



# **UNIVERSIDAD DE CUENCA**

## **Facultad de Ingeniería**

### **Carrera de Ingeniería Eléctrica**

#### **“Análisis técnico sobre el comportamiento energético de un Autobús Eléctrico en recorridos en la Ciudad de Cuenca.”**

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

**Autores:**

Edisson Ermel Carchi Tenesaca

CI:0104809447

Darwin Anibal Peñafiel Garay

CI:0106694789

**Director:**

Luis Gerardo González Morales. Ph.D.

CI:1729711059

**Codirector:**

Juan Leonardo Espinoza Abad. Ph.D.

CI:0102559325

**Cuenca - Ecuador.**

**14/10/2019**



## Resumen

En el presente estudio se realiza un análisis técnico sobre el comportamiento energético de un autobús eléctrico en recorridos en la ciudad de Cuenca - Ecuador, tomando en cuenta los datos del autobús eléctrico K9G de la empresa BYD. El estudio está centrado en la toma de mediciones de energía entregada al autobús eléctrico para la carga de su sistema de almacenamiento, energía proporcionada por la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (CENTROSUR) y el laboratorio de Micro-redes de la Universidad de Cuenca; además se verifica el comportamiento eléctrico, aporte de energía proporcionado por el frenado regenerativo y eficiencia energética que tiene el autobús en estudio.

Otro aspecto que se presenta en este trabajo, está relacionada a la distancia promedio recorrida por el autobús en las diferentes rutas comerciales; para las cuales se realizó un análisis de los parámetros antes mencionados incluyendo una comparación de eficiencia energética y costos de operación del comportamiento del autobús eléctrico frente a los autobuses a combustión interna.

En este sentido el análisis del comportamiento energético y el uso de la energía necesaria para la carga diaria del autobús, son los principales temas abordados en este trabajo. El estudio tiene actividades de laboratorio y de campo que involucra la caracterización del sistema de energía suministrada para la carga del autobús eléctrico y el comportamiento dinámico que tendrá en las diferentes rutas. Además de presentar un estudio piloto mediante la técnica de recolección de datos sobre la percepción de los usuarios sobre el uso de este tipo de transporte público en la ciudad.

**Palabras Clave:** Eficiencia energética. Frenado regenerativo. Comportamiento energético. Autobús eléctrico.



## Abstract

In this study, a technical analysis is carried out on the energy behavior of an electric bus on routes in the city of Cuenca - Ecuador, taking into account the data of the K9G electric bus of the company BYD. The study is focused on taking energy measurements delivered to the electric bus for charging its storage system, energy provided by the Centro Sur Regional Electric Company (CENTROSUR) and the Micro-networks laboratory of the University of Cuenca; In addition, the electrical behavior, energy supply provided by the regenerative braking and energy efficiency of the bus under study is verified.

Another aspect presented in this work is related to the average distance traveled by the bus on the different commercial routes; for which an analysis of the aforementioned parameters was carried out including a comparison of energy efficiency and operating costs of the behavior of the electric bus versus internal combustion buses.

In this sense, the analysis of the energy behavior and the use of the energy necessary for the daily bus load are the main topics addressed in this work. The study has laboratory and field activities that involve the characterization of the energy system supplied for charging the electric bus and the dynamic behavior it will have on the different routes. In addition to presenting a pilot study through the technique of data collection on the perception of users about the use of this type of public transport in the city.

**Key Words:** Energy efficiency. Regenerative braking. Energy behavior. Electric bus.



# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>INDICE</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>14</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>15</b>
<b>CAPITULO 1</b>	<b>16</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	16
1.2. Justificación . . . . .	17
1.3. Alcance . . . . .	18
1.4. Objetivos . . . . .	19
<b>CAPITULO 2</b>	<b>21</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>21</b>
2.1. Vehículos eléctricos . . . . .	21
2.1.1. Breve historia del vehículo eléctrico . . . . .	21
2.1.2. Características y Partes de los vehículos eléctricos . . . . .	22
2.1.3. Baterías . . . . .	23
2.1.4. La red de distribución eléctrica y la carga de los vehículos eléctricos . . . . .	28
2.1.5. Impacto del vehículo eléctrico en la red de distribución . . . . .	30
2.1.6. Tipos de recarga del vehículo eléctrico . . . . .	30
2.1.7. Frenado regenerativo . . . . .	31
2.1.8. Incursión de los vehículos eléctricos en el mundo . . . . .	32
2.2. Movilidad eléctrica . . . . .	33
2.2.1. Movilidad eléctrica en el Ecuador . . . . .	33
2.2.2. Proyección futura de Movilidad eléctrica en el Ecuador . . . . .	35
2.3. Autobuses Eléctricos . . . . .	35
2.3.1. Tipos de Autobuses eléctricos de acuerdo a su tecnología . . . . .	35
2.3.2. Autobuses eléctricos: ventajas y desventajas . . . . .	36



2.3.3.	Introducción de autobuses eléctricos en Latinoamérica . . . . .	37
2.4.	Energías Renovables . . . . .	39
2.4.1.	Tipos de energías renovables . . . . .	39
2.4.2.	Contexto internacional de las energías renovables . . . . .	40
2.4.3.	Energías Renovables en el Ecuador bajo distintos escenarios de carga	44
<b>CAPITULO 3</b>		<b>46</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b>		<b>46</b>
3.1.	Diseño de la investigación . . . . .	46
3.2.	Variables en estudio . . . . .	51
3.3.	Diseño del estudio de encuestas . . . . .	53
<b>CAPITULO 4</b>		<b>55</b>
<b>4. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>		<b>55</b>
4.1.	Toma de mediciones del comportamiento dinámico y del sistema eléctrico del autobús durante la ruta de prueba . . . . .	55
4.1.1.	Comportamiento del autobús eléctrico para la ruta de prueba . . . . .	55
4.1.2.	Voltaje Vrms Fase-Neutro del autobús en Ruta de prueba . . . . .	56
4.1.3.	Corriente Fase A, B, C del autobús en Ruta de prueba . . . . .	57
4.1.4.	Potencia del autobús en Ruta de prueba . . . . .	58
4.1.5.	Energía del autobús en la Ruta de prueba . . . . .	59
4.2.	Toma de mediciones del comportamiento dinámico y del sistema eléctrico del autobús durante las pruebas de velocidad . . . . .	62
4.2.1.	Comportamiento del autobús eléctrico para las pruebas de Velocidad	62
4.2.2.	Voltaje Vrms Fase-Neutro del autobús en pruebas de velocidad . . . . .	64
4.2.3.	Corriente Fase A, B, C del autobús en pruebas de velocidad . . . . .	65
4.2.4.	Potencia del autobús en pruebas de velocidad . . . . .	66
4.2.5.	Energía del autobús en pruebas de velocidad . . . . .	67
4.3.	Toma de mediciones de la energía suministrada por la red para la carga del autobús eléctrico . . . . .	68
4.3.1.	Esquema del proceso de carga del autobús eléctrico . . . . .	69
4.3.2.	Curvas de la energía suministrada para la carga del autobús . . . . .	70
4.4.	Indicadores de recorrido y energía consumida durante la operación del Autobús Eléctrico K9G en la Ciudad de Cuenca . . . . .	74
4.5.	Toma de mediciones del comportamiento dinámico del autobús . . . . .	75
4.5.1.	Comportamiento dinámico del autobús eléctrico para la ruta 100 y 27	75
4.5.2.	Comportamiento dinámico del autobús convencional para la ruta 100, 27, 1b, 20, 5 y 24 . . . . .	78
4.6.	Encuestas de la percepción de los usuarios acerca del autobús . . . . .	84
<b>CAPITULO 5</b>		<b>86</b>



<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>86</b>
5.1. Análisis técnico . . . . .	86
5.1.1. Análisis del Sistema eléctrico del autobús durante la ruta de prueba (frenado regenerativo activado) . . . . .	86
5.1.2. Análisis del Sistema eléctrico del autobús durante las pruebas de velocidad (frenado regenerativo desactivado) . . . . .	87
5.1.3. Energía entregada por la red para la carga del autobús . . . . .	88
5.1.4. Comportamiento del autobús eléctrico en diferentes rutas comerciales	89
5.1.5. Aporte energético del frenado regenerativo por cada recorrido y número de paradas realizadas . . . . .	90
5.2. Análisis energético y medioambiental . . . . .	91
5.2.1. Estimación del consumo de combustibles fósiles en el transporte público convencional . . . . .	91
5.2.2. Evaluación del consumo energético de las rutas en estudio . . . . .	92
5.2.3. Estimación del costo económico y emisiones de $CO_2$ de las rutas en estudio en el sistema de transporte público . . . . .	93
5.2.4. Estimación del costo económico de las rutas en estudio en el sistema de transporte público al reemplazarlas por autobuses eléctricos .	94
5.2.5. Comparación de costos del consumo energético del autobús eléctrico frente a los autobuses a combustión interna . . . . .	95
5.3. Análisis de percepción ciudadana . . . . .	96
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>101</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>108</b>



