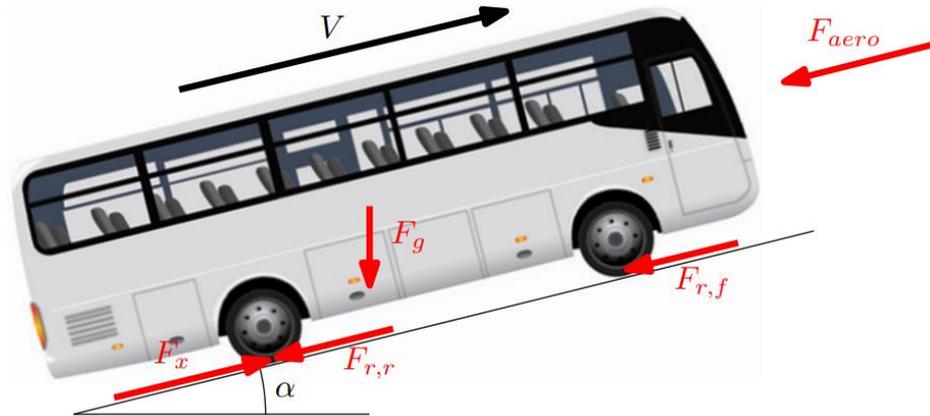


Figura 16. Diagrama de cuerpo libre de fuerzas actuantes en un BEB.

Fuente(s): (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019).

Si se dispone de datos sobre el número de pasajeros dentro del vehículo, se puede calcular la masa total del vehículo como la suma del peso en vacío ( $m_{vacío}$ ) y la masa total de los pasajeros a bordo ( $m_{pasajeros}$ ), tal como se expresa en la ecuación (3). En caso contrario, se puede utilizar una estimación del número promedio de pasajeros (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018).

$$m = m_{vacío} + m_{pasajeros} \quad (3)$$

### Fuerza de gravedad

La fuerza de gravedad en un vehículo se puede representar mediante la ecuación (4). Tal como se indicó previamente, la masa total del vehículo puede dividirse en el peso en vacío del vehículo ( $m_{vacío}$ ) y la masa añadida resultante de la carga de los pasajeros ( $m_{pasajeros}$ ) (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) (Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023).

$$F_g = (m)(g) \quad (4)$$

La aceleración de la gravedad ( $g$ ) a utilizar será el valor universal  $9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$  (Peñaloza & LLivicura, 2021).

### Fuerza de fricción en la rodadura

La fuerza de fricción en la rodadura, una de las principales resistencias al movimiento en el suelo, surge de la energía perdida por la deflexión, deslizamiento longitudinal y lateral, así como el rozamiento del aire en y alrededor del neumático, entre otros factores. A diferencia de otras resistencias que se manifiestan solo en condiciones dinámicas específicas, la resistencia a la rodadura está presente desde el inicio de la rotación de las ruedas (Gómez & Ojeda, 2023).

En la ecuación (5), presenta una expresión que caracteriza la suma de las fuerzas de fricción en la rodadura, tomando en cuenta tanto la fuerza sobre los neumáticos ( $F_{r,f}$ ), como la fuerza sobre los neumáticos traseros ( $F_{r,r}$ ). Para facilitar el cálculo en el modelo, se considera

$$F_r = F_{r,f} + F_{r,r} \quad (5)$$

La ecuación (6) describe las variables que inciden en esta fuerza, donde  $C_R$  corresponde el coeficiente de rodadura,  $F_g$  la fuerza de gravedad discutida anteriormente, y  $\alpha$  la pendiente de la carretera.

$$F_r = (C_R)(F_g) \cos(\alpha) \quad (6)$$

### **Fuerza de resistencia aerodinámica**

La interacción del vehículo con el aire produce fuerzas y momentos, siendo la fuerza de arrastre o fuerza de resistencia aerodinámica ( $F_{aero}$ ) la más relevante a velocidades normales en carretera, mientras que las demás se consideran insignificantes (Gómez & Ojeda, 2023). La ecuación (7) describe las variables que inciden en esta fuerza.

$$F_{aero} = (C_D)(A) \frac{(\rho)(V^2)}{2} \quad (7)$$

Donde  $C_D$  corresponde al coeficiente de arrastre o resistencia aerodinámica,  $A$  es el área frontal del objeto, siendo en este caso el BEB, y velocidad relativa  $V$  por el que incide el fluido, en este caso aire, con densidad  $\rho$  (CFD).

El coeficiente  $C_D$  suele ser insignificante a velocidades bajas del vehículo, pero la se vuelve considerable al aumentar la velocidad, a diferencia de la resistencia de fricción en la rodadura, la cual no varía independientemente de la velocidad a la que se encuentre el vehículo (Heisler, 2002), tal como se muestra en la Figura 17.

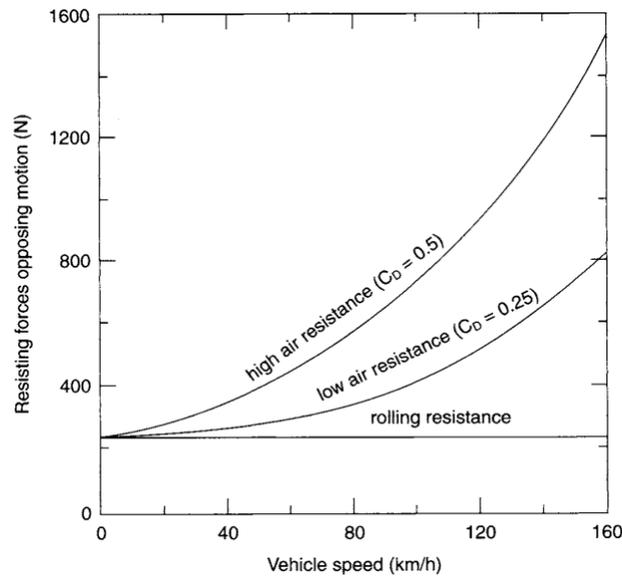


Figura 17. Influencia de la velocidad en los coeficientes de oposición al movimiento del vehículo.

Fuente(s): (Heisler, 2002).

En su trabajo, (Peñaloza & LLivicura, 2021) propusieron la ecuación (8) para estimar la densidad del aire en relación con la altimetría o altitud ( $h$ ), considerando que, en condiciones normales, a 1 atmósfera y 288.15 °K, la densidad ( $\rho$ ) se establece en  $1.225 \frac{kg}{m^3}$ .

$$\rho = (3.567 \times 10^{-9})(h^2) - (0.0001157)(h) + 1.225 \quad (8)$$

Para determinar área frontal del BEB, bajo la suposición de que su estructura es básicamente rectangular, se utiliza la ecuación (9). En esta ecuación,  $b$  indica el ancho del autobús y  $h$ , su altura, lo que permite establecer el área frontal de manera sencilla (García & Sisa Jaya, 2021).

$$A = (b)(h) \quad (9)$$

### **Fuerza motriz**

La fuerza motriz del vehículo ( $F_x$ ), tal como se presenta en la (10) puede expresarse como el producto entre la eficiencia general del tren de potencia entre la batería y las ruedas ( $\eta$ ), la potencia eléctrica de corriente continua extraída de la batería por el tren de potencia ( $P_{tr}$ ), y el inverso de la velocidad relativa del vehículo ( $V$ ) (Peñaloza & LLivicura, 2021).

$$F_x = (\eta) \left( \frac{P_{tr}}{V} \right) \quad (10)$$

La eficiencia general del tren de potencia entre la batería y las ruedas comprende varias eficiencias: la del tren de potencia y la caja de cambios ( $\eta_t$ ), la del inversor ( $\eta_{PE}$ ), la del

motor eléctrico ( $\eta_{me}$ ), y también existe el factor de regeneración ( $n_b$ ) sobre el cual se profundizará más adelante (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018).

### **Consumo energético del tren de potencia**

Al reemplazar las ecuaciones (4)(5)(6)(7)(10) en la ecuación (2), se logra determinar la potencia eléctrica de corriente continua extraída de la batería por el tren de potencia ( $P_{tr}$ ), tal como se expresa en la ecuación (11).

$$P_{tr} = \frac{V}{\eta} \left[ (m_{eff}) (a_x) + (C_R)(m)(g) \cos(\alpha) + (C_D)(A) \frac{(\rho)(V^2)}{2} + \sin(\alpha)(m)(g) \right] \quad (11)$$

(Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023) mencionan que la velocidad relativa del vehículo ( $V$ ) se modela frecuentemente con variados niveles de complejidad, dado que ciertas investigaciones emplean perfiles de velocidad continuos simples, otras aplican perfiles de velocidad sintéticos detallados, mientras que algunas se dedican al análisis de perfiles de velocidad obtenidos mediante mediciones.

Llevando la ecuación (11) a términos de energía, tomando como referencia los estudios de (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) (Peñaloza & LLivicura, 2021), se deriva en una ecuación para determinar el consumo energético  $E_{tr}$  asociado a la fuerza de tracción durante un viaje entre dos paradas sucesivas, como se formula en la ecuación (12).

$$E_{tr} = \int \left[ (m_{eff}) (a_x(t)) + (C_R)(m)(g) \cos(\alpha) + (C_D)(A) \frac{(\rho)(V(t)^2)}{2} + \sin(\alpha)(m)(g) \right] \frac{V(t)}{\eta} dt \quad (12)$$

Cuando el BEB está en proceso de frenado ( $a_x(t) < 0$ ), o descendiendo por una carretera con pendiente suficientemente pronunciada ( $\sin(\alpha) < 0$ ), el valor de la fuerza motriz del vehículo ( $F_x$ ), puede llegar a ser negativo. En tales circunstancias, el EV tiene la capacidad de convertir y conservar una porción de la energía cinética a la batería mediante el frenado regenerativo (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018).

### **Energía recuperada por frenado regenerativo**

Los sistemas de frenado regenerativo (RBS) son una solución eficiente que contribuye significativamente al aumento del ahorro de combustible y a la disminución de las emisiones de escape en los buses eléctricos. Los RBS pueden recuperar una cantidad significativa de energía de frenado al tiempo que funcionan de forma segura y predecible (Zhang, Lu, Xue, & Li, 2008).

El porcentaje de la energía recuperada durante el frenado o factor de regeneración ( $n_b$ ), según (Calle & Guiracocha, 2021), se define como la relación entre la energía  $E_m$ , que denota la energía recuperada durante el frenado, y  $E_b$ , que representa la energía disipada estimada en función de la velocidad al principio y al final del proceso de frenado, como se muestra en la ecuación (13).

$$n_b = \frac{E_m}{E_b} = \frac{E_m}{\left(\frac{1}{2}\right) (m)(V_0^2 - V_f^2)} (100\%) \quad (13)$$

Al despejar  $E_m$  de la ecuación (13), se obtiene una ecuación para determinar la energía recuperada por frenado regenerativo, tal como se especifica en la ecuación (14).

$$E_m = (n_b) \left( \frac{1}{2} \right) (m) (V_0^2 - V_f^2) \quad (14)$$

Por otra parte, (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) indican que la energía recuperada se determina partiendo de la ecuación (12), bajo el criterio de que si  $F_x < 0$ , se modifica la ecuación (12) conforme a lo descrito en la ecuación (15), tomando en cuenta el factor de regeneración ( $n_b$ ). Dado que la propuesta de (Calle & Guiracocha, 2021) considera un cálculo basado en una estimación de la energía disipada, en este estudio se adoptará el enfoque sugerido por (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018).

$$E_m = \int \left[ (m_{eff}) (a_x(t)) + (C_R)(m)(g) \cos(\alpha) + (C_D)(A) \frac{(\rho)(V(t)^2)}{2} + \sin(\alpha)(m)(g) \right] (\eta)(n_b) dt \quad (15)$$

### Consumo energético de periféricos

(Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023) mencionan que, mientras algunos investigadores solo consideran el modelo de dinámica longitudinal mencionado al modelar, otros también tienen en cuenta el consumo de energía de los dispositivos auxiliares/periféricos ( $E_{prf}$ ). Estos incluyen sistemas HVAC, iluminación, puertas, limpiadores de parabrisas, sistemas hidráulicos, entre otros.

(Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) consideran la potencia eléctrica consumida por los periféricos ( $P_{prf}$ ) como un valor constante tanto durante el tiempo de conducción ( $\Delta t_{viaje}$ ) como en los periodos de parada ( $\Delta t_{parada}$ ), tal como se presenta en la ecuación (16).

$$E_{prf} = (P_{prf}) (\Delta t_{viaje} + \Delta t_{parada}) \quad (16)$$

Esta potencia se puede calcular como la suma de la potencia del sistema HVAC ( $P_{HVAC}$ ), y la potencia de otros dispositivos auxiliares ( $P_{aux}$ ), según se detalla en la ecuación (17) (Hjelkrem, Yngve Lervåg, Babri, Lu, & Södersten, 2021).

$$P_{prf} = P_{HVAC} + P_{aux} \quad (17)$$

Contrario a (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018), los autores (Szilassy & Földes, 2022) presentan el uso de una función lineal con dependencia en la carga de pasajeros ( $p$ ) para determinar  $P_{HVAC}$ , tal como se presenta en la ecuación (18), volviendo a  $P_{prf}$  en un valor no constante.

$$P_{HVAC} = 0.064(p) + 2.49 \quad (18)$$

## **2.3 Marco legal**

En este capítulo, se presenta el conjunto de disposiciones legales, normativas y jurídicas que rigen y contextualizan el objeto de estudio de la presente investigación.

### **2.3.1 Regulaciones nacionales**

La Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE), promulgada el 12 de marzo de 2019 en Ecuador, busca promover el uso eficiente de la energía en sectores público y privado, incluyendo el transporte, con un énfasis en la electrificación del transporte público y de carga. Originalmente, la ley estipulaba que para 2025 todos los nuevos vehículos de transporte público deberían ser eléctricos. Sin embargo, con la Ley Orgánica de Competitividad Energética del 11 de enero de 2024, este requisito se pospuso para 2030, dando tiempo hasta 2024 para que los Gobiernos Autónomos Descentralizados preparen la infraestructura necesaria (República del Ecuador, Asamblea Nacional, 2019, págs. 6-7). (República del Ecuador, Asamblea Nacional, 2019, pág. 6) (República del Ecuador, Asamblea Nacional, 2024).

La normativa (NTE INEN 2656, 2016) define cómo categorizar los vehículos motorizados y no motorizados en función de sus características de diseño y propósito. Según la (NTE INEN 2 205:2010 - Vehículos Automotores. Bus urbano. Requisitos), se considera como bus urbano a cualquier vehículo motorizado especialmente concebido y preparado para circular en áreas urbanas, con una capacidad de 60 personas o más. Un bus urbano no debe exceder los 13 m de longitud, los 2.6 m de ancho o los 3.5 m de altura.

### **2.3.2 Regulaciones internacionales**

Desde 1996, las normativas de la (California Air Resources Board) Estados Unidos exigen que todos los vehículos estén dotados con el sistema de diagnóstico a bordo de segunda generación (OBD II). Este requisito forma parte de los esfuerzos para asegurar que los vehículos cumplan con los estándares de emisiones y contribuyan a la reducción de la contaminación del aire.

## CAPÍTULO 3

### 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este apartado se presenta la metodología que fue llevada a cabo para formular el modelo de estimación de demanda energética, identificando los parámetros significativos que intervienen en los diferentes cálculos del modelo seleccionado, así como también la recopilación, visualización y tratamiento de los datos obtenidos de los buses de la ruta interna del campus universitario.