# Índice de figuras

1.1. Consumo de energía mundial del sector automovilístico . . . . .	18
2.1. Partes principales de un vehículo eléctrico . . . . .	23
2.2. Batería del autobús eléctrico K9G de la empresa BYD . . . . .	28
2.3. Número de autos eléctricos en circulación hasta el año 2017 . . . . .	32
2.4. Parque automotor eléctrico en diferentes países del mundo . . . . .	32
2.5. Taxis eléctricos adquiridos por la ciudad de Loja-Ecuador . . . . .	34
2.6. Autobuses eléctricos adquiridos por la ciudad de Guayaquil-Ecuador . . . . .	34
2.7. Cantidad de Buses eléctricos chinos que estarán en circulación en 2019 . . . . .	38
2.8. Capacidad de energía renovable instalada en mundo para el año 2018 . . . . .	42
2.9. Capacidad de generación renovable por fuente de energía para el año 2018 . . . . .	43
2.10. Proyección de la Generación de energía al año 2040 . . . . .	43
2.11. Proyección de Capacidad instalada al año 2040 . . . . .	44
2.12. Balance Nacional Ecuatoriano de Energía Eléctrica - Febrero 2019 . . . . .	45
3.1. Autobús K9G en estudio . . . . .	46
3.2. Analizador de la energía y de la calidad eléctrica 435 Serie II Fluke . . . . .	49
3.3. Estación de carga eléctrica modelo EVA080KI/01 . . . . .	50
4.1. Recorrido en la ruta de prueba . . . . .	55
4.2. Altura y Velocidad del recorrido en la ruta de prueba . . . . .	56
4.3. Voltaje Vrms Fase-Neutro del autobús en Ruta de prueba . . . . .	56
4.4. Corriente Irms Fase A, B, C del autobús en Ruta de prueba . . . . .	57
4.5. Potencia del autobús en Ruta de prueba . . . . .	58
4.6. Perfil de potencia durante ruta de prueba . . . . .	59
4.7. Potencia del frenado regenerativo en el autobús eléctrico . . . . .	59
4.8. Aporte de energía kWh por cada frenado regenerativo . . . . .	60
4.9. Consumo de energía del autobús en Ruta de prueba . . . . .	61
4.10. Prueba1: Velocidad y Altura . . . . .	62
4.11. Prueba2: Velocidad y Altura . . . . .	62
4.12. Prueba3: Velocidad y Altura . . . . .	63
4.13. Prueba4: Velocidad y Altura . . . . .	63
4.14. Voltaje Vrms Fase-Neutro del autobús en pruebas de velocidad . . . . .	64
4.15. Corriente Irms Fase A, B, C del autobús en pruebas de velocidad . . . . .	65
4.16. Potencia del autobús en pruebas de velocidad . . . . .	66



4.17. Consumo de energía del autobús en cada prueba de velocidad . . . . .	67
4.18. Consumo de energía total del autobús en pruebas de velocidad . . . . .	68
4.19. Carga del autobús luego de un día de operación . . . . .	68
4.20. Esquema de la Energía en el Laboratorio durante el día . . . . .	69
4.21. Esquema de la Energía en el Laboratorio durante la noche . . . . .	69
4.22. Curvas de Energía entregada por el laboratorio para la carga del autobús eléctrico . . . . .	70
4.23. Energía suministrada para la carga del autobús el día lunes 28/01/2019 . . .	71
4.24. Energía suministrada para la carga del autobús el día martes 29/01/2019 . .	71
4.25. Energía suministrada para la carga del autobús el día miércoles 30/01/2019	72
4.26. Energía suministrada para la carga del autobús el día jueves 31/01/2019 . .	72
4.27. Recorrido del autobús eléctrico bajo operación en la ruta 100 . . . . .	75
4.28. Estado de carga estimado del autobús eléctrico bajo operación en la ruta 100	75
4.29. Altura y Velocidad del recorrido de un autobús eléctrico de la línea 100 . .	76
4.30. Recorrido del autobús eléctrico bajo operación en la ruta 27 . . . . .	76
4.31. Estado de carga estimado del autobús eléctrico bajo operación en la ruta 27	77
4.32. Altura y Velocidad del recorrido de un autobús eléctrico de la línea 27 . . .	77
4.33. Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 100 .	78
4.34. Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 100	78
4.35. Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 27 .	79
4.36. Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 27 .	79
4.37. Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 1b .	80
4.38. Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 1b .	80
4.39. Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 20 .	81
4.40. Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 20 .	81
4.41. Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 5 . .	82
4.42. Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 5 .	82
4.43. Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 24 .	83
4.44. Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 24 .	83
4.45. Modelo de Encuesta Percepción Autobús Eléctrico . . . . .	85
5.1. Resultados de encuesta en pregunta 1 . . . . .	96
5.2. Resultados de encuesta en pregunta 2 parte 1 . . . . .	96
5.3. Resultados de encuesta en pregunta 2 parte 2 . . . . .	97
5.4. Resultados de encuesta en pregunta 3 . . . . .	97
5.5. Resultados de encuesta en pregunta 4 . . . . .	98
5.6. Resultados de encuesta en pregunta 5 . . . . .	98
5.7. Resultados de encuesta en pregunta 6 . . . . .	99
5.8. Resultados de encuesta en pregunta 7 . . . . .	99
5.9. Resultados de encuesta en pregunta 8 parte 1 . . . . .	100
5.10. Resultados de encuesta en pregunta 8 parte 2 . . . . .	100



# Índice de tablas

2.1. Tipos de baterias . . . . .	27
2.2. Potencia instalada de energías renovables en MW a nivel mundial . . . . .	41
2.3. Potencia instalada de energías renovables en América del Sur . . . . .	41
2.4. Potencia instalada de energías renovables en el Ecuador . . . . .	44
2.5. Balance Nacional de Energía Eléctrica Febrero 2019 . . . . .	45
3.1. Especificaciones Técnicas BYD K9G . . . . .	47
4.1. Resumen del Voltaje Vrms Fase-Neutro . . . . .	57
4.2. Resumen de Corrientes Irms Fase A, B, C . . . . .	57
4.3. Resumen de Potencias P, Q, S . . . . .	58
4.4. Potencia P alcanzada en el frenado regenerativo . . . . .	58
4.5. Aporte de energía por cada frenado regenerativo . . . . .	60
4.6. Energía Consumida durante Ruta de Prueba . . . . .	61
4.7. Energía durante ruta de prueba . . . . .	61
4.8. Comportamiento dinámico del autobús eléctrico en pruebas de velocidad . . . . .	63
4.9. Voltaje Fase-Neutro en pruebas de velocidad . . . . .	64
4.10. Corriente Irms en Fase A,B,C en pruebas de velocidad . . . . .	65
4.11. Potencia activa y reactiva en pruebas de velocidad . . . . .	66
4.12. Energía Consumida durante cada pruebas de Velocidad . . . . .	67
4.13. Consumo total de energía durante las pruebas de velocidad . . . . .	68
4.14. Energía suministrada para la carga del autobús K9G al 100 % . . . . .	73
4.15. Indicadores de recorrido y energía consumida durante la operación del Autobús Eléctrico K9G en la Ciudad de Cuenca . . . . .	74
5.1. Comportamiento del autobús eléctrico en diferentes rutas comerciales . . . . .	89
5.2. Comportamiento del autobús convencional en las rutas comerciales . . . . .	90
5.3. Aporte de energía del frenado regenerativo por ruta comercial . . . . .	90
5.4. Información de las líneas, rutas y frecuencia . . . . .	91
5.5. Características Técnicas del vehículo eléctrico . . . . .	92
5.6. Número de vueltas, distancia recorrida por cada línea . . . . .	93
5.7. Consumo energético de las líneas en estudio . . . . .	93
5.8. Costo diésel . . . . .	93
5.9. Estimación del costo ambiental y económico del consumo de combustibles fósiles . . . . .	94