La metodología de este estudio se caracteriza por ser tanto descriptiva como experimental. Se emplea un enfoque descriptivo para recopilar datos que respalden la demanda de consumo energético de los BEBs seleccionados para el modelo. Además, se adopta un enfoque experimental, ya que se empleará instrumentación para el registro de datos que serán input para el modelo.

#### 3.1 Flujograma de trabajo

La Figura 18 muestra el diagrama de flujo de la metodología seguida en este estudio, iniciando con la caracterización de la ruta elegida para analizar el consumo energético de los BEBs y la revisión de los ICEBs actuales que forman parte de la flota vehicular del campus, y concluyendo con la valoración del impacto ambiental derivado de un posible escenario considerando una conversión completa de la flota a tecnología EV.

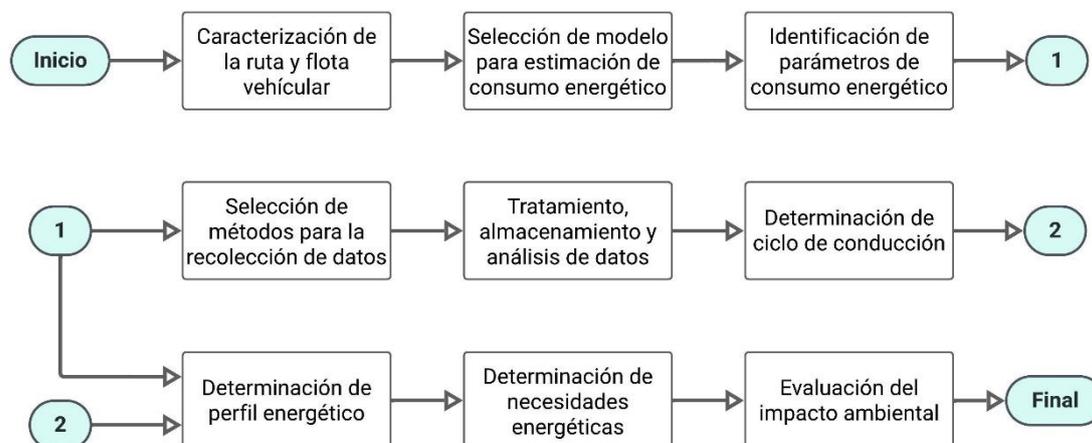


Figura 18. Diagrama de flujo de la metodología del estudio.

Fuente(s): Elaboración propia.

#### 3.2 Caracterización de la ruta y flota vehicular

Se realizó una revisión del itinerario de los buses que operan en la ruta interna del campus, incluyendo el total de paradas para recorridos de ingreso y salida. Además, se examinaron los buses designados para cubrir este itinerario, destacando especificaciones tales como su longitud, año de fabricación y el combustible que utilizan.

### 3.2.1 Características de la ruta

En el campus universitario, el recorrido interno de los buses abarca un total de 14 paradas. Estos buses realizan 7 recorridos de entrada y 6 de salida, tomando en cuenta estas paradas. El punto de partida para el trayecto de entrada es un paradero cercano a una Unidad de Policía Comunitaria (UPC), denominado como parada 1, que se dirige hacia la terminal de buses del campus, denominado como parada 8.

*Tabla 10. Recorridos entre paradas en el campus de estudio.*

Recorridos entre paradas	Distancia aproximada (km)	Descripción
1-2	0.64	Ingreso
2-3	0.93	
3-4	0.46	
4-5	0.33	
5-6	0.45	
6-7	0.52	
7-8	0.42	
	<b>3.75</b>	
8-9	0.48	Salida
9-10	0.48	
10-11	0.39	
11-12	0.93	
12-13	0.62	
13-1	0.13	
	<b>3.03</b>	
<b>Total de recorrido</b>	6.78	

Fuente(s): (Google Earth). Elaboración propia

Asimismo, la ruta de salida parte desde la parada 8 y regresan a la parada 1. Las paradas se encuentran especificadas en la Tabla 10, y puede observarse el recorrido entre cada uno en la Figura 19. Este recorrido tiene una distancia de aproximadamente 6.8 km según las medidas tomadas de (Google Earth).



Figura 19. Recorridos de la ruta interna del campus.

Fuente(s): (Google Earth).

### 3.2.2 Flota vehicular del campus

Durante una entrevista con el analista de transporte de la institución (Flores, 2023), mencionó que el campus dispone de un número determinado de vehículos para el recorrido interno en distintos momentos del día, con la finalidad de atender las necesidades de movilidad del estudiantado y/o personal dentro y fuera de las instalaciones del campus. Dicha programación se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Cantidad de vehículos disponibles para cada periodo del día.

Periodo	Horarios	Buses disponibles
1	6h30 - 8h00	3
2	8h00 - 9h30	5
3	9h30 - 16h30	3
4	16h30 - 18h00	1

Fuente(s): (Flores, 2023)

Posteriormente, en una entrevista con el nuevo analista de transporte de la institución (Marcillo, 2024), resaltó que, durante los horarios de clases con alta demanda, específicamente de 6h45 – 9h00, los buses circulan cada 5 min. Luego, la frecuencia se ajusta a cada 20 min en días típicos. También compartió información pertinente sobre la composición de la flota vehicular para el recorrido interno del campus. En la Tabla 12, se presenta un resumen de la información proporcionada, donde se destaca la presencia de 11 buses y 3 busetas, todos entrando en la categoría de BUS según la (NTE INEN 2656, 2016). Un punto notable es que la totalidad de los vehículos utilizan diésel. Para completar los detalles de la tabla, se recurrió a las hojas técnicas disponibles en los

sitios web de los fabricantes o se extrajo información de otras fuentes (Hyundai) (Mercedez Benz) (FUSO, 2020) (AMSA).

*Tabla 12. Datos de los vehículos que comprenden la flota vehicular de la ruta interna del campus.*

Tipo	Marca	Modelo	Longitud (m)	Combustible	Año de fabricación
Bus	Hyundai	COUNTY TM	6 - 7	Diesel	2013
Bus	Hyundai	COUNTY TM	6 - 7	Diesel	2013
Bus	Mercedez Benz	OF 1721-59	12	Diesel	2004
Bus	Chevrolet	FTR 32M TORPEDO	12	Diesel	2008
Bus	Chevrolet	FTR 32M TORPEDO	12	Diesel	2008
Bus	Mercedez Benz	OF 1721-59	12	Diesel	2009
Bus	Mercedez Benz	OF 1721-59	12	Diesel	2009
Bus	Mercedez Benz	OF 1721-59	12	Diesel	2010
Buseta	Mitsubishi	BUSETA ROSA 34 PAX	6 - 7	Diesel	2009
Buseta	Mitsubishi	BUSETA ROSA 34 PAX	6 - 7	Diesel	2009
Buseta	Mitsubishi	BUSETA ROSA 34 PAX	6 - 7	Diesel	2009
Bus	International	4700 FE	12	Diesel	2014
Bus	International	4700 FE	12	Diesel	2014
Bus	International	4700 FE	12	Diesel	2016

Fuente(s): (Marcillo, 2024) (Hyundai) (Mercedez Benz) (FUSO, 2020) (AMSA).

Para la recolección de datos destinados a la determinación del consumo energético, cuya metodología se presenta en la sección 3.5, se utilizaron como referencia los periodos indicados en la Tabla 11.

### 3.3 Selección de método para estimación de consumo energético

En la sección 2.1, se describieron diversas metodologías aplicadas para calcular el consumo energético de los BEBs, incluyendo análisis WTW, BTW, enfoques basados en datos, la implementación de redes neuronales artificiales y Machine Learning, hasta el empleo de un modelo físico basado en ecuaciones de la dinámica longitudinal del vehículo. Este último método es el más común según (Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023), y ha sido recomendado y aplicado por varios autores (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019) (Peñaloza & LLivicura, 2021). Por este motivo, se eligió dicho método para el caso de este estudio.

Como se describió en la sección 2.1 las ecuaciones de movimiento longitudinal del vehículo, que se fundamentan en la Segunda Ley de Newton, se aplican para estimar el consumo energético del tren de potencia en los BEBs. Este análisis incluye también la consideración de la energía regenerada a través del frenado regenerativo, así como el consumo energético de dispositivos auxiliares o periféricos. El modelo de estimación elegido se sintetiza en la Figura 20.

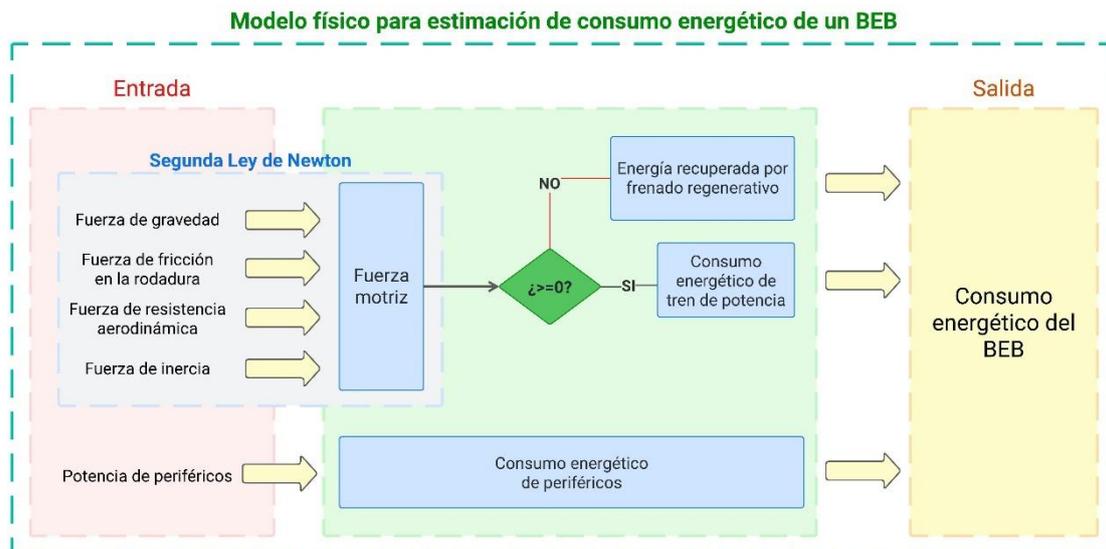


Figura 20. Diagrama resumido de modelo seleccionado.

Fuente(s): (Jahic, Eskander, Avdevičius, & Schulz, 2023) (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018) (Beckers, Besselink, Frints, & Nijmeijer, 2019) (Peñaloza & LLivicura, 2021). Elaboración propia.

### 3.4 Identificación de parámetros de consumo energético

Habiendo seleccionado el modelo y definido las ecuaciones para el cálculo del consumo energético, se requirió el ingreso de los datos correspondientes a los parámetros del BEB seleccionado. Para asegurar que satisfagan las mismas necesidades de transporte, se optó por modelos con especificaciones parecidas a las de la flota actual, detalladas en la Tabla 12, donde se presentan dos tipos de ICEBs, de 6-7 m y de 12 m.

En la Tabla 6 de la sección 2.2.6 se presentaron algunos BEBs disponibles en el mercado mundial, con sus características operativas tales como marca, modelo, longitud y capacidad de la batería. Tal como se mencionó en la sección 2.2.6, entre los BEBs listados, el modelo K9 de BYD de 12 m sobresale, particularmente en el contexto nacional, como en Guayaquil, que cuenta con una flota de 20 BEBs de esta marca (Mobility Portal, 2023). Por esta razón, y para mantener la consistencia en la flota del campus, se optó por el BEB K9 de BYD de 12 m tanto para reemplazar a los ICEBs de 12 m como a los de 6-7 m, evitando así la necesidad de emplear el modelo de estimación a dos tipos diferentes de BEBs.

La Tabla 13 muestra especificaciones técnicas del BEB seleccionado, mientras que la Tabla 14, se presentan detalla los valores de los parámetros del vehículo utilizados para el modelo de estimación. Para calcular el área frontal ( $A$ ), se utilizó la ecuación (9) de la sección 2.2.12, bajo la consideración de que la estructura es rectangular. En cuanto a la potencia eléctrica consumida por los periféricos ( $P_{prf}$ ), para el cálculo de la potencia del sistema HVAC ( $P_{HVAC}$ ), se utilizó la ecuación (18) replicando a (Szilassy & Földes, 2022).

Tabla 13. Especificaciones técnicas del BEB usados en el caso de estudio.

Característica	Descripción
Longitud (m)	12
Peso en vacío (lb)	31750
Peso bruto (lb)	43431
Asientos	37+1
Máximo pendiente	>17%
Rango	Hasta 156 millas
Capacidad de batería (kWh)	324
Capacidad de carga (kW)	80
Llantas	305/70 R 22.5

Fuente(s): (BYD).

Tabla 14. Parámetros del BEB usados en el caso de estudio.

Parámetro	Valor seleccionado	Unidad
$m_{vacío}$	14401.56* Convertido de lbs*	kg
$A$	8.77* Convertido de pulgadas*	$m^2$

Fuente(s): (BYD) (Mohamed &amp; Abdelaty, 2021) (Szilassy &amp; Földes, 2022).

Para la potencia de otros dispositivos auxiliares ( $P_{aux}$ ) como iluminación, puertas, limpiadores de parabrisas, sistemas hidráulicos, entre otros; se asumió un valor constante de 7 kW, replicando a (Mohamed & Abdelaty, 2021). Así, mediante la ecuación (17), se derivó una función lineal para  $P_{prf}$  que depende de la carga de pasajeros ( $p$ ), tal como se presenta en la ecuación (19).

$$P_{prf} = 0.064(p) + 9.49 \quad (19)$$

La Tabla 15 presenta los valores seleccionados para los otros parámetros que intervienen en el modelo de estimación, destacando a los que se consideraron constantes. Estos valores fueron tomados del estudio de (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018), estudio donde se estimó la demanda la demanda energética de BEBs basado en datos reales de redes de transporte público y otras fuentes (Peñaloza & LLivicura, 2021).

Tabla 15. Parámetros constantes utilizados en el modelo.

Parámetro	Valor seleccionado	Unidad
-----------	--------------------	--------

$g$	9.81	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
$C_R$	0.008	-
$C_D$	0.7	-
$\eta$	0.84* <b>Obtenida del producto de las eficiencias que la componen</b>	-
$n_b$	0.6	-

Fuente(s): (Gallet, Massier, & Hamacher, 2018).

Se calculó la densidad del aire según la altura usando la ecuación (8) de la sección 2.2.12, obtenida del perfil de altimetría obtenida a través la metodología de la sección 3.5.1. Además, se estimó masa de la carga de pasajeros ( $m_{pasajeros}$ ) usando el método de la sección 3.5.2.

### 3.5 Selección de métodos para la recolección de datos

Para recolectar datos sobre la carga de pasajeros de los ICEBs de la ruta interna del campus, la altimetría y velocidad vehículo, se emplearon los métodos siguientes:

#### 3.5.1 Perfil de altimetría y velocidad

Para obtener los PIDs del ICEB sometido a prueba, se empleó un dispositivo *Freematics ONE* + conectado al sistema OBD II de un vehículo persecutor, siguiendo el método de persecución detallado en la sección 2.2.11. Se eligió este enfoque con el propósito de obtener información más auténtica sobre el modo de conducción del ICEB, dado que informar al conductor acerca de la presencia del dispositivo podría no revelar una conducción agresiva que sería deseable identificar para una mejor estimación mediante el modelo. En la Figura 21 se ilustra mediante un gráfico el funcionamiento del método seleccionado.



Figura 21. Persecución de vehículo para el registro de datos.

Fuente(s): Elaboración propia.

### **Freematic ONE + Model A**

Se empleó un dispositivo (Freematics ONE+ Model A) dotado de un receptor GPS externo, como se muestra en la Figura 22, para la captura de datos de PIDs que contribuyen en el modelo de estimación del consumo energético.