5.10. Estimación del costo económico del consumo de energía eléctrica . . . . .	95
5.11. Costos de energía subsidiada del autobús eléctrico vs autobuses convencio- nales . . . . .	95
5.12. Costos de energía sin subsidio del autobús eléctrico vs autobuses conven- cionales . . . . .	95
5.13. Anexo Especificaciones Técnicas BYD K9G . . . . .	108



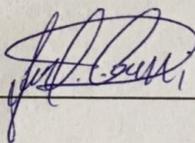
### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Edisson Ermel Carchi Tenesaca, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "*Análisis técnico sobre el comportamiento energético de un Autobús Eléctrico en recorridos en la Ciudad de Cuenca*", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre 2019



---

Edisson Ermel Carchi Tenesaca

C.I: 0104809447



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Darwin Anibal Peñafiel Garay, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "*Análisis técnico sobre el comportamiento energético de un Autobús Eléctrico en recorridos en la Ciudad de Cuenca*", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre 2019

---

Darwin Anibal Peñafiel Garay

C.I: 0106694789



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, Edison Ermel Carchi Tenesaca, autor del trabajo de titulación "Análisis técnico sobre el comportamiento energético de un Autobús Eléctrico en recorridos en la Ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, octubre de 2019

---

Edisson Ermel Carchi Tenesaca  
CI: 0104809447



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, Darwin Anibal Peñafiel Garay, autor del trabajo de titulación "Análisis técnico sobre el comportamiento energético de un Autobús Eléctrico en recorridos en la Ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, octubre de 2019

---

Darwin Anibal Peñafiel Garay

CI: 0106694789



# Agradecimientos

Queremos agradecer a la Universidad de Cuenca, por habernos guiado por el sendero del Conocimiento y acogido en sus aulas todos estos años. A todos los profesores de la facultad de ingeniería por su generosidad y entusiasmo al darnos las pautas para nuestra formación profesional, De manera especial a nuestro director de tesis, por habernos guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de nuestra carrera universitaria. Finalmente, agradecemos a nuestros compañeros de aula con quienes compartimos buenos y duros momentos en toda nuestra etapa estudiantil.

Los Autores



# Dedicatoria

## **DEDICATORIA 1:**

Dedico este trabajo principalmente a Dios y a la Virgen del Cisne, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Aurelio Carchi y Rosa Tenesaca, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre apoyo incondicional en los buenos y malos momentos de la carrera universitaria. A mi hermano Jefferson, por siempre estar dispuesto a escucharme y ayudarme en cualquier momento y finalmente a mis primos Michael y Jazmin por estar siempre sacándome una sonrisa y ser parte de mis alegrías.

**Edisson E. Carchi**

## **DEDICATORIA 2:**

A mi madre Florencia, a quien le debo todo lo que soy y todo cuanto pueda ser. A mis hermanas quienes comparten con entusiasmo la culminación de este trabajo. Las personas que siempre han creído en mí a pesar de tantas adversidades siempre me apoyaron y a quienes han sido y serán siempre mi bastón para apoyarme y seguir por la vida, el hombro donde siempre descansare para contarles mis tristezas y alegrías.

A ustedes mi hermosa familia, mi fuerza, mi fortaleza, mi compañía eterna ustedes la razón de vivir y la razón de mis alegrías para ustedes este título y todos mis triunfos que voy alcanzar en mi vida.

**Darwin A. Peñafiel**



# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

El avance tecnológico de las energías renovables en las últimas décadas ha llevado a una oleada de interés mundial en reemplazar combustibles fósiles tales como el carbón y el petróleo por otro tipo de energías menos contaminantes. Esto ocasionó que varios países de Latinoamérica lleguen a pensar en una solución que ayude a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero producidos por los automóviles convencionales, convirtiendo el uso de energías renovables en una importante opción para empresas de transporte público que buscan fomentar maneras de desplazamiento con una mayor sostenibilidad social y ambiental dentro de la ciudad.

A nivel mundial el uso de vehículos eléctricos demostró ser una importante alternativa de movilidad sostenible para suplir los altos costos y escases de combustibles fósiles, contribuyendo así con la protección del medio ambiente. Por otro lado, el interés de varias entidades internacionales, en contribuir con la eficiencia energética, la reducción de emisiones de  $CO_2$  y la dependencia del petróleo, han permitido el desarrollo de políticas integrales que mejoren la movilidad dentro de las ciudades e introduzcan sistemas de transporte sostenibles que no contaminen el medio ambiente y menos ocasionen malestar en las personas. Una de estas medidas, es la que está tomando el Estado Ecuatoriano, donde se está promoviendo la inserción de autobuses eléctricos mediante incentivos económicos que ayuden, tanto a fabricantes como consumidores, al uso de estos vehículos en las diferentes ciudades, en base a un crecimiento importante de este tipo de transporte a nivel mundial.

Entre las soluciones medio ambientales que llegan a presentar la inserción de autobuses eléctricos en la ciudad se encuentra la respuesta al congestionamiento vehicular ocasionado por el uso excesivo de los vehículos particulares, convirtiendo al transporte público (autobuses) en la mejor opción para reducir en parte este tipo de problemas; con la implementación de los autobuses eléctricos se incentiva a que las personas dejen sus automóviles en casa para movilizarse a través de un servicio más adecuado y menos contaminante.



Los acuerdos mundiales para reducir la contaminación global, ocasionaron la transformación hacia la electrificación en la movilidad lo cual conlleva cambios en las cadenas de valor y los modelos de negocios establecidos en la forma convencional de operar el tráfico de autobuses urbanos forjando la necesidad de realizar estudios, previos a la operación de las unidades, en distintas ciudades del país.

Actualmente en el Ecuador fueron implementados autobuses eléctricos en la ciudad de Guayaquil debido a su geografía plana y sin mayor inconveniente, a partir de aquí el presente estudio trata acerca de la implementación de autobuses eléctricos en la ciudad andina de Cuenca, ubicada al sur del Ecuador, la cual, está centrada en analizar el comportamiento del consumo energético del autobús eléctrico KG9 de la empresa BYD luego de un día de operación en las distintas rutas predefinidas por la cámara de transporte de Cuenca. Además se incluye un análisis de costos de operación que tienen el autobús eléctrico en comparación con los autobuses convencionales que actualmente se encuentran circulando en la ciudad.

Para determinar la eficiencia energética del autobús, el presente estudio está dividido en dos partes: la primera parte dedicada a la toma de mediciones y datos del comportamiento dinámico del autobús eléctrico, mientras que la segunda parte establece un análisis técnico sobre el consumo y eficiencia eléctrica entregada al sistema de almacenamiento del autobús (carga de las baterías). Estas partes a su vez estarán divididas en cinco capítulos en donde se abarcan todos los parámetros necesarios para cumplir con el objetivo general de determinar el rendimiento y eficiencia que tendrán dichos autobuses en distintas rutas de la ciudad de Cuenca, incluyendo temas de costo de carga que tiene el autobús eléctrico, frente a costos de combustibles fósiles (diésel) usados por los autobuses convencionales.

En este sentido, analizar el comportamiento energético y el uso de la energía suministrada por la empresa distribuidora para la carga diaria del autobús, son los principales retos que se trata en este trabajo. El estudio tiene actividades de laboratorio y de campo que involucra la caracterización del sistema de energía suministrada para la carga del autobús eléctrico y el comportamiento dinámico que tendrá en los diferentes recorridos. Además de presentar un estudio piloto mediante la técnica de recolección de datos (encuestas) sobre la percepción de los usuarios sobre el uso de este tipo de transporte público en la Ciudad.

## 1.2. Justificación

El transporte es uno de los mayores consumidores de combustibles fósiles, y uno de los mayores propulsores de la economía a nivel mundial (figura 1.1). El uso de este tipo de combustible ha ocasionado un gran problema debido a las emisiones de gases de efecto invernadero precursores del cambio climático. Además al existir una gran demanda de combustibles fósiles y las limitadas reservas de los mismos, hacen que sea necesaria la búsqueda de nuevas tecnologías que ayuden a reducir la dependencia del uso de combustibles fósiles, así como también la contaminación del medio ambiente. Los vehículos eléctricos son parte de estas soluciones, por lo que estudiar estas tecnologías ayudará a fomentar una

movilidad sostenible en el Ecuador. Nuestro país al ser dependiente en gran medida del petróleo, el cambio de tecnología en el transporte masivo contribuirá en la reducción de esta dependencia y la diversificación de nuevas fuentes de generación eléctrica renovables, necesarias para la carga de vehículos eléctricos.