*Figura 22. Dispositivo Freematics ONE + Model A con receptor GPS externo.*

Fuente(s): Elaboración propia.

Las especificaciones de este dispositivo, con sus respectivas componentes de hardware, se presentan en la Tabla 16.

*Tabla 16. Especificaciones del dispositivo Freematics ONE + Model A.*

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Controlador principal</b>	Espressif ESP32 de 4MB
<b>Sensor de movimiento</b>	ICM20948
<b>Red inalámbrica</b>	Bluetooth (clásico y BLE), Wi-fi
<b>GPS</b>	M8030 10 Hz
<b>Tarjeta microSD</b>	32 GB

Fuente(s): (Freematics) (Peñaloza & LLivicura, 2021).

Se configuró el dispositivo para obtener PIDs de modo de operación 1 del sistema OBD II del vehículo persecutor y del receptor GPS externo. Algunos de estos se presentaron en la Tabla 8 de la sección 2.2.10, no obstante, el código con el que lo almacena el dispositivo difiere solo un poco del presentado en (Wikibooks) (SAE INTERNATIONAL, 2014) . Los parámetros que se almacenaron son los presentados en la Tabla 17 (Freematics).

*Tabla 17. PIDs que se almacenaron del equipo Freematics ONE + Model A.*

<b>PID</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
0x104	Carga calculada del motor	%
0x10D	Velocidad del vehículo	km/h

0x10E	Avance del tiempo	°antes
0x111	Posición del acelerador	%
0xA	Latitud	-
0xB	Longitud	-
0xC	Altitud	-
0xD	Velocidad	km/h
0xE	Rumbo (en grados)	°

Fuente(s): (Freematics).

La Figura 23 muestra cómo se conecta el dispositivo al conector OBD II del vehículo de persecución, en conjunto con el receptor externo GPS, para el registro de datos de geolocalización, siguiendo el mismo recorrido del ICEB.



*Figura 23. Conexión de dispositivo Freematics ONE + Model A en vehículo de persecución.*

Fuente(s): Elaboración propia.

### **Especificaciones del vehículo de persecución**

La Tabla 18 detalla varias de las especificaciones del vehículo empleado en la persecución del ICEB, por facilidad de uso al ser vehículo propio.

*Tabla 18. Especificaciones técnicas del vehículo persecutor usado en el caso de estudio.*

Característica	Descripción
<b>Marca</b>	JAC
<b>Modelo</b>	T6 4x2
<b>Tracción</b>	4x2
<b>Potencia máx. (hp)</b>	150

<b>Combustible</b>	Gasolina
--------------------	----------

Fuente(s): (JAC MOTORS).

### 3.5.2 Caracterización de la carga de pasajeros

Para recopilar datos sobre la carga de pasajeros de los ICEBs, se llevó a cabo un muestreo in situ, el cual implicó registrar directamente muestras dentro de los vehículos. Se tomó nota del número de pasajeros que subieron y bajaron en cada parada, con el fin de obtener la cantidad de pasajeros presentes en el vehículo durante cada tramo del recorrido (entre paradas), desglosando la información por género, es decir, por cantidad de hombres (H) y mujeres (M).

Asimismo, se registró la hora y fecha en la que fue realizada la muestra, considerando los periodos expuestos en la Tabla 11 de la sección 3.2.2. Cabe mencionar que se llevó a cabo un muestreo en diferentes periodos académicos, pero ambas en fases reconocidas como de actividades formativas según lo establecido por la institución (Calendario académico de grado). En la Tabla 19, se presenta un promedio del número de pasajeros por género y por recorrido para cada periodo establecido.

*Tabla 19. Caracterización de la demanda de pasajeros promedio por periodo del día.*

Recorridos entre paradas	Periodo							
	1		2		3		4	
	H	M	H	M	H	M	H	M
1-2	36	42	39	35	33	32	14	7
2-3	36	41	36	34	30	29	13	8
3-4	29	36	31	30	29	23	11	7
4-5	12	17	15	13	16	14	8	6
5-6	9	10	11	8	13	9	5	5
6-7	8	10	7	6	11	5	5	4
7-8	8	9	9	8	8	5	5	5
8-9	4	3	5	4	4	4	0	0
9-10	2	1	3	2	2	1	0	0
10-11	2	1	2	1	1	0	0	0
11-12	0	0	1	0	0	0	0	0
12-13	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>% Total</b>	46%	54%	53%	47%	54%	46%	59%	41%

Fuente(s): Elaboración propia.

Para estimar la masa de la carga de pasajeros ( $m_{pasajeros}$ ) en función de su género considerando que los principales usuarios de los ICEBs de la ruta interna del campus son estudiantes, se efectuó un sondeo utilizando encuestas digitales a través de (Google Forms), esto permitió obtener una estimación de los pesos promedio, que se detallan en la Tabla 20.

Tabla 20. Peso promedio aproximado por género.

Hombres (kg)	Mujeres (kg)
71.16	55.94

Fuente(s): Elaboración propia.

### 3.6 Tratamiento, almacenamiento y análisis de datos

El dispositivo *Freematic ONE + Model A* almacenó los datos de los parámetros mencionados en la sección 3.2.1 con un tiempo de muestreo de 1 s, dentro de un archivo ".csv", el cual fue guardado en la tarjeta microSD. Los datos fueron registrados conforme se muestra en la Tabla 21, ilustrando algunos de los PIDs configurados para ser capturados por el dispositivo.

Tabla 21. Tabla con formato de almacenamiento de datos de equipo *Freematics ONE+*.

1,013,320.291		
A	-2.144825	
B	-79.965294	
C	0	
D	14.5	
E	93	
12,255		
82	49	
10D	16	
10C	1396	
111	17	
104	37	
10E	31	
241,400		
20	-0.08	0.06

Fuente(s): Elaboración propia.

Posteriormente, estos datos se procesaron con el software (Microsoft Excel), tratándolos para crear un orden lógico basado en los parámetros de velocidad, latitud, longitud y altitud, tal como se presenta en la muestra correspondiente a la Tabla 22, siendo estos parámetros de ingreso para el modelo.

Tabla 22. Muestra de datos recopilados de *Freematics ONE + Model A*.

Velocidad km/h (0x10D)	Latitud (0xA)	Longitud (0xB)	Altitud msnm (0xC)
0	-2.144825	-79.965294	93.41
0	-2.144851	-79.965294	93.41

0	-2.144839	-79.965134	93.41
0	-2.144839	-79.965096	93.41
0	-2.144831	-79.965027	93.41
0	-2.144822	-79.964996	93.41
0	-2.144798	-79.964966	93.41
0	-2.144766	-79.964943	93.41
0	-2.144749	-79.964935	93.41
0	-2.144739	-79.964935	93.41
0	-2.144725	-79.964928	93.41
0	-2.144678	-79.964943	93.41
0	-2.144654	-79.964951	93.41
0	-2.144633	-79.964958	93.41
0	-2.144603	-79.964973	93.41
0	-2.14456	-79.964996	93.41
0	-2.144513	-79.965034	93.41
0	-2.144417	-79.965103	93.41
0	-2.144363	-79.965134	93.41
0	-2.14431	-79.965179	93.41

Fuente(s): Elaboración propia.

Se procedió a modificar la Tabla 22 para diversificar la información por recorridos, con el fin de llevar a cabo el análisis pertinente sobre el consumo energético y el ciclo de manejo del vehículo, considerando la pendiente de la carretera (expresada tanto en grados como en porcentaje).

### 3.6.1 Cálculo de la pendiente de la ruta

Para calcular la pendiente en cada intervalo, se emplearon las magnitudes de velocidad (0x10D) y altitud (0xC) procesadas previamente. Inicialmente, se determinó la distancia recorrida en cada intervalo ( $d_i$ ) mediante la ecuación (20), considerando un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA). En esta,  $V_i$  corresponde a la velocidad relativa en cada intervalo, considerada según el MRUA como velocidad final, y  $V_{i-1}$  como velocidad inicial, y  $\Delta t$  la tasa de cambio del tiempo (Peñaloza & LLivicura, 2021) (calculadoradefisica.online).

$$d_i = \left( \frac{V_{i-1} + V_i}{2} \right) (\Delta t) \quad (20)$$

Posteriormente, se determinó la pendiente de la carretera en ° para el cambio de altitud ( $\Delta a_i$ ) en cada intervalo mediante la ecuación (21). Es importante señalar que, al emplear (Microsoft Excel) para los cálculos, el valor de  $\alpha$  inicialmente se obtuvo en radianes, ya que así lo realizan las funciones trigonométricas del software, lo que hizo necesaria una conversión posterior a grados (°) usando la relación  $1 \text{ rad} = (1^\circ) \left( \frac{\pi}{180^\circ} \right)$  (Quinones) (Peñaloza & LLivicura, 2021).

$$\alpha_i = \sin^{-1} \left( \frac{\Delta a_i}{d_i} \right) \quad (21)$$

El cambio de altitud ( $\Delta a_i$ ) en cada intervalo, se puede calcular según lo indicado en la ecuación (22).

$$a_i = \Delta a_i = a_i - a_{i-1} \quad (22)$$

Para convertir las unidades de la pendiente de la carretera de la ecuación (21) de grados ( $^\circ$ ) a porcentaje en cada intervalo ( $p\%_i$ ), se utilizó la ecuación (23).

$$p\%_i = \tan(\alpha_i) \cdot 100 \quad (23)$$

### 3.7 Determinación de ciclo de conducción

Haciendo uso de los datos de velocidad del vehículo (0x10D) del vehículo de persecución capturados a través del puerto OBD II con el dispositivo *Freematics ONE + Model A*, en un recorrido durante cada uno de los periodos descritos en la sección 3.2.2, se logró simular el ciclo de conducción del ICEB que efectuó dicho recorrido. A partir de este ciclo de conducción, se identificaron y detallaron parámetros fundamentales, como los que se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Parámetros clave de ciclo de conducción.

<b>Velocidad máxima</b>	km/h
<b>Velocidad promedio</b>	km/h
<b>Distancia recorrida</b>	km
<b>Tiempo de recorrido</b>	min
<b>Pendiente máxima</b>	%

Fuente: (Peñaloza & LLivicura, 2021).

#### 3.7.1 Velocidad máxima

La velocidad máxima de cada recorrido se calculó mediante el filtrado del parámetro de velocidad (0x10D), capturado por el dispositivo *Freematics One + Model A*, utilizando una tabla dinámica en (Microsoft Excel).

#### 3.7.2 Velocidad promedio

De igual manera, se obtuvo la velocidad promedio de cada recorrido mediante el filtrado del parámetro de velocidad (0x10D), capturado por el dispositivo *Freematics One + Model A*, utilizando una tabla dinámica en (Microsoft Excel).

#### 3.7.3 Distancia recorrida

La distancia total recorrida en la ruta ( $D$ ) se obtuvo con la sumatoria de todas las distancias recorridas entre paradas sucesivas ( $d_{ij}$ ), conforme se especifica en la

ecuación (24). Este valor se obtuvo también mediante filtrado utilizando tabla dinámica en (Microsoft Excel).

$$D = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n d_{ij} \quad (24)$$

### 3.7.4 Tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido entre estaciones se obtuvo, de igual manera, utilizando una tabla dinámica en (Microsoft Excel).

### 3.7.5 Pendiente máxima

Se determinó la pendiente máxima de cada recorrido mediante el filtrado de los valores obtenidos de la ecuación (23).

## 3.8 Determinación de perfil energético

Se crearon hojas de cálculo en (Microsoft Excel), integrando los ciclos de conducción de cada periodo establecido en la Tabla 11, perfil de altitud y pendientes, además de todas las ecuaciones del modelo de estimación y todos los parámetros necesarios, para determinar el perfil energético del BEB seleccionado considerando la masa de carga de pasajeros ( $m_{pasajeros}$ ) promedio basado en los datos obtenidos mediante el método presentado en la sección 3.5.

### 3.8.1 Determinación de consumo energético del BEB

Para determinar el consumo energético del BEB ( $EC$ ) en cada periodo  $k$ , y recorrido entre paradas consecutivas  $j$  de la ruta interna del campus, se consideró la ecuación (25). Este cálculo toma en cuenta la energía utilizada por el tren de potencia, la energía recuperada a través del frenado regenerativo, y la energía consumida por los dispositivos auxiliares/periféricos, siguiendo las ecuaciones (11)(12)(15) descritas en la sección 2.2.12.

$$EC_k = \sum_{j=1}^m (E_{tr_{k,j}} + E_{m_{k,j}} + E_{prf_{k,j}}) \quad (25)$$

### 3.8.2 Evaluación de las necesidades energéticas para la carga

Para determinar las necesidades energéticas que deberá abordar la infraestructura eléctrica del campus en el marco de la transición hacia una flota vehicular compuesta exclusivamente por BEBs, considerando el consumo energético obtenido en la sección 3.8.1, por cada periodo expuesto en la Tabla 11. Se utilizó como base el tiempo de recorrido determinado para cada ciclo de conducción obtenido de la sección 3.7, de esta manera, permitiendo así una estimación del consumo energético anual de la flota bajo las siguientes condiciones:

- Solo se incluyeron los periodos académicos ordinarios, excluyendo vacaciones.
- A los periodos académicos extraordinarios se los consideró como periodos académicos ordinarios.
- Se consideraron los periodos expuestos en el (Calendario académico de grado), tomando como referencia el del año 2023, al ser un año donde ya culminó la emergencia en salud pública por COVID-19 (Ministerio de Salud Pública, 2023), y las clases fueron completamente presenciales.
- Los días operativos de la flota se limitan de lunes a viernes, de acuerdo con lo establecido por la (Ley Orgánica del Servicio Público).
- No se contarán los días de feriado vacacional.

Además, de acuerdo con lo detallado en la sección 3.4, se tomó en consideración la conversión de la flota existente, descrita en la Tabla 12, que incluye tanto ICEBs de 6-7 m como de 12 m, hacia una flota exclusiva de BEBs modelo K9 de BYD de 12 m.

### 3.9 Evaluación del impacto ambiental

Basándose en las necesidades energéticas identificadas en la sección 3.8.2 y en el registro de consumo de combustible del año 2023 (Marcillo, 2024), se efectuó un análisis comparativo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, tomando en cuenta lo siguiente:

- Para la conversión del consumo de diésel a emisiones de CO<sub>2</sub>, se empleó un factor de 2.66 ton CO<sub>2</sub>-eq/L conforme a lo indicado por (GOV.UK, 2023)
- En cuanto a la conversión del consumo eléctrico a emisiones de CO<sub>2</sub>, se aplicó un factor de emisión para el uso de electricidad en el SNI de 0.092 ton CO<sub>2</sub>-eq/MWh correspondiente al año 2022, según el (Ministerio de Energía y Minas). No se consideró el factor del año más reciente, 2023, ya que aún no ha sido publicado.

### 3.10 Presentación y análisis de resultados

Este estudio tuvo como finalidad proponer un método para calcular el consumo de energía de BEBs, con el objetivo de evaluar cuánta energía necesitaría suministrar la red eléctrica del campus si se reemplazan los actuales ICEBs por una flota completamente eléctrica. Mediante un enfoque de modelos físicos y la recopilación de datos de velocidad y altitud con el dispositivo *Freematics One + Model A*, realizando cada uno de los recorridos entre paradas consecutivas que comprende la ruta interna del campus, tal como se observa en la Figura 24, se logró definir el perfil de altitud, los ciclos de conducción y el consumo energético para los diferentes periodos programados del día. Comparando estos datos con el histórico de consumo de los BEBs, se evaluó el impacto ambiental de la transición a una flota totalmente eléctrica.

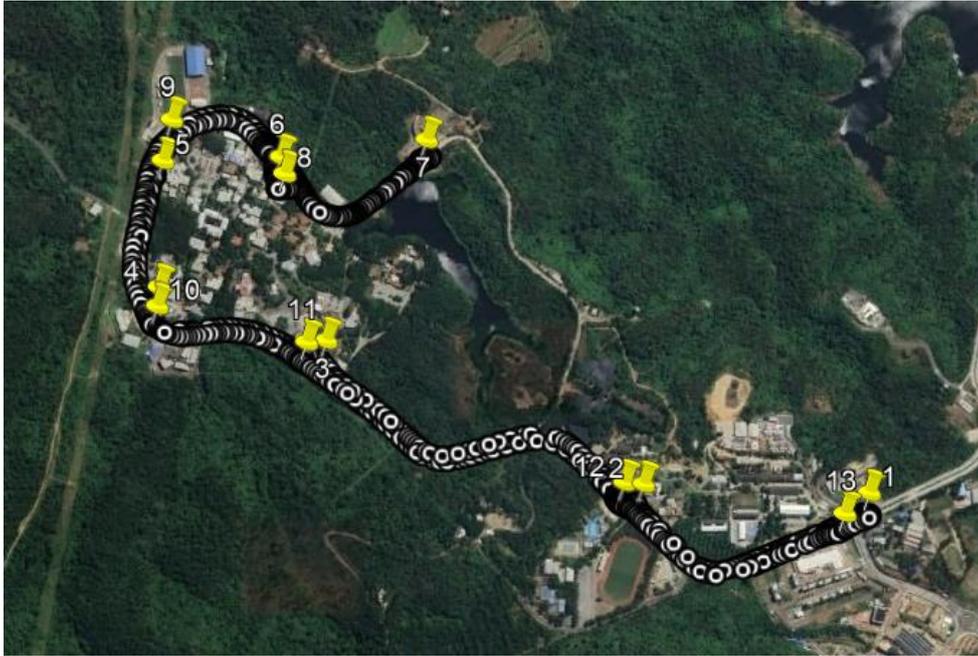


Figura 24. Recorrido realizado de la ruta interna del campus para la toma de datos.

Fuente(s): (Google Earth).

### 3.10.1 Perfil de altitud y pendiente de la carretera

Se elaboraron perfiles de altitud y pendiente para cada segmento de la ruta interna del campus, detallados en las gráficas Figura 25, Figura 26, Figura 27 y Figura 28.. En estas, se observan variaciones pronunciadas, con picos altos y bajos, que podrían atribuirse a la naturaleza entera de los datos de velocidad obtenidos del PID (0x10D), sin decimales. Esta característica puede provocar valores exagerados de la pendiente, especialmente cuando los valores transitan de cero a un número entero significativo y viceversa, resultando en porcentajes de pendiente inusualmente altos.

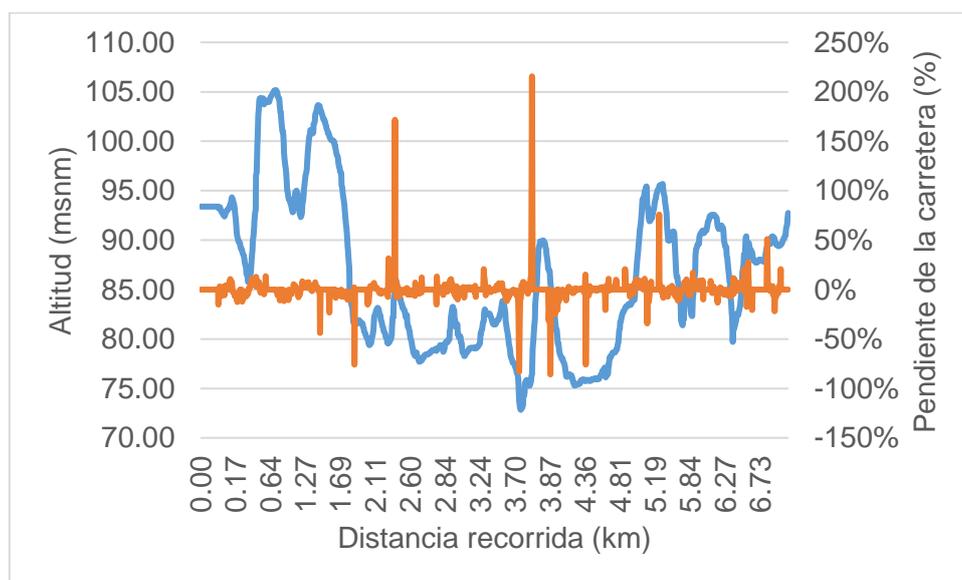


Figura 25. Recorrido de ruta interna del campus durante periodo 1 (6h30 - 8h00).

Fuente(s): Elaboración propia.

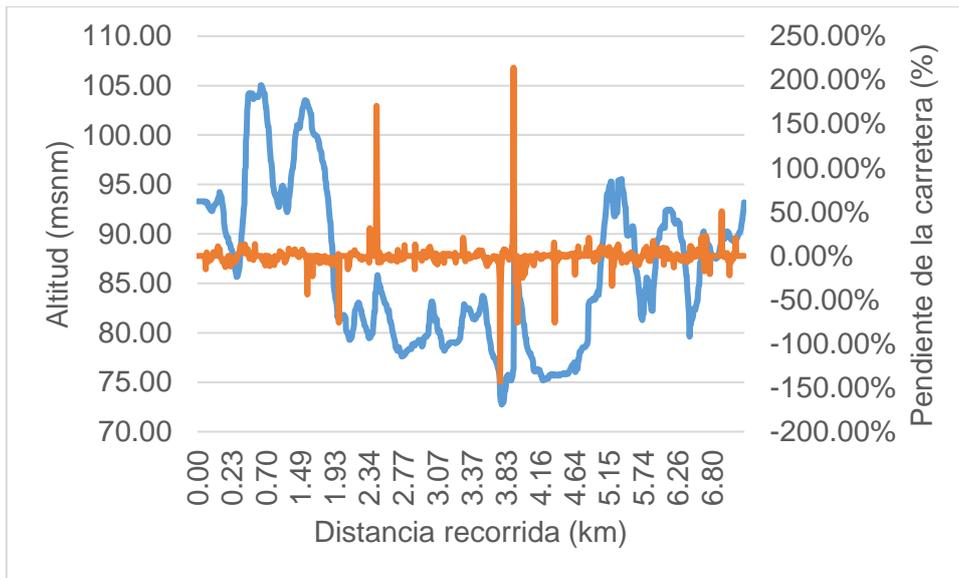


Figura 26. Recorrido de ruta interna del campus durante periodo 2 (8h00 - 9h30).

Fuente(s): Elaboración propia.

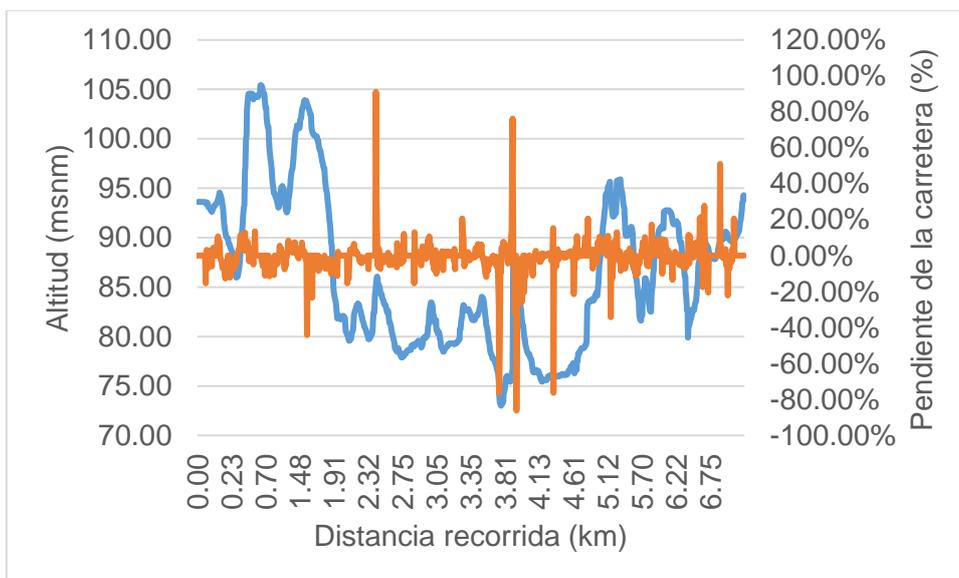


Figura 27. Recorrido de ruta interna del campus durante periodo 3 (9h30 - 16h30).

Fuente(s): Elaboración propia.

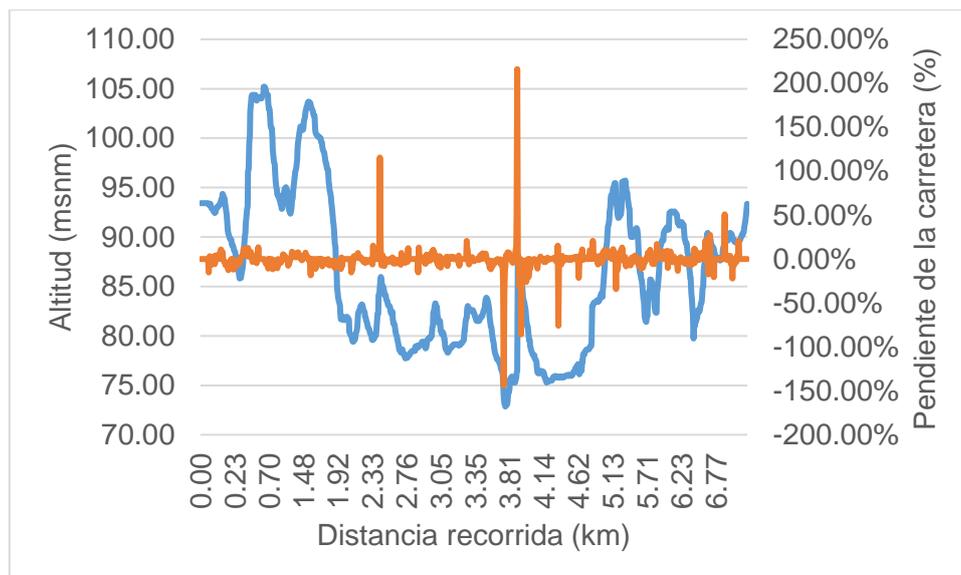


Figura 28. Recorrido de ruta interna del campus durante periodo 4 (16h30 - 18h00).

Fuente(s): Elaboración propia.

La Tabla 24 muestra un resumen de los valores de pendiente y altitud recabados para cada tramo entre paradas consecutivas y por cada periodo. Los datos de altitud por periodo muestran variaciones mínimas, destacándose que el punto de altitud más elevado se encuentra en el recorrido 2-3, con una altitud máxima registrada de 105.17 msnm, mientras que el más bajo se ubica en el recorrido 7-8, con una altitud mínima de 72.83 msnm.

Tabla 24. Resumen de pendientes y altitudes de cada recorrido por periodos.

Periodo	Recorrido entre paradas	Pendiente máxima (%)	Pendiente mínima (%)	Altitud máxima (msnm)	Altitud mínima (msnm)
1	1-2	13.56%	-15.30%	104.33	85.76
	2-3	8.31%	-11.52%	105.17	92.32
	3-4	2.20%	-44.06%	103.24	81.65
	4-5	6.63%	-75.94%	83.16	79.38
	5-6	171.60%	-7.58%	85.93	77.70
	6-7	13.07%	-15.30%	83.24	77.95
	7-8	47.90%	-143.69%	83.83	72.83
	8-9	215.64%	-85.84%	89.96	75.26
	9-10	10.90%	-75.94%	78.96	75.77
	10-11	20.58%	-34.19%	95.42	78.96
	11-12	75.94%	-11.06%	95.68	81.40
	12-13	27.61%	-17.54%	92.57	79.72
	13-1	50.90%	-22.12%	92.74	87.70
2	1-2	13.40%	-15.11%	103.09	84.74
	2-3	8.10%	-11.38%	103.92	91.22
	3-4	2.17%	-43.44%	102.01	80.68

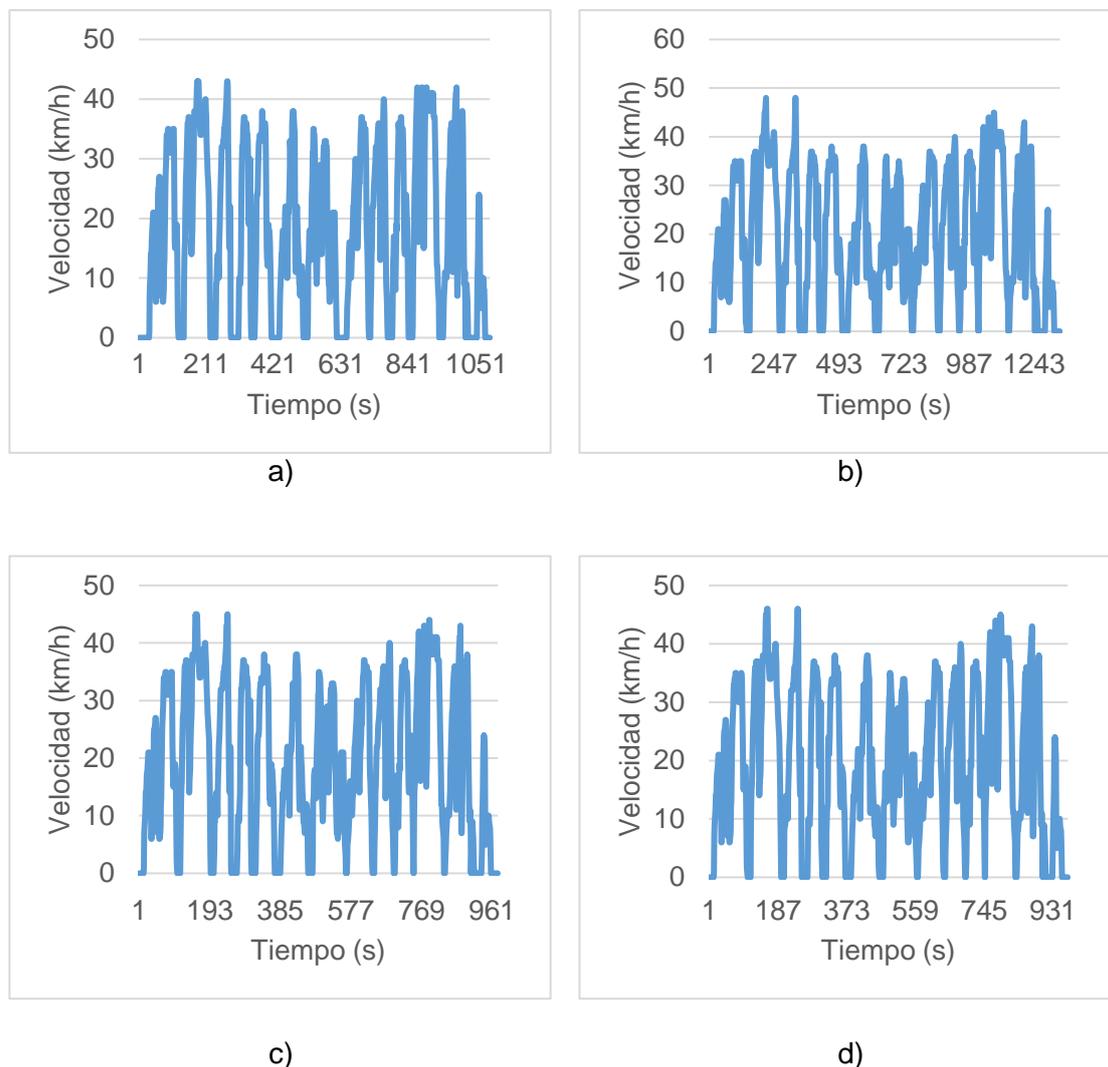
	4-5	6.55%	-74.53%	82.17	78.44
	5-6	163.94%	-7.49%	84.91	76.78
	6-7	12.91%	-15.11%	82.25	77.02
	7-8	47.20%	-138.64%	82.83	71.96
	8-9	202.24%	-74.53%	87.07	74.37
	9-10	10.77%	-74.53%	78.02	74.87
	10-11	20.33%	-33.73%	94.29	78.02
	11-12	17.00%	-10.93%	94.54	80.43
	12-13	22.46%	-17.33%	91.47	78.77
	13-1	50.14%	-21.85%	92.21	86.57
3	1-2	13.48%	-15.20%	103.71	85.25
	2-3	8.26%	-11.45%	104.54	91.77
	3-4	2.19%	-43.75%	102.62	81.16
	4-5	6.59%	-75.23%	82.67	78.91
	5-6	89.77%	-7.54%	85.42	77.24
	6-7	12.99%	-15.20%	82.75	77.49
	7-8	40.55%	-117.49%	83.33	72.39
	8-9	75.23%	-84.95%	87.59	74.82
	9-10	10.83%	-75.23%	78.49	75.32
	10-11	20.45%	-33.96%	94.86	78.49
	11-12	17.11%	-11.00%	95.11	80.91
	12-13	27.43%	-17.44%	92.02	79.24
	13-1	50.52%	-21.98%	93.52	87.09
4	1-2	13.56%	-15.30%	104.33	85.76
	2-3	8.31%	-11.52%	105.17	92.32
	3-4	2.20%	-44.06%	103.24	81.65
	4-5	6.84%	-75.94%	83.16	79.38
	5-6	171.60%	-8.09%	85.93	77.70
	6-7	13.07%	-15.30%	83.24	77.95
	7-8	47.90%	-143.69%	83.83	72.83
	8-9	215.64%	-85.84%	88.12	75.26
	9-10	10.90%	-75.94%	78.96	75.77
	10-11	20.58%	-34.19%	95.42	78.96
	11-12	17.21%	-11.06%	95.68	81.40
	12-13	27.61%	-17.54%	92.57	79.72
	13-1	50.90%	-22.12%	93.32	87.61