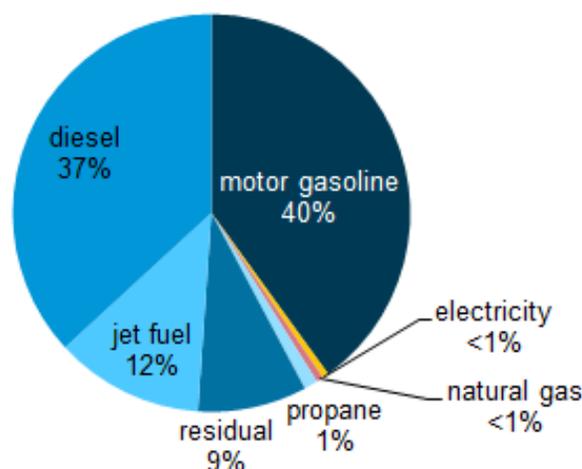


Figura 1.1: Consumo de energía mundial del sector automovilístico

Fuente: <https://www.eia.gov/>[1]

En este trabajo se obtendrá, del análisis técnico del comportamiento energético de un autobús eléctrico en recorridos en la ciudad de Cuenca, una perspectiva del uso de este transporte, que servirá como base para un futuro estudio de factibilidad acerca de la implementación de dichos autobuses en la ciudad, contando con un análisis técnico-económico de tiempo y costo de energía entregada al autobús bajo diferentes escenarios de carga. El estudio técnico del autobús tiene la finalidad de conocer ventajas y desventajas que presenta el autobús eléctrico frente a los actuales autobuses que circulan en la ciudad.

El estudio desarrollará un análisis de consumo eléctrico y eficiencia que va a tener el autobús durante su recorrido, además de contar con un estudio piloto de la percepción de la ciudadanía respecto al uso de autobuses eléctricos en la ciudad.

### 1.3. Alcance

Para el estudio energético del autobús eléctrico, el presente trabajo estará conformado por cinco capítulos los cuales tendrán como objetivo dar a conocer de manera técnica el consumo y eficiencia eléctrica del autobús; capítulos que tienen como título: Introducción, Estado del arte, Metodología, Desarrollo Experimental, Análisis de Resultados y finalmente Conclusiones del estudio.

El capítulo de Introducción muestra la lógica y antecedentes previos al proceso que se llevará a cabo para el análisis del autobús eléctrico, justificando que el proceso es un componente esencial dentro del campo de la ingeniería eléctrica relacionado con la vida



cotidiana de las personas y dando en parte solución a los problemas medio ambientales ocasionados por la contaminación, capítulo en el que además se incluye el alcance que tiene este trabajo para cumplir con los objetivos planteados.

En el capítulo de Estado del arte se realiza una recopilación de información acerca de las energías renovables, vehículos eléctricos y movilidad sostenible con introducción de autobuses eléctricos en países latinoamericanos, en donde, se toma como principales aspectos la definición de calidad de energía y el uso de energías renovables en distintos escenarios de carga; así como también se aborda la eficiencia energética de baterías y estaciones de carga para vehículos eléctricos.

El capítulo de Metodología describe de manera clara y detallada el procedimiento llevado a cabo para realizar el estudio energético del autobús; se incluye además las variables a ser analizadas, así como también características, instrumentación y recorridos en los se encontrará operando este vehículo eléctrico.

En el capítulo de Desarrollo experimental se lleva a cabo una recolección de datos del consumo energético del autobús eléctrico en sus diferentes recorridos, tomando en cuenta la distancia y ruta recorrida luego de un día normal de operación. Además se incluye una encuesta que permite conocer la percepción ciudadana respecto al uso de este tipo de transporte público.

En el capítulo de Análisis de Resultados se realiza un análisis técnico-económico a partir de los datos recolectados, para de esta manera tener una estimación de cuál es el consumo energético diario del autobús y el costo de la energía eléctrica que este necesita para cubrir los diferentes recorridos, además, se plantea conocer mediante encuestas, cuál es la aceptación de la ciudadanía con respecto al uso del autobús eléctrico.

En el apartado final de Conclusiones, se presenta las conclusiones basadas en los objetivos planteados y se describe algunas recomendaciones en caso de que existir trabajos futuros relacionados con el tema.

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo General**

- Conocer el comportamiento de variables eléctricas de un Autobús Eléctrico en recorridos preestablecidos en la ciudad de Cuenca.

### **Objetivos específicos**

- Realizar el estudio técnico de las características eléctricas del autobús.
- Analizar las variables eléctricas del proceso de carga y operación diaria de autobús.
- Estudiar la eficiencia energética del autobús bajo los recorridos en estudio.



- Comparar costos de energía eléctrica para la carga del autobús eléctrico frente a costos de combustibles fósiles utilizados para la operación de los autobuses convencionales.
- Efectuar un estudio piloto sobre la percepción de los usuarios respecto al uso de este tipo de transporte público en la ciudad.

## Capítulo 2

# ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Vehículos eléctricos

Un vehículo eléctrico es aquel medio de transporte impulsado por uno o más motores eléctricos, los cuales utilizan la energía eléctrica que se almacena en las baterías para luego transformarlas en energía cinética. A diferencia de los vehículos de motor a combustión interna estos toman la energía eléctrica de las baterías para dar tracción a los motores, además este tipo de vehículos no emiten gases de efecto invernadero disminuyendo en parte la contaminación global.

#### 2.1.1. Breve historia del vehículo eléctrico

Aunque la mayoría de personas piensa que los vehículos eléctricos son avances tecnológicos actuales, estos en realidad aparecieron mucho antes que los automóviles a diésel y gasolina, pero en aquella época en donde el uso del carbón y petróleo eran las principales fuentes de combustible, llevaron a que los vehículos eléctricos no se ensamblaran a gran escala, debido a que la producción y mantenimiento de un vehículo impulsado por combustibles fósiles era menos costoso que la generación de vehículos que funcionaran a base de electricidad.

Para el siglo XIX, entre 1832 y 1839, Robert Anderson, un inventor escocés, desarrolló el primer vehículo eléctrico puro. En paralelo, en torno a 1835, el profesor Sibrandus Stratingh de Groninga patentó y construyó vehículos eléctricos a escala reducida. Francia y Reino Unido fueron los países pioneros en fomentar el desarrollo generalizado de vehículos eléctricos, pero lo cierto es que no tuvieron demasiado éxito comercial. A causa de las limitaciones tecnológicas, la velocidad máxima que podían alcanzar estos primeros vehículos eléctricos era de unos escasos 32 km/h [2].

La firma automovilística Peugeot fue una de las primeras en lanzar al mercado un coche eléctrico. Fue entre el año de 1941 - 1942, en plena Segunda Guerra Mundial, en parte motivado por la escasez de combustible. El vehículo en cuestión se llamó Peugeot VLV (Voiture Légère de Ville / Vehículo Ligero de Ciudad), un coche de dos asientos destinado a uso urbano con una revolucionaria tecnología eléctrica para aquella época. Contaba con



una autonomía de 80 km y alcanzaba los 30 km/h. La introducción del sistema de arranque eléctrico, junto con las cadenas de montaje, propiciaron la paulatina erradicación del vehículo eléctrico. Así, hacia finales de 1930 la industria del automóvil eléctrico había desaparecido casi por completo [2].

Actualmente los países promueven la utilización de los automóviles eléctricos creando regulaciones e incentivos para que usuarios y empresas se cambien a este tipo de vehículos. Además, se hace conciencia en las personas para que utilicen estos medios de transporte para movilizarse ya que no emiten gases de efecto invernadero que contaminan el medio ambiente.

### 2.1.2. Características y Partes de los vehículos eléctricos

(a) Entre las principales **características** que presentan los vehículos eléctricos están:

- Pueden desplazarse con uno o más motores capaces de convertir la electricidad en potencia para mover el vehículo.
- El motor a combustión interna es reemplazado por un motor eléctrico.
- Producen menos contaminación acústica debido a que los motores eléctricos son muy silenciosos.
- Producen menos contaminación por emisiones que los automóviles convencionales de motor a combustión interna.
- El uso de combustibles fósiles como el diésel y la gasolina es reemplazado por baterías que se cargan con energía eléctrica de diferentes índoles (hidráulica, fotovoltaica, eólica, entre otras).

(b) Las **partes** principales que componen un vehículo eléctrico se dividen de la siguiente forma:

- **Motor:** El motor de un coche eléctrico puede ser un motor de corriente alterna o de corriente continua. Puede tener uno o varios, dependiendo del diseño. También recupera energía [2].
- **Cargador:** Absorbe la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua, para de este modo poder cargar la batería principal [2].
- **Baterías:** Las baterías de iones de litio almacenan la energía proveniente del cargador en forma de corriente continua. Así se alimenta todo el coche eléctrico. En los coches eléctricos que tienen un motor eléctrico de corriente alterna, la batería va conectada a un inversor [2].
- **Transformadores:** Los transformadores convierten la corriente alterna, que es la que se suministra por la red, en corriente continua, que es la que se acumula en las baterías [2].
- **Inversores:** Los inversores se encargan de transformar la corriente continua en corriente alterna [2].

- **Controladores:** Comprueban el correcto funcionamiento por eficiencia y seguridad y regulan la energía que recibe o recarga el motor [2].



Figura 2.1: Partes principales de un vehículo eléctrico

Fuente: <https://www.peugeot.es>[2]

### 2.1.3. Baterías

Las baterías es uno de los componentes principales de los vehículos eléctricos. De las características de las baterías dependen en gran medida su autonomía, la velocidad de carga y descarga y el costo de los vehículos. En los últimos años la producción de baterías para vehículos eléctricos ha crecido un 66 %, gracias a la investigación y el desarrollo se han producido grandes avances en el desarrollo de nuevas tecnologías, abaratando el costo de los vehículos eléctricos (EVs), lo que se ve reflejado en el incremento en la venta de vehículos eléctricos [3].

Las baterías son los componentes más caros de los EVs, por lo que al incrementarse la demanda de EVs los fabricantes invierten en el desarrollo de nuevas tecnologías para tener baterías de mayor capacidad y más baratas, reduciendo así el costo de los EVs. La batería de iones de litio del Nissan LEAF inicialmente representaba un tercio del costo de todo el vehículo. Sin embargo, se espera que este costo se reduzca progresivamente. En el año 2013, los paquetes de baterías costaban aproximadamente \$500 por kWh, la mitad del precio por kWh en 2009; en la actualidad el precio del kWh es de \$200 y se espera que se sitúe en torno a los \$100 en 2025 [4].

Tesla, una de las empresas más grandes en la producción de vehículos eléctricos en el mundo construye mega fábricas para reducir costos de producción e incrementar la capacidad de fabricación. Al reducir el costo de producción de las baterías, esto repercutirá en el costo de los vehículos eléctricos con lo que se logrará que estos vehículos sean más competitivos respecto a los vehículos impulsados por combustibles fósiles [5].



## Características principales de las baterías.

### ■ **Capacidad.**

Uno de los principales problemas de la energía eléctrica es la dificultad y el coste de almacenarla. Esto hace que en la actualidad se destinen grandes cantidades de dinero en el desarrollo de nuevas baterías con mayor eficiencia y fiabilidad, que permitan mejorar su capacidad de almacenamiento. La capacidad de una batería es la cantidad de electricidad que puede suministrar por unidad de tiempo. Esta unidad puede expresarse en amperios-hora (Ahr) o en vatios-hora (Wh), aunque para los vehículos eléctricos es más común utilizar la segunda. Teniendo en cuenta que, en los vehículos eléctricos, la capacidad de sus baterías es un aspecto crítico, la aparición de nuevas tecnologías que permitan almacenar mayor cantidad de energía en el menor tiempo posible será un factor determinante en el éxito de este tipo de vehículos.

### ■ **Densidad Energética.**

Otro aspecto importante en el desarrollo de baterías es obtener la mayor densidad energética posible, es decir, que a igualdad de tamaño y peso una batería sea capaz de acumular una mayor cantidad de energía. La densidad energética de las baterías, se mide como la energía que es capaz de proporcionar una batería por unidad de volumen (Wh/l).

De la misma forma que con la capacidad de las baterías, cuanto mayor sea la densidad energética, mayor será la autonomía de los vehículos eléctricos.

### ■ **Energía específica.**

Energía que es capaz de proporcionar una batería por unidad de peso (Wh/kg). Algunos autores también consideran este atributo como densidad energética, especificándose en Wh/l y/o en Wh/kg.

### ■ **Potencia específica.**

Potencia que es capaz de suministrar una batería por unidad de peso (W/kg).

### ■ **Ciclos de carga.**

Un ciclo de carga se completa cuando se ha usado o se ha descargado el 100 % de la batería.

### ■ **Vida útil.**

Otro aspecto a tener en cuenta es la vida útil de las baterías, que se mide en el número de ciclos de carga que puede soportar una batería, manteniendo unas prestaciones predeterminadas. El objetivo es conseguir baterías que soporten un mayor número de ciclos de carga y descarga.

### ■ **Estado de Carga.**

El estado de carga (State of charge: SOC) se define como la capacidad disponible de una batería y podría ser comparada con el depósito de combustible de un vehículo. Se represente como un porcentaje de una referencia de carga completa, el cual debe ser actualizado periódicamente. Otras unidades pueden ser Culombios (C), Amperios-hora (Ah) o kilovatios hora (kWh).



La estimación del estado de carga es esencial para alcanzar el comportamiento óptimo de un sistema que controle coches eléctricos o híbridos para maximizar la utilización del motor eléctrico con respecto al de combustión.

Uno de los factores más importantes que afectan a la estimación del SOC de una batería es el envejecimiento. Debido a los ciclos de carga y descarga, la capacidad de las celdas que forman la batería decrece con el tiempo. Este hecho induce a actualizar el máximo estado de carga disponible para la batería periódicamente ya que es la referencia para calcular el porcentaje antes mencionado. En caso de tomar como referencia el valor nominal para la capacidad de la batería, la estimación puede contener errores de peso. Otros factores que intervienen en la estimación del SOC son los siguientes:

- **Tasa de carga y descarga**

El proceso electroquímico dentro de las celdas al cargarse y descargarse siempre toma un tiempo finito y no siempre es menor que el estímulo eléctrico que carga la batería. Durante el proceso de carga puede darse un pulso de descarga y no ser realizado por completo dando lugar a imprecisiones en la estimación del SOC

- **Histéresis**

El voltaje a circuito abierto de una batería tras una carga es mayor que dicho voltaje siendo medido para el mismo valor de SOC tras una descarga.

- **Auto-descarga**

Con el transcurso del tiempo, una batería sufre un proceso de auto-descarga que típicamente es menor del 3 % cada mes. Este consumo de energía puede ser apreciable para el caso de tiempos largos entre procesos de carga.

### **Tipos de baterías en vehículos eléctricos.**

- **Batería de plomo-ácido:**

Es el tipo de batería más utilizada y la más antigua de todas, permaneciendo casi inalterada desde su invención en el Siglo XIX. Su bajo coste las hace ideales para las funciones de arranque, iluminación o soporte eléctrico, siendo utilizadas como acumuladores en vehículos de pequeño tamaño. Sus desventajas son el excesivo peso, la toxicidad del plomo y su lenta recarga, por ello no son las baterías ideales para el coche eléctrico [7].

- **Batería níquel-cadmio:**

Bastante utilizadas en la industria del automóvil, el alto coste de adquisición de sus elementos hace que no sean la solución elegida por los fabricantes, estando más orientadas a aviones, helicópteros o vehículos militares, dado su gran rendimiento a bajas temperaturas. Poseen efecto memoria, por lo que su capacidad se ve reducida con cada recarga [7].

- **Batería níquel-hierro:**

Desarrolladas por Thomas Edison y patentada en 1903, estas baterías llamadas de ferro-níquel no son montadas en la actualidad en los vehículos ya que tienen una



escasa potencia y eficiencia. Su densidad energética es similar a las de plomo-ácido [7].

- **Batería níquel-hidruro metálico:**

Similares a las de níquel-cadmio, mejoran la capacidad de estas, y reducen el efecto memoria, además de ser menos agresivas con el medio ambiente. En contra tienen su constante mantenimiento y su deterioro frente a altas temperaturas, altas corrientes de descarga o sobrecargas. Estas baterías generan demasiado calor y se recargan lentamente [7].

- **Batería Ion-litio: ( $LiCoO_2$ ):**

Baterías de reciente creación formada por un electrolito de sal de litio y electrodos de litio, cobalto y óxido. El uso de nuevos materiales como el litio ha permitido conseguir altas energías específicas, alta eficiencia, la eliminación del efecto memoria, ausencia de mantenimiento y facilidad a la hora de reciclar los desechos de Ion-litio. Disponen del doble de densidad energética que las baterías níquel-cadmio con un tamaño del orden de un tercio más pequeñas. Pero también tienen desventajas, la principal es su alto coste de producción, aunque poco a poco este se va reduciendo, son frágiles, pueden explotar por el sobrecalentamiento y deben ser almacenadas con mucho cuidado, tanto por necesitar un ambiente frío como porque debe estar parcialmente cargada. Aun así, las baterías de Ion-litio representan hoy en día la mejor elección para montar en un VE. Al no ser una tecnología totalmente madura, y encontrarse en continuo desarrollo, los avances las hacen tener un gran margen de mejora [7].