Fuente(s): Elaboración propia.

### 3.10.2 Ciclo de conducción

La Figura 29 muestra los ciclos de conducción recogidos a lo largo de los trayectos por la ruta interna del campus durante distintos momentos del día. Se identifican en cada uno de ellos picos de velocidad que sobrepasan los 40 km/h. Si bien estos picos se mantienen por debajo del límite urbano de 50 km/h definido por la (ANT), exceden el límite de velocidad de 40 km/h establecido dentro del campus.

Figura 29. Ciclos de conducción de la ruta interna del campus, a) periodo 1 (6h30 - 8h00), b) periodo 2 (8h00 - 9h30), c) periodo 3 (9h30 - 16h30), periodo 4 (16h30 - 18h00).



Fuente(s): Elaboración propia.

La Tabla 25 presenta los parámetros característicos de los ciclos de conducción para cada periodo programado del día de la ruta interna del campus. Destaca que la velocidad máxima observada oscila entre 43 y 48 km/h, la distancia total varía de 6.83 a 6.86 km, y el tiempo de recorrido fluctúa entre 22.28 y 22.43 min. Los periodos 1 y 2 muestran los tiempos de recorrido más largos, lo cual concuerda con lo indicado por el analista de transporte (Marcillo, 2024), que existe una alta demanda de 6h45 – 9h00.

Tabla 25. Parámetros característicos de ciclo de conducción.

Periodo	Recorrido entre paradas	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)	Distancia recorrida (km)	Tiempo de recorrido (min)
1 (6h30 - 8h00)	1-2	35.00	14.98	0.64	2.33
	2-3	43.00	26.01	0.92	2.03

	3-4	43.00	18.59	0.44	1.42
	4-5	37.00	15.67	0.32	1.18
	5-6	38.00	20.06	0.44	1.32
	6-7	38.00	14.11	0.49	2.05
	7-8	35.00	17.54	0.63	2.05
	8-9	37.00	15.07	0.49	1.93
	9-10	40.00	22.72	0.45	1.17
	10-11	37.00	17.58	0.38	1.25
	11-12	42.00	26.12	0.91	1.97
	12-13	42.00	18.09	0.63	2.15
	13-1	24.00	4.01	0.10	1.50
		<b>43.00</b>	<b>17.81</b>	<b>6.83</b>	<b>22.35</b>
2 (8h00 - 9h30)	1-2	35.00	17.77	0.64	2.35
	2-3	48.00	28.71	0.93	2.03
	3-4	48.00	21.54	0.44	1.42
	4-5	37.00	17.95	0.32	1.18
	5-6	38.00	20.19	0.44	1.32
	6-7	38.00	15.64	0.49	2.05
	7-8	36.00	17.93	0.63	2.05
	8-9	37.00	20.78	0.49	1.93
	9-10	40.00	22.83	0.45	1.18
	10-11	37.00	21.77	0.39	1.25
	11-12	45.00	30.22	0.94	1.97
	12-13	43.00	20.34	0.64	2.15
	13-1	25.00	4.50	0.10	1.55
		<b>48.00</b>	<b>20.17</b>	<b>6.90</b>	<b>22.43</b>
3 (9h30 - 16h30)	1-2	35.00	17.71	0.64	2.24
	2-3	45.00	28.42	0.92	2.03
	3-4	45.00	21.30	0.44	1.42
	4-5	37.00	17.95	0.32	1.18
	5-6	38.00	20.10	0.43	1.32
	6-7	38.00	15.48	0.49	2.05
	7-8	35.00	17.90	0.63	2.05
	8-9	37.00	20.62	0.49	1.93
	9-10	40.00	22.71	0.45	1.17
	10-11	37.00	21.57	0.38	1.25
	11-12	44.00	29.96	0.93	1.97
	12-13	43.00	20.09	0.63	2.15
	13-1	24.00	4.20	0.10	1.58
		<b>45.00</b>	<b>19.96</b>	<b>6.85</b>	<b>22.34</b>
4 (16h30 - 18h00)	1-2	35.00	17.65	0.64	2.33
	2-3	46.00	28.47	0.92	2.03
	3-4	46.00	21.45	0.44	1.42
	4-5	37.00	17.82	0.32	1.18
	5-6	38.00	19.97	0.43	1.32

6-7	38.00	15.48	0.49	2.03
7-8	35.00	17.92	0.63	2.05
8-9	37.00	20.64	0.49	1.92
9-10	40.00	22.74	0.45	1.17
10-11	37.00	21.64	0.38	1.25
11-12	45.00	30.06	0.94	1.97
12-13	43.00	20.12	0.63	2.10
13-1	24.00	4.55	0.10	1.52
	<b>46.00</b>	<b>20.08</b>	<b>6.86</b>	<b>22.28</b>

Fuente(s): Elaboración propia.

### 3.10.3 Perfil energético

Tras analizar 21 muestras para caracterizar la demanda de pasajeros por género y período del día, junto con 20 muestras referentes a la masa de pasajeros por género obtenidas mediante (Google Forms), se determinó la energía necesaria para que un BEB complete la ruta interna del campus en distintos momentos del día, resultados que se exponen en la Los picos de consumo para los periodos 1 y 3 se observan en el recorrido 1-2, mientras que para los periodos 2 y 4, el pico ocurre en el recorrido 2-3. Basado en la distancia total de cada periodo, el consumo energético máximo identificado fue de 3.54 kWh/km.

Tabla 26.

De acuerdo con esta, el consumo energético más elevado (24.41 kWh) ocurre en el periodo 2 (8h00- 9h30), coincidiendo con la franja de máxima demanda de transporte, según indica el analista de transporte (Marcillo, 2024). Le siguen el periodo 3 (9h30 - 16h30) con un consumo ligeramente superior al periodo 1 (6h30 - 8h00), y finalmente el periodo 4 (16h30 - 18h00), que registra el menor consumo con 3.27 kWh.

Los picos de consumo para los periodos 1 y 3 se observan en el recorrido 1-2, mientras que para los periodos 2 y 4, el pico ocurre en el recorrido 2-3. Basado en la distancia total de cada periodo, el consumo energético máximo identificado fue de 3.54 kWh/km.

Tabla 26. Energía requerida por un BEB para cada uno de los periodos del día.

Recorrido entre paradas	Periodo			
	1 (6h30 - 8h00)	2 (8h00- 9h30)	3 (9h30 - 16h30)	4 (16h30 - 18h00)
1-2	3.26	3.38	3.13	2.39
2-3	3.17	3.39	3.08	2.93
3-4	0.77	0.89	0.79	0.77
4-5	1.31	1.31	1.32	1.25
5-6	1.05	1.09	1.11	1.15
6-7	1.69	1.69	1.68	1.64
7-8	1.92	1.97	1.93	1.92
8-9	1.05	1.08	1.06	1.07
9-10	1.61	1.62	1.61	1.60

10-11	1.73	1.75	1.72	1.71
11-12	3.05	3.27	3.42	3.34
12-13	2.16	2.40	2.18	2.16
13-1	0.48	0.56	0.50	0.48
<b>Energía consumida (kWh)</b>	<b>23.29</b>	<b>24.41</b>	<b>23.52</b>	<b>22.43</b>
<b>Distancia recorrida (km)</b>	<b>6.83</b>	<b>6.90</b>	<b>6.85</b>	<b>6.86</b>
<b>kWh/km</b>	<b>3.41</b>	<b>3.54</b>	<b>3.43</b>	<b>3.27</b>

Fuente(s): Elaboración propia.

La Figura 30 presenta el perfil energético del BEB durante el periodo 1, diferenciando entre la energía usada por el tren de potencia y los dispositivos auxiliares/periféricos, así como la energía recuperada por frenado regenerativo. Se observa un pico de consumo del tren de potencia de 0.3598 kWh durante el recorrido 1-2. Además, la energía recuperada a través del frenado regenerativo constituyó aproximadamente un 2.09% del total consumido por el BEB, alcanzando un total de 0.49 kWh.

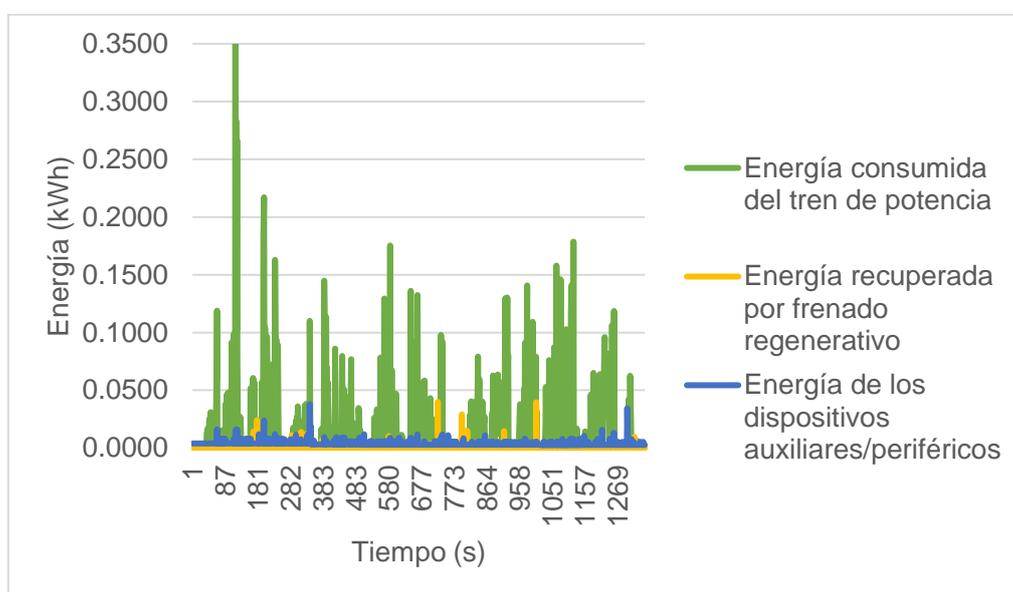


Figura 30. Perfil energético del BEB en la ruta interna del campus durante el periodo 1.

Fuente(s): Elaboración propia.

La Figura 31 presenta el perfil energético del BEB durante el periodo 2, donde a diferencia del periodo 1, se presenta el pico de consumo del tren potencia de 0.3728 kWh durante el recorrido 11-12, seguido por otro en el recorrido 1-2 de 0.3239 kWh. La energía recuperada en este periodo solo constituyó aproximadamente el 1.91% del consumo total.

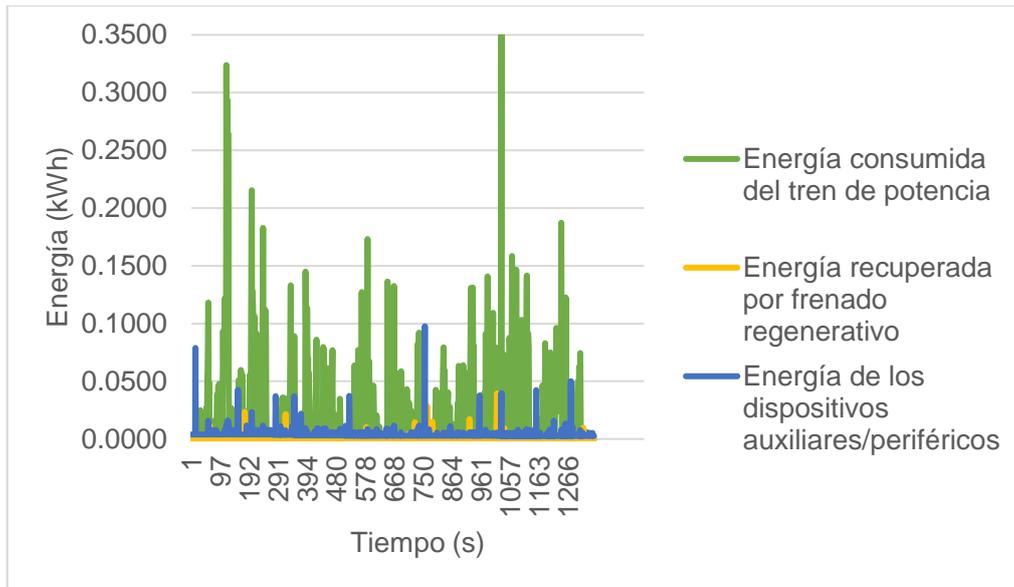


Figura 31. Perfil energético del BEB en la ruta interna del campus durante el periodo 2.

Fuente(s): Elaboración propia.

Similar al periodo 2, tal como se presenta en la Figura 32, en el periodo 3 se presentan dos picos de consumo del tren de potencia muy cercanos en magnitud, siendo de 0.3710 kWh durante el recorrido 11-12, y de 0.3239 kWh durante el recorrido 1-2. El porcentaje de energía recuperada es de aproximadamente el 1.85%.