- **Batería Ion-hierro:  $LiFePO_4$ :**

Este tipo de batería Ion-hierro o también llamada LFP es parecida a la anterior, con la diferencia de que se usa hierro y fosfato en lugar de usar el cobalto, por lo que tiene una mayor estabilidad y seguridad de uso; su voltaje se mantiene cerca de los 3,2 V durante la descarga hasta que la pila se vacía. Esto permite a la batería entregar virtualmente toda la energía hasta su descarga completa por lo que poseen un ciclo de vida más largo y una mayor potencia. Como inconvenientes a destacar su menor densidad energética y su alto coste [7].

- **Batería Polímero de litio:**

Otra variación de las Ion-litio que cuenta con algunas mejoras como una densidad energética mayor y una potencia más elevada. Son ligeras, eficientes y no tienen efecto memoria. En cambio, su alto coste y bajo ciclo de vida hacen de estas baterías, con aspecto blando debido a sus componentes litio y polímero, una opción no muy extendida en la actualidad [7].

- **Batería ZEBRA:**

Estas baterías, también llamadas de sal fundida, trabajan a 250°C y tienen como electrolito cloroaluminato de sodio triturado. Es una batería compleja, de mayor contenido químico, pero que consigue unas características de energía y potencia interesantes. En desuso, el electrolito se solidifica, por lo que necesita un tiempo de fundición que

puede llegar a ser de dos días para que alcance la temperatura óptima y ofrezca plenamente su carga. Tienen el mejor ciclo de vida de todas las baterías, pero requieren ocupar mucho espacio y su potencia es baja [7].

■ **Batería de Aluminio-aire:**

Consideradas pilas de combustible por la necesidad de sustituir los electrodos de metal gastados por unos nuevos. Con una capacidad de almacenamiento de hasta diez veces más que las de tipo Ion-litio y una densidad energética fuera del alcance del resto, este tipo de batería no ha tenido una buena aceptación comercial debido a sus problemas de recarga y de fiabilidad. Se encuentran en fase experimental [7].

■ **Batería Zinc-Aire:**

Desarrolladas por una compañía suiza, y en fase experimental, pero más avanzada que las de Aluminio-Aire, estas baterías necesitan obtener el oxígeno de la atmósfera para generar una corriente. Tiene un alto potencial energético, fiabilidad y son capaces de almacenar el triple de energía que las de Ion-litio en el mismo volumen y con la mitad del coste. Según algunos expertos, el zinc se posiciona como el combustible eléctrico del futuro[7].

En la tabla 2.1 se presenta un resumen comparativo de los distintos tipos de batería.

Tabla 2.1: Tipos de baterías

<b>Tipo Baterías</b>	<b>Densidad Energética</b>	<b>Potencia Específica</b>	<b>Durabilidad (ciclos carga-descarga)</b>
<b>Plomo-Ácido</b>	60-100 W·h/L	180 Wh/kg	500-800 ciclos
<b>Níquel-Cadmio</b>	50-150 W·h/L	150 W/kg	2000 ciclos
<b>Níquel-Hidruro Metálico</b>	140-300 W·h/L	250-1,000 W/kg	500-2000 ciclos
<b>Li-ion</b>	250-730 W·h/L	250-~340 W/kg	1200 ciclos
<b>Polímero de Litio</b>	300 W·h/L	Hasta 10 kW/kg	>1000 ciclos
<b>ZEBRA</b>	160 W·h/L	155 kW/kg	3000 ciclos
<b>Aluminio-Aire</b>	Fase experimental	200 W/Kg	Fase experimental
<b>Zinc-Aire</b>	1480-9780 Wh/L	100 W/kg	Fase experimental

**Batería del autobús eléctrico K9G de la empresa BYD.**

El banco de batería de 324kW del autobús eléctrico K9G, está constituido por baterías de hierro - fosfato ( $LiFePO_4$ ), patentadas por la empresa BYD, son las únicas en el mundo, 100 % resistentes al fuego, completamente reciclables y que pueden ser usadas hasta 30 años.



Figura 2.2: Batería del autobús eléctrico K9G de la empresa BYD  
Fuente: <https://bydelectrico.com/> [8]

#### 2.1.4. La red de distribución eléctrica y la carga de los vehículos eléctricos

##### La demanda eléctrica de los vehículos eléctricos

En general, el comportamiento de la demanda eléctrica está marcado por la cantidad de potencia y el horario de consumo, del tipo de consumidores correspondiente: residencial, comercial, industrial y alumbrado público. Cada uno de estos grupos de consumo tiene un número de clientes, el cual se ha venido incrementando con respecto a años anteriores. La potencia se expresa en por unidad de la máxima del día laborable. Además, la demanda en el día semi laborable y del día festivo coincide con la demanda máxima a las 20 horas, mientras que la demanda del día laborable se encuentra un 10 % por arriba de las demandas antes mencionadas a esa misma hora [9].

La carga de la batería demanda una energía eléctrica con unas características que pueden considerarse distintas frente a otro tipo de cargas:

Es un almacenamiento directo de energía. Puede estar conectado al sistema eléctrico durante un tiempo prolongado. Su relación de potencia de carga / energía almacenada puede ser muy alta. Incorpora electrónica de potencia, lo que permite un mejor control de la potencia reactiva contribuyendo, en consecuencia, al control de tensiones en la red.



## **Control de la carga de los vehículos eléctricos**

El usuario es quien debe decidir sobre la carga de los vehículos eléctricos, para ello, debe contar con la información precisa y correcta: directamente o a través de un tercero que le aporte el valor de asesoría en un asunto que en sí mismo no es complejo, pero que puede complicarse si se tienen en cuenta el resto de sus consumos y posibilidades energéticas.

Es la empresa distribuidora, en relación permanente con el Operador del sistema, la que debe vigilar esa estabilidad y la que debe actuar para preservarla llegando incluso a poder evitar la carga solicitada por condiciones técnicas.

### **Requisitos técnicos**

Dejando a un lado los sistemas propios de control y supervisión de la carga de la batería incorporada en el vehículo, es necesario un sistema de comunicaciones y un sistema de medida y control, este último para establecer o interrumpir el paso de corriente.

El sistema de comunicaciones deberá establecer la comunicación desde el punto de carga con el vehículo y desde el punto de carga con el centro de gestión de la distribuidora. Cualquiera de las tecnologías disponibles puede emplearse, si bien el PLC parece ser la opción que cuenta con más ventajas por la facilidad que representa utilizar el mismo cable de recarga desde el vehículo al punto de carga, hasta un punto donde se disponga ya de una red de comunicaciones [9].

Es muy importante tener en cuenta el detalle de los datos a transmitir y la secuencia de comprobaciones y órdenes a enviar. Como es lógico, el proceso de medida de la energía consumida, su facturación y cobro, deben así mismo tenerse muy en cuenta. La identificación del punto de carga, e incluso del vehículo si fuera necesario, la sincronización, los tiempos de comienzo y su duración, la potencia de carga, la energía consumida, etc., son algunos de los datos que deben intercambiarse.

La telegestión debe entenderse como una parte de un concepto más amplio: las smart grids, o redes inteligentes que se aceptan generalmente como las redes eléctricas dotadas de telecomunicaciones y sistemas de información, que permiten mejorar la eficiencia operativa y, sobre todo, la participación de los usuarios [12].

### **Requisitos regulatorios**

La distribución de energía eléctrica es una actividad regulada en cuanto a que la red, única, de distribución debe asegurar una calidad del servicio que puede ser prestado al usuario final por las diferentes empresas de distribución eléctrica en Ecuador, de acuerdo con la normativa vigente en el país.

En el caso de carga del vehículo eléctrico, es de desear que, mediante el mecanismo de mercado o mediante regulación específica, se consigan precios muy diferentes para la



carga en horas valle frente a las de horas punta con objeto de dirigir el mayor consumo hacia aquellas.

### 2.1.5. Impacto del vehículo eléctrico en la red de distribución

Todas las grandes marcas de automóviles han lanzado modelos de vehículos con recarga en la red eléctrica, tanto híbridos como propiamente eléctricos, a partir del año 2010. Hubo un primer intento de lanzar el motor eléctrico dentro del sector de la automoción a finales de los 90 que no obtuvo éxito [13].

Actualmente, el sector de transporte depende del petróleo en, aproximadamente, un 95 %, principal responsable del cambio climático. Existen diversas iniciativas para aminsonar ambos efectos, tanto en el terreno de la eficiencia energética, con mejoras en los consumos en el motor de combustión, como en la incorporación de energía renovable a través del uso de biocombustibles. Junto a estas dos estrategias surge el vehículo eléctrico como una tercera vía: la del cambio en la tecnología de propulsión para permitir el acceso del transporte a otros tipos de energía [13].

La dependencia del petróleo y de los recursos fósiles, en general, plantea dos riesgos importantes, uno relativo a la seguridad de suministro y otro a la carestía del mismo. Las reservas mundiales del petróleo son limitadas y sus costes de extracción crecen con el tiempo, lo que conlleva una previsión de crecimiento de precios.

El desarrollo actual de los vehículos eléctricos de transporte masivo se incrementó alrededor del mundo debido a la aparición de las baterías de mayor autonomía. En el caso de este estudio, el autobús eléctrico KG9 de la empresa BYD tiene una autonomía de 250Km [8]. Actualmente varias empresas realizan importantes investigaciones en cuanto a las baterías para conseguir equipos de mayor densidad energética que permitan aumentar la autonomía del vehículo eléctrico.

Los autobuses eléctricos transforman la energía eléctrica procedente de la red mediante la conversión de corriente alterna a continua y viceversa, utilizando equipos de electrónica de potencia rectificadores e inversores. Estos equipos pueden introducir armónicos a la red de distribución.

### 2.1.6. Tipos de recarga del vehículo eléctrico

En la actualidad podemos encontrar hasta tres tipos de recarga usados por los vehículos eléctricos, desde el tipo lento, ideal para recargar en un garaje privado durante la noche, hasta el rápido, capaz de recargar completamente una batería en 10 minutos. Los tipos de carga son:

– **RECARGA VINCULADA o de carga lenta:** La soportan todos los VE del mercado, siendo la más habitual dada su sencillez. Se trata simplemente de conectar el coche



a cualquier enchufe «doméstico», donde se producirá una carga con corriente alterna monofásica a 230V, 16A y con 3,6 kW de potencia máxima. El tiempo de carga varía mucho dependiendo de la capacidad de la batería que incorpore el VE, estando entre las 5-8 horas. Este tipo de recarga tiene una variante que utiliza corriente alterna trifásica a 400V y 16A, pudiendo llegar a los 11 kW de potencia, que deja cargas completas en 2-3 horas. Esta solución es bastante menos utilizada que la monofásica, la cual está disponible en cualquier vivienda, de ahí su importancia [14].

– **RECARGA DE OPORTUNIDAD o de carga semi-rápida:** Poco extendida por ahora, es alimentada a través de una corriente monofásica de 230V, 32A y 8-14 kW, permitiendo un tiempo de carga de entre 1,5-3 horas, o con corriente alterna trifásica de 400V, hasta 63A y de 22 a 43 kW que consigue recargar una batería en 30 minutos. Este tipo de carga esta principalmente enfocado para zonas públicas como los puntos de recarga en la vía pública, semipúblicas y privadas como aparcamientos de flotas, centros comerciales, cines, etc [14].

– **RECARGA RÁPIDA:** Esta recarga está especialmente destinada a las estaciones de servicios que ofertan recarga eléctrica, además de las conocidas como «electrolineras». Requiere de una instalación eléctrica compleja, puesto que necesita una corriente continua de hasta 600V y 400A, y puede llegar a los 240 kW de potencia, que permiten cargar el 80 % de una batería en un intervalo de 5 a 30 minutos. También mediante el uso de corriente alterna, 500V, hasta 250A y 220 kW alcanza tiempos de recarga de 10 minutos (para un 80 % capacidad)[14].

### 2.1.7. Frenado regenerativo

Un ejemplo temprano del freno regenerativo fue desarrollado en 1967 para el vehículo Amitron de American Motors Corporation (AMC) y Gulton Industries. Este vehículo era accionado completamente por baterías en fase prototipo, estas se recargaban por frenado regenerativo, lo que incrementaba el rendimiento del automóvil [15].

El uso de la frenada regenerativa puede aportar una energía muy valiosa para los acumuladores de forma que, bien gestionada, se alargue la autonomía del vehículo con solo usarlo. Sería bueno introducir un pequeño cambio en la mentalidad del conductor a favor de la autonomía de las baterías, acostumbrándose a utilizar con previsión el freno para usar cuanto más el primer tramo del pedal de frenada exclusivamente regenerativa. Prescindiendo de la actuación de los frenos mecánicos es como más energía se logra recuperar [16].

Aquí lo importante cuando se acciona el pedal de freno, es que en el primer tramo se usa solo la capacidad de frenada que el motor eléctrico ofrece al trabajar como generador. Esta electricidad se aprovecha para cargar los acumuladores. Si se continúa accionando, entran en juego los frenos mecánicos convencionales. Hay que controlar electrónicamente la cantidad de energía que se aprovecha de la frenada, ya que en desaceleraciones muy potentes se podrían dañar los acumuladores [15].

## 2.1.8. Incursión de los vehículos eléctricos en el mundo

En 2017 se vendieron más de un millón de autos eléctricos, un nuevo récord, con más de la mitad de las ventas globales en China. El número total de autos eléctricos en la carretera superó los 3 millones en todo el mundo, una expansión de más del 50 % a partir de 2016. En términos de participación, Noruega sigue siendo el mercado más avanzado del mundo para las ventas de automóviles eléctricos, con más del 39 % de las nuevas ventas en 2017. Islandia sigue con el 11.7 %, luego Suecia con el 6.3 % [17].

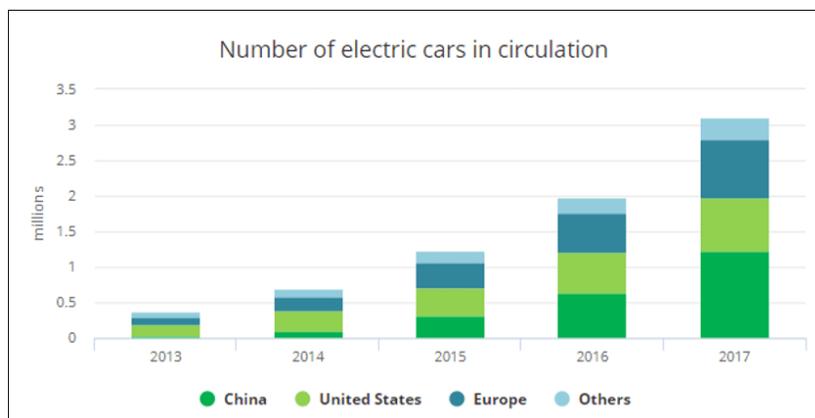


Figura 2.3: Número de autos eléctricos en circulación hasta el año 2017  
Fuente: <https://www.iea.org/gevo2018/> [17]

En la actualidad existen incentivos económicos en diferentes países para que se implementen este tipo de vehículos. Por ejemplo en Noruega, el país con la mayor penetración de coches eléctricos del mundo en estos momentos ofrece generosos incentivos para los vehículos de baterías, además se espera que en los próximos años los coches eléctricos lleguen a liderar el parque automotor global.

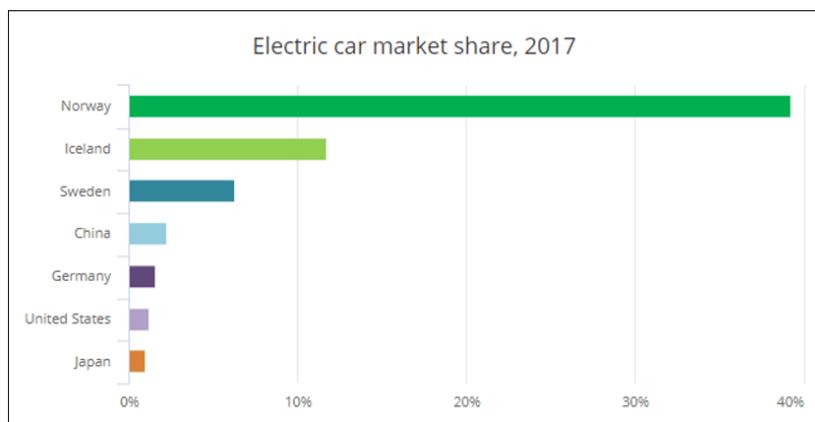


Figura 2.4: Parque automotor eléctrico en diferentes países del mundo  
Fuente: <https://www.iea.org/gevo2018/> [17]

La figura 2.3 muestra el número de vehículos eléctricos en circulación hasta el año



2017 y la figura 2.4 indica la tendencia que tienen los países con respecto a la incursión de los vehículos eléctricos en el mundo, manifestando un crecimiento exponencial de los automóviles eléctricos y su aceptación a nivel mundial.