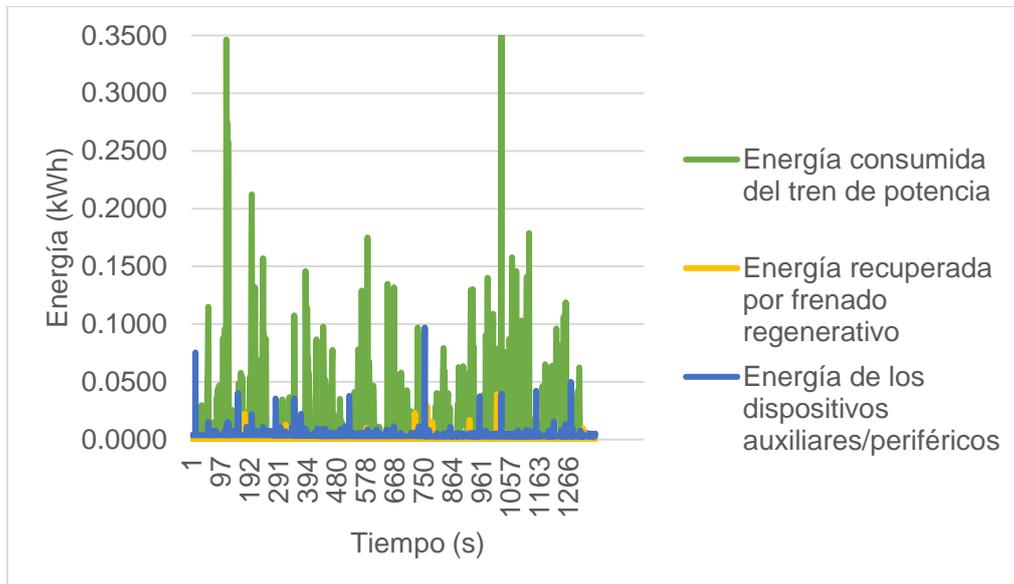


Figura 32. Perfil energético del BEB en la ruta interna del campus durante el periodo 3.

Fuente(s): Elaboración propia.

Finalmente, en la Figura 33, se presenta el perfil energético del BEB durante el periodo 4. El pico de consumo energético del tren de potencia se registra en el recorrido 11-12,

con un valor de 0.3704 kWh. La energía recuperada fue de aproximadamente el 1.72% de la energía consumida total.

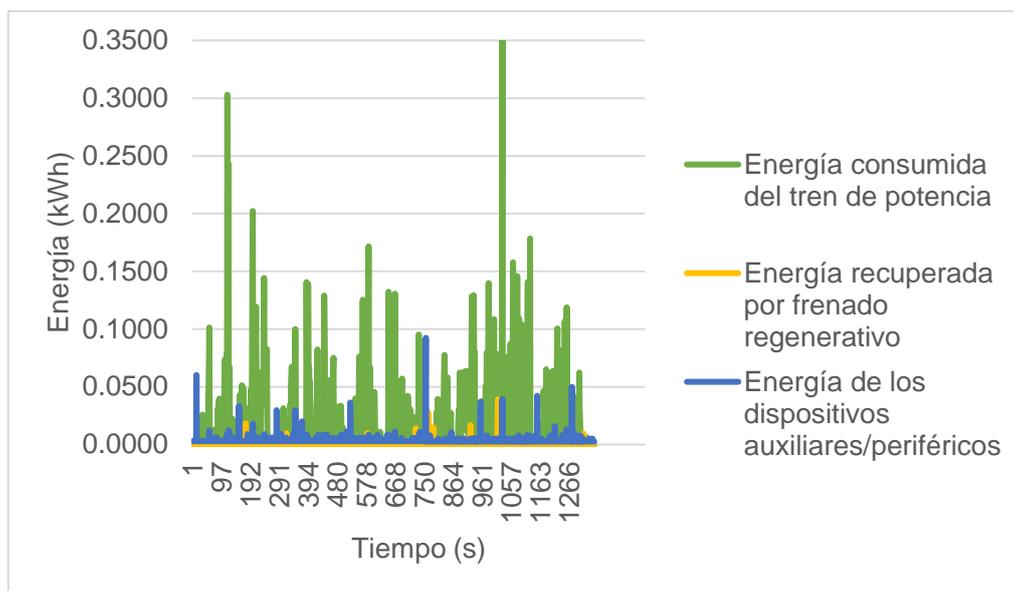


Figura 33. Perfil energético del BEB en la ruta interna del campus durante el periodo 4.

Fuente(s): Elaboración propia.

### 3.10.4 Necesidades energéticas de infraestructura de carga

Basándose en los datos de consumo energético detallados en la Tabla 26 y otros factores mencionados en la sección 3.8.2, se calculó la cantidad de energía que necesitaría proporcionar la infraestructura eléctrica del campus para satisfacer las necesidades de una potencial flota exclusivamente de BEBs para la ruta interna del campus, cuyos resultados se exponen en la Tabla 2. Esta demanda se estima en aproximadamente 139.60 MWh al año, considerando 198 días operativos según el (Calendario académico de grado) de la institución.

Tabla 27. Estimación de las necesidades energéticas que deberá suplir la infraestructura eléctrica del campus.

Recorrido entre paradas	Periodo			
	1 (6h30 - 8h00)	2 (8h00 - 9h30)	3 (9h30 - 16h30)	4 (16h30 - 18h00)
Duración de franja (min)	90	90	420	90
Tiempo de recorrido (min)	22.35	22.43	22.34	22.28
Buses disponibles	3	5	3	1
Número de recorridos/ bus	1	1	6	4
Consumo de energía/recorrido (kWh)	23.29	24.41	23.52	22.43
Consumo de energía/periodo (kWh)	69.87	122.06	423.36	89.74
Consumo de energía/día (kWh)	705.03			
Número días en el año	198			

<b>Consumo de energía anual (MWh)</b>	139.60
---------------------------------------	--------

Fuente(s): Elaboración propia.

### 3.10.5 Impacto ambiental

Al analizar la información sobre el consumo de diésel de los ICEBs proporcionada por el analista de transporte de la institución y presentada en la Figura 34, se identificó un consumo diésel promedio mensual de 1250.82 gal con un pico de 2838.61 gal en mayo, y un consumo total anual para 2023 de cerca de 151.24 ton CO<sub>2</sub>-eq.

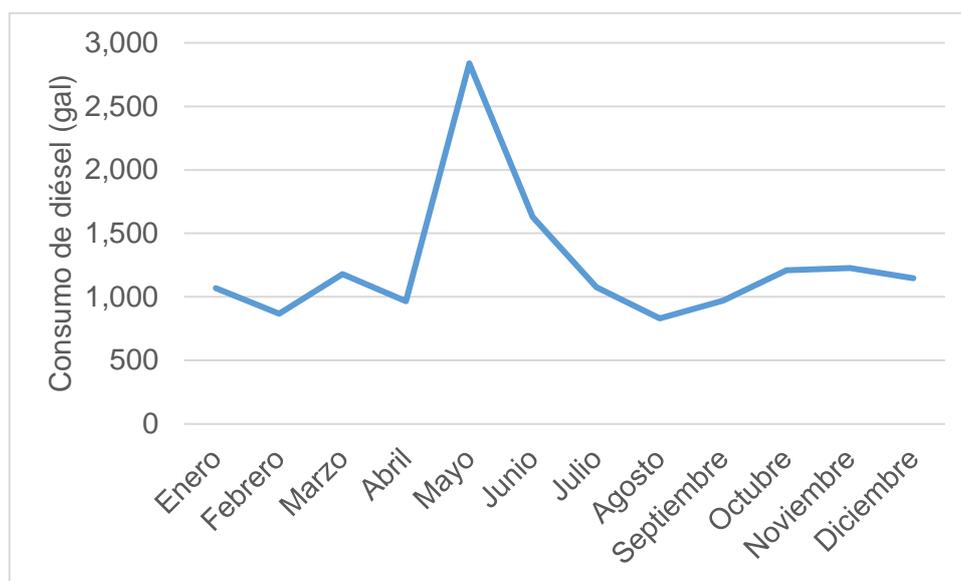


Figura 34. Consumo mensual de diésel de los ICEBs que operan en la ruta interna del campus.

Fuente(s): Elaboración propia.

Tomando en cuenta la proyección anual de consumo energético de 139.60 MWh descrita en la sección 3.10.4 y aplicando el factor de conversión de 0.092 ton CO<sub>2</sub>-eq/MWh se traduce en unas emisiones de aproximadamente 12.84 ton CO<sub>2</sub>-eq. Por lo tanto, el cambio de una flota de ICEBs por BEBs significaría una disminución anual de las emisiones en torno al 91.51%.

Considerando la estimación de consumo energético anual determinado en la sección 3.10.4 de 139.60 MWh y convirtiéndolo a emisiones al medio ambiente mediante el factor de conversión 0.092 ton CO<sub>2</sub>-eq/MWh, este equivale a aproximadamente 12.84 ton CO<sub>2</sub>-eq, por lo que la transición de una flota de ICEBs a BEBs representaría una reducción anual de emisiones de aproximadamente el 91.51% de las emisiones.

### 3.11 Trabajo futuro

Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar la recolección de datos PID y GPS no solo a ICEBs que operan para la ruta interna del campus, sino a todo el parque automotor, incluyendo vehículos ligeros y buses que operan tanto en rutas cercanas

como en las más distantes de la ciudad. Se propone adoptar el método *On-Board* para la recopilación de datos, complementándolo, si es posible, con equipos adicionales similares a los utilizados por la Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP) en su proyecto de laboratorio vivo para movilidad eléctrica. Esto incluye dispositivos para registrar no solo datos de PID y GPS, sino también temperatura, humedad y la cantidad de pasajeros, mediante contadores en autobuses. Con un conjunto de datos más amplio, se podría adoptar un enfoque basado en datos para estimar el consumo energético, utilizando técnicas como regresión lineal múltiple, regresión vectorial de soporte, redes neuronales artificiales y *Machine Learning* para predecir el consumo energético de los buses eléctricos con mayor precisión.

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los objetivos establecidos en este estudio y los hallazgos resultantes de su cumplimiento, se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

#### 4.1 Conclusiones

- Se realizó una revisión del estado del arte que consistió en una revisión detallada de métodos y parámetros para estimar el consumo energético de BEBs, abordando desde métodos de análisis Wheel to Wheel (WTW) hasta la implementación de modelos tanto progresivos como regresivos y el uso de simulaciones fundamentadas en modelos físicos y de datos, empleando técnicas avanzadas como la regresión lineal múltiple y *Machine Learning*. Se revisaron estudios a nivel tanto nacional como internacional, identificando factores críticos que afectan el consumo energético, incluyendo parámetros vehiculares, operacionales, ambientales y topológicos de ruta. Se destacó la participación de los dispositivos auxiliares en el consumo total de energía de los BEBs y la importancia de la energía recuperada mediante sistemas de frenado regenerativo. A nivel local, se notó una escasez de investigaciones sobre la estimación del consumo energético en Guayaquil, contrastando con la presencia de múltiples estudios en Cuenca, tanto para ICEVs como EVs.
- Mediante el método de persecución y un *Data Logger* como lo es el dispositivo *Freematics ONE + Model A* con receptor GPS externo, se capturaron datos de PIDs del vehículo de persecución para desarrollar un perfil de altitud e inclinación en la ruta interna del campus, recogiendo información en diversos periodos operativos del día. Se observaron desviaciones significativas en los cálculos de inclinación de la carretera, debido a que el parámetro de velocidad (10D) se registró sin valores decimales, lo que condujo a porcentajes de pendiente excesivamente altos al cambiar de cero a un valor entero y viceversa. En cuanto a la altitud, se notaron cambios mínimos a lo largo de los periodos, con el punto más alto ubicado en el recorrido 2-3 a 105.17 msnm y el más bajo en el recorrido 7-8 a 72.83 msnm.
- Se determinó el ciclo de conducción del vehículo para cada recorrido entre paradas de la ruta interna del campus y se caracterizaron los parámetros característicos de estos ciclos para diferentes tiempos del día. Se identificaron velocidades que exceden el límite de velocidad de 40 km/h establecido dentro del campus. La velocidad máxima registrada varió entre 43 y 48 km/h, con una distancia total de entre 6.83 y 6.86 km y un tiempo de recorrido de 22.28 a 22.43 min. Los periodos 1 y 2 presentaron los tiempos más prolongados de recorrido, lo que coincide con el análisis del analista de transporte de la institución, indicando una mayor demanda entre las 6h45 y las 9h00.
- Se calculó la energía necesaria para que un BEB complete la ruta interna del campus en diferentes periodos del día. El consumo energético más alto, 24.41 kWh, se produjo en el periodo de máxima demanda de transporte (8h00-9h30), según lo señalado por el analista de transporte. Este fue seguido por un consumo levemente mayor en el periodo de media mañana a tarde (9h30-16h30)

comparado con el primer periodo del día (6h30-8h00), y el consumo más bajo se observó al final de la tarde (16h30-18h00), con 3.27 kWh. Los picos de consumo se notaron en los diferentes recorridos de la ruta, dependiendo del periodo del día, alcanzando un consumo energético máximo de 3.54 kWh/km. Basándose en el consumo eléctrico estimado, se calculó la cantidad de energía que necesitaría proporcionar la infraestructura eléctrica del campus para satisfacer las necesidades de una potencial flota exclusivamente de BEBs para la ruta, la cual resultó en aproximadamente 139.60 MWh/año

- Basado en los datos de consumo de diésel de los ICEBs suministrados por el analista de transporte de la institución, se calculó un consumo anual para 2023 de aproximadamente 15 kgal de diésel, lo que se traduce en 151.24 ton de CO<sub>2</sub>-eq. Al contrastar esto con el consumo energético anual estimado de los BEBs de 139.60 MWh y aplicando el factor de conversión de 0.092 ton de CO<sub>2</sub>-eq/MWh, se determinaron emisiones anuales de 12.84 t ton de CO<sub>2</sub>-eq para los BEBs. Esto indica que cambiar de una flota de ICEBs a BEBs podría resultar en una reducción anual de emisiones cercana al 91.51%.

## 4.2 Recomendaciones

- En la obtención de datos de los PIDs del vehículo a través del puerto OBD II, se sugiere utilizar el parámetro de velocidad del receptor GPS externo, puesto que el parámetro de velocidad (10D) no presenta decimales, lo que provoca que el cálculo de pendiente de la carretera (%) presente valores aberrantes.
- Se recomienda escalar el análisis no solo a los ICEBs que realizan el recorrido interno del campus, sino a los demás recorridos que se realizan para la satisfacer la demanda tanto de estudiantes como de servidores, en rutas externas a esta
- Se sugiere utilizar el método *On-Board* para la recolección de datos, añadiendo, de ser posible, dispositivos adicionales como los del proyecto de UNICAMP, dispositivos que capturen datos de temperatura, humedad y conteo de pasajeros. De esta manera, con una base de datos más amplia, se puede realizar un análisis más detallado del consumo energético mediante técnicas avanzadas como la regresión lineal múltiple y *Machine Learning*, mejorando la precisión en la estimación del consumo de los buses eléctricos.
- Además de calcular la reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>, también sería beneficioso estimar la disminución de otros GEI como el monóxido de carbono (CO) u óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
- Se aconseja utilizar programas especializados como Matlab para gestionar grandes volúmenes de datos en el modelo de estimación de energía, dado que, a pesar de que Excel es una herramienta útil, presenta limitaciones notables al ser empleado como base de datos.

## REFERENCIAS

- (BID), B. I., & energética, A. a. (s.f.). Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016 - 2035. Obtenido de [https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN\\_NACIONAL\\_EFICIENCIA\\_ENERGETICA\\_Amaqueta-final-digital.pdf](https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICA_Amaqueta-final-digital.pdf)
- Albán Guerrero, C. D. (Julio de 2022). Viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema de transporte urbano en el cantón Riobamba. Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/16323/1/20T01542.pdf>
- Al-Ogaili, A., Al-Shetwi, A., Al-Masri, H., Thanikanti, S., Hoon, Y., Zaareer, K., . . . Bayram, I. (2017). Scenario-based electric bus operation: A case study of Putrajaya, Malaysia. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/en14227578>
- Al-Ogaili, A., Al-Shetwi, A., Al-Masri, H., Thanikanti, S., Hoon, Y., Zaareer, K., . . . Bayram, I. (2021). Review of the Estimation Methods of Energy Consumption for Battery Electric Buses. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/en14227578>
- AMSA. (s.f.). 4700 International FE. Obtenido de <https://www.amsa-bepensa.com/4700-international-fe>
- ANT. (s.f.). Manual de Seguridad Vial Urbana del Ecuador. Obtenido de <https://www.ant.gob.ec/manual-de-seguridad-vial-urbana-de-ecuador-2/manual-de-seguridad-vial-urbana-de-ecuador-catalogo-practico/#:~:text=En%20Ecuador%20los%20%C3%ADmites%20de,h%20en%20curvas%20de%20carreteras.>
- Armijos, L., & Gómez, W. (2018). Análisis de consumo energético del vehículo eléctrico KIA SOUL por la utilización del sistema de calefacción y audio en la ciudad de Cuenca. Cuenca. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16585/1/UPS-CT008043.pdf>

Athanasopoulou, L., Bikas, H., & Stavropoulos, P. (2018). Comparative well-to-wheel emissions assessment of internal combustion engine. doi:<http://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.169>

Ayeter, G., Mbonigaba, I., K. Sunnu, A., & Nyantekyi-Kwakye, B. (2021). Impact of replacing ICE bus fleet with electric bus fleet in Africa: A lifetime assessment. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119852>

Bakker, S., & Konings, R. (2018). The transition to zero-emission buses in public transport – The need for institutional innovation. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.08.023>

Beckers, C., Besselink, I., Frints, J., & Nijmeijer, H. (Junio de 2019). Energy consumption prediction for electric city buses. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/335542182\\_Energy\\_Consumption\\_Prediction\\_for\\_Electric\\_City\\_Buses](https://www.researchgate.net/publication/335542182_Energy_Consumption_Prediction_for_Electric_City_Buses)

Bieker, G. (20 de Julio de 2021). A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS. Obtenido de <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/07/Global-Vehicle-LCA-White-Paper-A4-revised-v2.pdf>

Bueno, C., & Quizhpe, J. (2017). Determinación de la autonomía real del vehículo eléctrico en la ciudad de cuenca mediante análisis experimental. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14729/1/UPS-CT007234.pdf>

BYD. (s.f.). 18.75m eBus. Obtenido de <https://bydeurope.com/pdp-bus-model-18>

BYD. (s.f.). The BYD C8M. Obtenido de [https://en.byd.com/wp-content/uploads/2019/07/c8m-cut-sheet\\_final\\_digital.pdf](https://en.byd.com/wp-content/uploads/2019/07/c8m-cut-sheet_final_digital.pdf)

BYD. (s.f.). The BYD K9. Obtenido de [https://en.byd.com/wp-content/uploads/2019/07/4504-byd-transit-cut-sheets\\_k9-40\\_lr.pdf](https://en.byd.com/wp-content/uploads/2019/07/4504-byd-transit-cut-sheets_k9-40_lr.pdf)

calculadoradefisica.online. (s.f.). Fórmulas despejadas de MRUA - MRUV. Obtenido de <https://calculadoradefisica.online/es/formulas/mrua.html>

California Air Resources Board. (s.f.). Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/rulemaking/2021/obd2021>

California Air Resources Board. (s.f.). Vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno 101. *¿Cómo funciona el abastecimiento de combustible para los vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno (FCEV)?* Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/es/our-work/programs/truckstop-resources/zev-truckstop/zev-101/vehiculo-electrico-de-pila-de#:~:text=A%20diferencia%20de%20otros%20veh%C3%ADculos,un%20tanque%20en%20el%20veh%C3%ADculo.>

Calle, M., & Guiracocha, Á. (2021). Analysis of regenerative braking efficiency in an electric vehicle through experimental tests. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <file:///C:/Users/Valverde%20Jorge/Downloads/5018-Article%20Text-44520-1-10-20221229.pdf>

Canada Energy Regulator. (Febrero de 2021). Market Snapshot: Battery electric vehicles are far more fuel efficient than vehicles with internal combustion engines. Obtenido de <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/market-snapshots/2021/market-snapshot-battery-electric-vehicles-are-far-more-fuel-efficient-than-vehicles-with-internal-combustion-engines.html>

Castillo, I. I., & Olmedo Martínez, I. (2019). Análisis del uso de buses eléctricos vs buses a diésel en el servicio de transporte público en Guayaquil, de acuerdo con la Ley de Eficiencia Energética. Guayaquil. Obtenido de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51595/1/T-109902Proyecto%20Integrador%20Imbaquingo\\_Olmedo.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51595/1/T-109902Proyecto%20Integrador%20Imbaquingo_Olmedo.pdf)

CFD, C. (s.f.). An Overview of Aerodynamic Drag. Obtenido de <https://resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2022-an-overview-of-aerodynamic-drag>

Cotes. (s.f.). EMISIONES DE GEI DURANTE EL CICLO DE VIDA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN COMPARACIÓN CON UN ICEV. Obtenido

- de <https://www.cotes.com/blog/greenhouse-gas-emissions-from-ev-vs-ice-vehicles>
- cycopro. (s.f.). How Does Car & Motorcycle Engine Works? Obtenido de <https://cycopro.com/how-does-car-motorcycle-engine-works/>
- Diario Correo. (diciembre de 2022). Obtenido de <https://diariocorreo.com.ec/78905/ciudad/disposicion-de-anos-de-vida-util-de-las-unidades-genera-dudas-en-transportistas>
- Equipo ArgSeguridad. (25 de Octubre de 2021). GPS Tracker para autos, Plug and Play, por puerto OBD-II, que es? Obtenido de <https://site.argseguridad.com/blog/que-es-el-obd-ii-en-los-autos-y-para-que-se-usa-en-seguridad-electronica/>
- ESPOL®. (s.f.). Calendario académico de grado. Obtenido de <https://www.espol.edu.ec/es/vida-politecnica/calendario-grado>
- Flores, J. P. (2023). Operación de buses de recorrido interno del campus.
- Freematics. (s.f.). Freematics ONE+ Model A. Obtenido de <https://freematics.com/pages/products/freematics-one-plus/>
- Freematics. (s.f.). Freematics Packed Data Format. Obtenido de <https://freematics.com/pages/hub/freematics-data-logging-format/>
- FUSO. (27 de Enero de 2020). Obtenido de <https://www.fuso.com.pe/blog/bus-mitsubishi-fuso-rosa-caracteristicas/>
- Gallet, M., Massier, T., & Hamacher, T. (2018). Estimation of the energy demand of electric buses based on real-world data for large-scale public transport networks. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.086>
- García, R. L., & Sisa Jaya, J. J. (2021). Determinación de la demanda energética del sistema de transporte urbano en rutas establecidas previo a la implementación de buses eléctricos para la ciudad de Riobamba. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20462>
- Gómez, J., & Ojeda, Y. (Marzo de 2023). Diseño e implementación de un modelo de demanda de energía de buses eléctricos para transporte público local.

- Google Earth. (s.f.). Obtenido de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Google. (s.f.). Google Forms. Obtenido de <https://www.google.com/intl/es-419/forms/about/>
- GOV.UK. (Junio de 2023). Greenhouse gas reporting: conversion factors 2023. Obtenido de <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023>
- Heisler, H. (2002). 14 - Vehicle body aerodynamics. 584-634. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-075065131-8/50015-4>.
- Hinse, P. (2010). Energy use analysis and technology for electric transit buses. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/216869868\\_Energy\\_use\\_analysis\\_and\\_technology\\_for\\_electric\\_transit\\_buses](https://www.researchgate.net/publication/216869868_Energy_use_analysis_and_technology_for_electric_transit_buses)
- Hjelkrem, O. A., Yngve Lervåg, K., Babri, S., Lu, C., & Södersten, C.-J. (2021). A battery electric bus energy consumption model for strategic purposes: Validation of a proposed model structure with data from bus fleets in China and Norway. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102804>
- Hyundai. (s.f.). COUNTY. Obtenido de [https://hyundaicamiones.com.ni/wp-content/uploads/2018/05/ficha\\_county\\_05\\_2018.pdf](https://hyundaicamiones.com.ni/wp-content/uploads/2018/05/ficha_county_05_2018.pdf)
- IIGE, Instituto de Investigación Geológico y Energético. (s.f.). Balance Energético Nacional 2021. 2022, 30 - 33. Obtenido de [https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance\\_Energe%CC%81tico\\_Nacional\\_2021-VF\\_opt.pdf](https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf)
- IIGE, Instituto de Investigación Geológico y Energético. (s.f.). Balance Energético Nacional 2022. Obtenido de <https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/capitulo1.pdf>
- Iihak, M. I., Tangoz, S., Akansu, S., & Kahraman, N. (2019). Alternative Fuels for Internal Combustion Engines. Obtenido de <https://www.intechopen.com/chapters/66638>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (s.f.). NTE INEN-ISO 50001. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060594>
- JAC MOTORS. (s.f.). T6 4X2 LUXURY GASOLINA. Obtenido de <https://jacecuador.com/shop/t6-4x2-luxury-gasolina-160>
- Jahic, A., Eskander, M., Avdevičius, E., & Schulz, D. (Noviembre de 2023). Energy Consumption of Battery- Electric Buses: Review of Influential Parameters and Modelling Approaches. doi:<http://dx.doi.org/10.2478/bhee-2023-0007>
- Kambly, K. R., & Bradley, T. (2014). Estimating the HVAC energy consumption of plug-in electric vehicles. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.02.033>.
- Lee, J., Oh, S., & Son, S. (2023). Optimal battery electric bus planning and its economic and environmental impacts. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103821>
- Ley Orgánica del Servicio Público. (s.f.). Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/LOTAIP/2017/DIJU/diciembre/LA2\\_OCT\\_DIJU\\_LOSEP.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/LOTAIP/2017/DIJU/diciembre/LA2_OCT_DIJU_LOSEP.pdf)
- Lie, T. T., Prasad, K., & Ding, N. (2017). The electric vehicle: a review. doi:<http://dx.doi.org/10.1504/IJEHV.2017.10003709>
- M., X. M. (s.f.). Análisis sobre adquisición de nuevas unidades (BUSES) para ESPOL.
- Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>
- Mao, F., Li, Z., & Zhang, K. (2021). A comparison of carbon dioxide emissions between battery electric buses and conventional diesel buses. doi:<http://doi.org/10.3390/su13095170>
- Marcillo, K. (2024). Operación de buses de recorrido interno del campus.

- MathWorks. (s.f.). Obtenido de <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>
- MathWorks. (s.f.). PSAT. Obtenido de <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/63611-psat>
- Mendieta, C. S. (s.f.). Presentan Plan de Electromovilidad para Cuenca. Obtenido de <https://elmercurio.com.ec/2023/04/26/plan-electromovilidad-para-cuenca/>
- Mercedez Benz. (s.f.). Obtenido de [https://www.mercedes-benz.com.ec/mercedes/site/docs/20210923/20210923110958/ficha\\_tecnica\\_of\\_1721\\_.pdf](https://www.mercedes-benz.com.ec/mercedes/site/docs/20210923/20210923110958/ficha_tecnica_of_1721_.pdf)
- Microsoft. (s.f.). Microsoft Excel. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>
- Ministerio de Energía y Minas. (s.f.). Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador. Obtenido de <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/wp-1692720103183.pdf>
- Ministerio de Salud Pública. (Mayo de 2023). Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/ecuador-se-suma-a-la-decision-de-la-oms-de-poner-fin-a-la-emergencia-en-salud-publica-por-covid-19/>
- Mitchell, T. (4 de Mayo de 2023). Striking Contrast or Striking Similarity: The Difference Between EV and ICE Manufacturing. Obtenido de <https://insequence.com/striking-contrast-or-striking-similarity-the-difference-between-ev-and-ice-manufacturing/#:~:text=Powertrain%3A%20The%20most%20significant%20difference,compact%20and%20easier%20to%20manufacture.>
- Mobility Portal. (4 de Mayo de 2022). Marca por marca: quiénes lideran el mercado de buses eléctricos en Latinoamérica. Obtenido de <https://mobilityportal.lat/marca-por-marca-quienes-lideran-el-mercado-de-buses-electricos-en-latinoamerica/>

- Mobility Portal. (19 de Diciembre de 2023). Top 5. Así queda conformado el «mapa» de los buses eléctricos en Latinoamérica en 2023. Obtenido de <https://mobilityportal.lat/buses-electricos-en-latinoamerica/>
- Mohamed, M., & Abdelaty, H. (2021). A Prediction Model for Battery Electric Bus Energy Consumption in Transit. doi:<https://doi.org/10.3390/en14102824>
- Morey, J. E., Limanond, T., & Niemeier, D. (s.f.). Validity of Chase Car Data Used in Developing Emissions Cycles.
- MRCacgney. (2017). Electric bus technology. Obtenido de [https://www.mrcagney.com/uploads/documents/MRC\\_Electric\\_Bus\\_Report\\_\\_11072017.pdf](https://www.mrcagney.com/uploads/documents/MRC_Electric_Bus_Report__11072017.pdf)
- NTE INEN 2 205:2010 - Vehículos Automotores. Bus urbano. Requisitos. (s.f.). Quito, Ecuador. Obtenido de <https://ia801505.us.archive.org/14/items/ec.nte.2205.2010/ec.nte.2205.2010.pdf>
- NTE INEN 2656. (2016). Clasificación vehicular.
- NTE INEN ISO 3833. (s.f.). Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones.
- NTE INEN ISO 50001. (s.f.). Sistemas de gestión de la energía. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060594>
- O'Dea, J. (19 de Julio de 2018). Electric vs. Diesel vs. Natural Gas: Which Bus is Best for the Climate? Obtenido de <https://blog.ucsusa.org/jimmy-odea/electric-vs-diesel-vs-natural-gas-which-bus-is-best-for-the-climate/>
- Peñaloza, A., & LLivicura, B. (2021). Análisis de la demanda energética para el recorrido de las líneas de buses con mayor afluencia de pasajeros de la ciudad de Cuenca. Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21192/1/UPS-CT009313.pdf>
- Pérez, P., & Quito, C. (Enero de 2018). Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca.

- Pietrzak, O., & Pietrzak, O. (2021). The economic effects of electromobility in sustainable urban public transport. doi:<http://doi.org/10.3390/en14040878>
- Programa de Sostenibilidad. (s.f.). Memoria de Sostenibilidad 2021. 37. Obtenido de [https://www.espol.edu.ec/sites/default/files/MemoriaSostenibilidad-Final2021%20\(1\).pdf](https://www.espol.edu.ec/sites/default/files/MemoriaSostenibilidad-Final2021%20(1).pdf)
- Programa de Sostenibilidad. (s.f.). Memoria de Sostenibilidad 2022. Obtenido de <https://sostenibilidad.espol.edu.ec/sites/default/files/reportes/MemoriaSostenibilidad2022.pdf>
- Quarles, N., M. Kockelman, K., & Mohamed, M. (Mayo de 2020). Costs and Benefits of Electrifying and Automating Bus Transit Fleets. doi:<https://doi.org/10.3390/su12103977>
- Quinones, J. (s.f.). Cómo convertir de grados a radianes. Obtenido de <https://es.wikihow.com/convertir-de-grados-a-radianes>
- Reglamento General de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (RGLOEE). (s.f.). Obtenido de [https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/25\\_reglamento\\_ley\\_organica\\_eficiencia\\_energetica\\_junio\\_2022.pdf](https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/25_reglamento_ley_organica_eficiencia_energetica_junio_2022.pdf)
- República del Ecuador, Asamblea Nacional. (2019). Suplemento de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética. Obtenido de [https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S\\_R\\_O\\_449\\_19\\_MARZO\\_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf](https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S_R_O_449_19_MARZO_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf)
- República del Ecuador, Asamblea Nacional. (2024). Ley de Competitividad Energética.
- Rodrigues, A. L., & Seixas, S. (2022). Battery-electric buses and their implementation barriers: Analysis and prospects for sustainability. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101896>
- Rodríguez, C. A. (2022). Análisis de Autonomía de Vehículos Eléctricos en Función del Ciclo de Conducción. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/5155/1/T-UIDE-0436.pdf>

- Rodríguez, C. A. (2022). Análisis de Autonomía de Vehículos Eléctricos en Función del Ciclo de Conducción. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/5155/1/T-UIDE-0436.pdf>
- Ruta 401 - El Blog de los Profesionales del Taller. (s.f.). Conector OBD: ¿para qué sirve y dónde encontrarlo? Obtenido de <https://blog.reparacion-vehiculos.es/para-que-sirve-el-conector-obd-del-coche-y-donde-encontrarlo>
- Sabas, O. A., & Betanzo Quezada, E. (2023). Determinación de ciclos de conducción de camiones y emisiones contaminantes. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.54386>
- SAE INTERNATIONAL. (11 de Agosto de 2014). E/E Diagnostic Test Modes J1979\_201408. Obtenido de [https://www.sae.org/standards/content/j1979\\_201408](https://www.sae.org/standards/content/j1979_201408)
- Schwertner, M., & Weidmann, U. (2016). Comparison of well-to-wheel efficiencies for different drivetrain configurations of transit buses. doi:<https://doi.org/10.3141/2539-07>
- Solís Santamaría, J., & Quinchimbla Pisuña, F. E. (Enero de 2017). Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el distrito Metropolitano de Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17000/1/CD-7578.pdf>
- Song, Z., Liu, Y., Gao, H., & Li, S. (Enero de 2020). The Underlying Reasons behind the Development of Public Electric Buses in China: The Beijing Case. doi:<https://doi.org/10.3390/su12020688>
- Sornosa, A. (12 de Julio de 2023). Principales diferencias entre motores eléctricos y de combustión. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/diferencias-motor-electrico-motor-combustion#:~:text=Los%20veh%C3%ADculos%20de%20combusti%C3%B3n%20interna,o%20sistemas%20de%20carga%20renovables.>

- Suh, I.-S., Minyoung, L., Jedok, K., Sang Taek, O., & Jong-Phil, W. (2015). Design and experimental analysis of an efficient HVAC (heating, ventilation, air-conditioning) system on an electric bus with dynamic on-road wireless charging. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.038>.
- Szilassy, P. Á., & Földes, D. (15 de Diciembre de 2022). Consumption estimation method for battery-electric buses using general. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125080>
- Thakur, D. (13 de Julio de 2021). Electric Vehicle Architecture & EV Powertrain Components. Obtenido de <https://e-vehicleinfo.com/electric-vehicle-architecture-ev-powertrain-components/>
- Unicamp, E. C. (2021). CAMPUS SUSTENTÁVEL: un modelo de innovación en gestión energética para a América Latina e o Caribe.
- Utilities One. (29 de Noviembre de 2023). The Advantages of Electric Vehicles for Energy Conservation. Obtenido de <https://utilitiesone.com/the-advantages-of-electric-vehicles-for-energy-conservation>
- Veza, I., Zacky Asy'ari, M., M. Idris, Epin, V., Rizwanul Fattah, I., & Spraggon, M. (2023). Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.020>.
- Vilppo, O., & Markkula, J. (2015). Feasibility of electric buses in public transport. doi:<https://doi.org/10.3390/wevj7030357>
- Wikibooks. (s.f.). El OBDII Completo/Los PIDs/PID Modo 01. Obtenido de [https://es.wikibooks.org/wiki/El\\_OBDII\\_Completo/Los\\_PIDs/PID\\_Modo\\_01](https://es.wikibooks.org/wiki/El_OBDII_Completo/Los_PIDs/PID_Modo_01)
- Yue, Z., & Liu, H. (Agosto de 2023). Advanced Research on Internal Combustion Engines and Engine Fuels. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/en16165940>
- Yutong. (s.f.). E12. Obtenido de <https://yutongeurobus.se/products/model-e12-2/>
- Zhang, J., Lu, X., Xue, J., & Li, B. (2008). Regenerative Braking System for Series Hybrid Electric City Bus. Vol 2. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/wevj2040363>

Zhang, Z., Ye, B., Wang, S., & Ma, Y. (Enero de 2024). Analysis and estimation of energy consumption of electric buses using real-world data. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.104017>

## ANEXOS

### *Muestras de demanda de pasajeros*

N muestra		1		
Fecha		30/5/2023		
N periodo		2		
Hora de inicio		8:30		
Hora de final		8:51		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	34	42	76
2	2-3	32	45	77
3	3-4	27	38	65
4	4-5	15	20	35
5	5-6	14	20	34
6	6-7	14	20	34
7	7-8	14	20	34
8	8-9	5	6	11
9	9-10	0	0	0
10	10-11	0	0	0
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		2		
Fecha		30/5/2023		
N periodo		2		
Hora de inicio		9:00		
Hora de final		9:18		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	34	42	76
2	2-3	33	41	74
3	3-4	31	39	70

4	4-5	14	17	31
5	5-6	11	14	25
6	6-7	11	14	25
7	7-8	11	14	25
8	8-9	4	5	9
9	9-10	0	0	0
10	10-11	0	0	0
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		3		
Fecha		30/5/2023		
N periodo		2		
Hora de inicio		9:21		
Hora de final		9:46		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	19	26	45
2	2-3	21	28	49
3	3-4	18	25	43
4	4-5	13	17	30
5	5-6	8	11	19
6	6-7	8	11	19
7	7-8	8	11	19
8	8-9	6	8	14
9	9-10	6	8	14
10	10-11	4	5	9
11	11-12	3	5	8
12	12-13	4	6	10
13	13-1	1	2	3

N muestra		4		
Fecha		30/5/2023		
N periodo		3		
Hora de inicio		10:15		
Hora de final		10:39		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	28	23	51
2	2-3	29	24	53
3	3-4	28	23	51
4	4-5	18	15	33

5	5-6	15	12	27
6	6-7	15	12	27
7	7-8	15	12	27
8	8-9	7	5	12
9	9-10	0	0	0
10	10-11	0	0	0
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		5		
Fecha		30/5/2023		
N periodo		3		
Hora de inicio		10:00		
Hora de final		10:28		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	23	34	57
2	2-3	24	35	59
3	3-4	18	27	45
4	4-5	8	13	21
5	5-6	7	10	17
6	6-7	7	10	17
7	7-8	7	10	17
8	8-9	4	7	11
9	9-10	1	1	2
10	10-11	0	1	1
11	11-12	4	6	10
12	12-13	4	5	9
13	13-1	3	4	7

N muestra		6		
Fecha		1/6/2023		
N periodo		1		
Hora de inicio		7:30		
Hora de final		7:51		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	32	38	70
2	2-3	32	37	69

3	3-4	27	32	59
4	4-5	12	15	27
5	5-6	10	11	21
6	6-7	10	11	21
7	7-8	10	11	21
8	8-9	2	2	4
9	9-10	0	0	0
10	10-11	0	0	0
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		7		
Fecha		1/6/2023		
N periodo		3		
Hora de inicio		10:29		
Hora de final		10:59		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	34	43	77
2	2-3	24	43	67
3	3-4	30	38	68
4	4-5	11	15	26
5	5-6	8	11	19
6	6-7	8	11	19
7	7-8	8	11	19
8	8-9	3	3	6
9	9-10	0	0	0
10	10-11	0	0	0
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		8		
Fecha		1/6/2023		
N periodo		3		
Hora de inicio		15:00		
Hora de final		15:21		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros

1	1-2	12	12	24
2	2-3	11	12	23
3	3-4	11	12	23
4	4-5	6	7	13
5	5-6	4	5	9
6	6-7	4	5	9
7	7-8	4	5	9
8	8-9	2	3	5
9	9-10	0	0	0
10	10-11	0	0	0
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		9		
Fecha		1/6/2023		
N periodo		4		
Hora de inicio		16:30		
Hora de final		16:43		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	12	8	20
2	2-3	12	8	20
3	3-4	10	8	18
4	4-5	8	6	14
5	5-6	6	5	11
6	6-7	6	5	11
7	7-8	6	5	11
8	8-9	0	0	0
9	9-10	0	0	0
10	10-11	0	0	0
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		10		
Fecha		11/12/2023		
N periodo		1		
Hora de inicio		7:28		
Hora de final		7:52		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	UPC-FCV	34	38	72

2	FCV-Rectorado	34	35	69
3	Rectorado-Basico	28	31	59
4	Basico-FIEC	14	15	29
5	FIEC-FIMCP	12	9	21
6	FIMCP-FADCOM	11	11	22
7	FADCOM-Terminal de buses	13	11	24
8	Terminales de buses-Gimnasio de profesores	2	2	4
9	Gimnasio de profesores-FCSH	0	0	0
10	FCSH- Frente al rectorado	3	0	3
11	Frente al rectorado-Piscinas	1	0	1
12	Piscinas-Garita	0	0	0
13	Garita-UPC	0	0	0

N muestra		11		
Fecha		11/12/2023		
N periodo		2		
Hora de inicio		8:33		
Hora de final		8:54		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	UPC-FCV	38	37	75
2	FCV-Rectorado	29	47	76
3	Rectorado-Basico	26	31	57
4	Basico-FIEC	18	20	38
5	FIEC-FIMCP	15	19	34
6	FIMCP-FADCOM	13	18	31
7	FADCOM-Terminal de buses	13	13	26
8	Terminales de buses-Gimnasio de profesores	6	6	12
9	Gimnasio de profesores-FCSH	2	2	4
10	FCSH- Frente al Rectorado	0	1	1
11	Frente al Rectorado-Piscinas	1	0	1
12	Piscinas-Garita	0	0	0
13	Garita-UPC	0	0	0

N muestra		12		
Fecha		11/12/2023		
N periodo		3		
Hora de inicio		11:29		
Hora de final		11:54		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	UPC-FCV	30	42	72
2	FCV-Rectorado	29	42	71

3	Rectorado-Basico	28	25	53
4	Basico-FIEC	9	15	24
5	FIEC-FIMCP	8	9	17
6	FIMCP-FADCOM	8	9	17
7	FADCOM-Terminal de buses	8	5	13
8	Terminales de buses-Gimnasio de profesores	3	4	7
9	Gimnasio de profesores-FCSH	1	0	1
10	FCSH- Frente al Rectorado	1	0	1
11	Frente al Rectorado-Piscinas	0	0	0
12	Piscinas-Garita	1	0	1
13	Garita-UPC	1	0	1

N muestra		13		
Fecha		11/12/2023		
N periodo		3		
Hora de inicio		14:12		
Hora de final		14:32		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	UPC-FCV	36	24	60
2	FCV-Rectorado	30	21	51
3	Rectorado-Basico	28	13	41
4	Basico-FIEC	21	6	27
5	FIEC-FIMCP	16	5	21
6	FIMCP-FADCOM	11	3	14
7	FADCOM-Terminal de buses	4	3	7
8	Terminales de buses-Gimnasio de profesores	0	0	0
9	Gimnasio de profesores-FCSH	0	0	0
10	FCSH- Frente al rectorado	0	0	0
11	Frente al rectorado-Piscinas	0	0	0
12	Piscinas-Garita	0	0	0
13	Garita-UPC	0	0	0

N muestra		14		
Fecha		12/12/2023		
N periodo		4		
Hora de inicio		16:53		
Hora de final		17:13		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	UPC-FCV	15	7	22

2	FCV-Rectorado	15	7	22
3	Rectorado-Basico	12	6	18
4	Basico-FIEC	8	6	14
5	FIEC-FIMCP	4	6	10
6	FIMCP-FADCOM	5	3	8
7	FADCOM-Terminal de buses	4	4	8
8	Terminales de buses-Gimnasio de profesores	1	0	1
9	Gimnasio de profesores-FCSH	0	0	0
10	FCSH- Frente al rectorado	0	1	1
11	Frente al rectorado-Piscinas	0	0	0
12	Piscinas-Garita	1	0	1
13	Garita-UPC	0	0	0

N muestra		15		
Fecha		20/12/2023		
N periodo		2		
Hora de inicio		9:00		
Hora de final		9:45		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	52	40	92
2	2-3	50	38	88
3	3-4	45	33	78
4	4-5	20	8	28
5	5-6	12	1	13
6	6-7	5	0	5
7	7-8	10	12	22
8	8-9	5	3	8
9	9-10	5	3	8
10	10-11	4	2	6
11	11-12	3	1	4
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		16		
Fecha		21/12/2023		
N periodo		1		
Hora de inicio		6:45		
Hora de final		7:20		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	41	51	92
2	2-3	41	50	91

3	3-4	31	45	76
4	4-5	9	22	31
5	5-6	4	11	15
6	6-7	3	7	10
7	7-8	1	4	5
8	8-9	8	4	12
9	9-10	5	2	7
10	10-11	3	2	5
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		17		
Fecha		21/12/2023		
N periodo		3		
Hora de inicio		14:50		
Hora de final		15:15		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	40	36	76
2	2-3	38	28	66
3	3-4	35	26	61
4	4-5	21	20	41
5	5-6	18	11	29
6	6-7	13	1	14
7	7-8	10	3	13
8	8-9	7	5	12
9	9-10	4	2	6
10	10-11	2	1	3
11	11-12	1	0	1
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		18		
Fecha		21/12/2023		
N periodo		2		
Hora de inicio		8:31		
Hora de final		9:00		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	50	40	90
2	2-3	47	38	85
3	3-4	39	34	73

4	4-5	17	11	28
5	5-6	13	8	21
6	6-7	6	6	12
7	7-8	4	2	6
8	8-9	5	5	10
9	9-10	5	2	7
10	10-11	3	1	4
11	11-12	1	0	1
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		19		
Fecha		22/12/2023		
N periodo		2		
Hora de inicio		10:15		
Hora de final		10:35		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	18	32	50
2	2-3	16	31	47
3	3-4	16	25	41
4	4-5	10	11	21
5	5-6	6	4	10
6	6-7	3	2	5
7	7-8	7	5	12
8	8-9	5	2	7
9	9-10	2	1	3
10	10-11	1	1	2
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		20		
Fecha		22/12/2023		
N periodo		2		
Hora de inicio		8:50		
Hora de final		9:25		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	44	30	74

2	2-3	43	30	73
3	3-4	36	25	61
4	4-5	11	16	27
5	5-6	10	6	16
6	6-7	3	4	7
7	7-8	10	5	15
8	8-9	4	4	8
9	9-10	2	2	4
10	10-11	1	0	1
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0

N muestra		21		
Fecha		22/12/2023		
N periodo		4		
Hora de inicio		16:31		
Hora de final		16:45		
N	Recorrido	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres	Total de pasajeros
1	1-2	14	7	21
2	2-3	13	10	23
3	3-4	12	8	20
4	4-5	8	6	14
5	5-6	5	5	10
6	6-7	5	5	10
7	7-8	5	5	10
8	8-9	0	0	0
9	9-10	0	0	0
10	10-11	0	0	0
11	11-12	0	0	0
12	12-13	0	0	0
13	13-1	0	0	0