## 2.2. Movilidad eléctrica

Hoy en día muchas empresas han aceptado su responsabilidad de no ocasionar daños que afecten al medio ambiente. Los productos y los procesos de producción se están volviendo más limpios insertando maneras de manufactura más amigables con la naturaleza; en las industrias, cada vez se financian campañas que concientizan más en el tema de reducir la contaminación ambiental, llegando a la conclusión de que pueden reducir la contaminación y aumentar las ganancias simultáneamente, a esto se suma el agotamiento de los combustibles fósiles, dando como resultado una visión futura con menos contaminación y mayor sostenibilidad económica.

La industria del automóvil forma parte de las empresas que de manera urgente deben reducir el uso de los combustibles fósiles en sus unidades, debido a su dependencia en un 95 % de los derivados del petróleo generan de la mayor emisión de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) hacia la atmósfera. Por ello, la irrupción de los vehículos eléctricos es la ocasión perfecta para integrar las energías renovables en este sector y reducir dicha necesidad [18]. Además, al sustituirse el parque automovilístico convencional por vehículos eléctricos, disminuyen las emisiones de gases tóxicos a la atmósfera, lo que repercute positivamente en el medio ambiente y en la salud de las personas que, no solo respiran mejor, sino que sufren menos la contaminación acústica que producen los motores a combustión interna. La movilidad eléctrica es, por tanto, una forma de desplazarse más limpia y amigable con el medio ambiente, y su contaminación es mínima ya que solo provoca emisiones al momento de fabricar los componentes que se necesitan para ensamblar los vehículos [18].

### 2.2.1. Movilidad eléctrica en el Ecuador

En el Ecuador existen reformas para la implementación de vehículos eléctricos creando incentivos para que usuarios lleguen a cambiar los automóviles convencionales por este tipo de transporte. En el caso del servicio de transporte público se brindará Financiamiento de Movilidad Eléctrica a personas jurídicas, que cuenten con un proyecto integral de transporte terrestre de pasajeros, que incluya la incorporación de una o más unidades con propulsión eléctrica a sus flotas actuales y que cuenten con permisos para su operación emitidos por la instancia competente [19].

#### Loja

El proyecto de vehículos eléctricos en Loja nace como una iniciativa de ecuatorianos que regresaron al país, ante la necesidad de empleo. En donde se formó la cooperativa Electric Loja Ecolosur tiene a 50 unidades a disposición de los usuarios lojanos [20].

El rendimiento del vehículo con carga 100 % es de 9 a 12 horas o lo que es lo mismo 250 kilómetros. La recarga se la hace en cada uno de los domicilios o en la electrolinera que está ubicada junto al estadio Reina del Cisne. Este proceso se lo hace de 3 a 4 horas con luz de 220 voltios en las casas, mientras que en la electrolinera es de una hora [20]. La diferencia en cuanto a costos en comparación a los autos a gasolina son considerables. La ventaja operativa es 3 a 1 con relación a los otros autos, por ejemplo si en un vehículo se recorre 250 km y gasta de 10 a 12 dólares en combustible, en los eléctricos la misma distancia la cubre con 3 dólares en energía eléctrica, esto más o menos significa un ahorro de 250 dólares mensuales [20].



Figura 2.5: Taxis eléctricos adquiridos por la ciudad de Loja-Ecuador  
Fuente: <https://bydelectrico.com/> [8]

## Guayaquil

Actualmente la ciudad de Guayaquil ha implementado los primeros autobuses eléctricos en el país convirtiendo a esta ciudad en la segunda en Latinoamérica en tener buses de este tipo, 100 % ecológicos. A la fecha de hoy se cuenta con una flota de 20 unidades para el transporte público, entregadas por la empresa fabricante china BYD a la compañía Saucinc, la cual se encargará de operar las unidades en el norte y centro de la ciudad [21].



Figura 2.6: Autobuses eléctricos adquiridos por la ciudad de Guayaquil-Ecuador  
Fuente: <https://www.eluniverso.com/guayaquil> [21]

## 2.2.2. Proyección futura de Movilidad eléctrica en el Ecuador

El artículo 14 de la Ley Orgánica de la Eficiencia Energética que actualmente se encuentra vigente en el Ecuador menciona que “El Gobierno Nacional a través de los ministerios competentes, crearán un plan de chatarrización para los vehículos de trabajo de personas naturales y del transporte público que salgan de servicio y que se reemplacen por vehículos de medio motriz eléctrico. Los GAD podrán en el ámbito de sus componentes establecer planes de chatarrización. A partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial, en el Ecuador continental, deberán ser únicamente de medio motriz eléctrico” [22].

## 2.3. Autobuses Eléctricos

### 2.3.1. Tipos de Autobuses eléctricos de acuerdo a su tecnología

#### Autobuses Híbridos

Un vehículo híbrido es aquel que posee dos tipos de accionamiento, empleando sistemas de acumulación de energía para aumentar su eficiencia energética. Asimismo, en lugar de un motor de combustión puede utilizarse una pila de hidrógeno. Existe, además, un generador eléctrico acoplado al motor de combustión para generar la electricidad que alimenta el motor eléctrico y que es acumulada en las baterías. Los sistemas híbridos, por tanto, se desarrollan para aumentar la eficiencia energética de los vehículos mediante la acumulación de energía en momentos de excesiva producción o de desaprovechamiento de la misma [23].

Por ello es muy importante su desarrollo para el transporte urbano donde existe muchas frenadas donde se pierde energía en forma de calor en los frenos y donde una gran parte del tiempo se está detenido en paradas y semáforos y su motor térmico se encuentra al ralentí, con el consiguiente consumo innecesario de combustible. Según esta clasificación los vehículos híbridos pueden estar orientados a reducir las emisiones y reducir el consumo. Existen dos tipos de sistemas de autobuses híbridos: Autobuses Híbridos en paralelo y en serie.

**Autobuses híbridos en paralelo:** En este tipo de autobuses, el motor de combustión y el motor eléctrico están acoplados a las ruedas motrices, pudiendo transmitirles movimiento separada o conjuntamente a las mismas.

**Autobuses híbridos en serie:** En estos autobuses, existe una conexión desde el motor de combustión, al generador eléctrico y el motor eléctrico, no existiendo un enlace mecánico entre el motor de combustión y las ruedas motrices.

## Autobuses Eléctricos

La electrificación del sector de transporte es un elemento crítico para afrontar el cambio climático. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA), para limitar el incremento global de la temperatura a menos de 2 °C para el año 2050 – la meta establecida por el Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) durante la 21ª sesión de la Conferencia de las Partes (COP) en diciembre del año 2015 – el 18 % de la reducción en emisiones de carbono debe venir del sector del transporte. La IEA dice que para llegar a esta meta, cerca de mil millones de vehículos eléctricos, representando más del 40 % de la flota de vehículos ligeros, tendrían que estar en circulación para el año 2050. Estas proyecciones requerirán también que la producción del sector eléctrico sea casi completamente descarbonizada a través de un aumento en la generación de la energía renovable [24].

Los autobuses eléctricos se clasifican en: autobuses eléctricos sin recarga y autobuses eléctricos con recarga.

**Autobuses eléctricos sin recarga:** Los autobuses eléctricos sin recarga (Trolebús), son semejantes al tranvía ya que la alimentación de corriente eléctrica es a través de catenarias y difiere principalmente del tranvía en que posee dos cables eléctricos aéreos de contacto que a su vez sirven como guía; estos cables están conectados al techo del autobús mediante dos astas, que son móviles en el contacto con la catenaria e inmóvil en el contacto hacia el bus.

**Autobuses eléctricos con recarga:** Los autobuses eléctricos con recarga se abastecen con energía eléctrica que se encuentra almacenada en baterías recargables, con autonomía suficiente para un recorrido, sin necesidad de recargas durante el mismo. Sus principales características a parte del coste de adquisición y de mantenimiento es el periodo de tiempo de autonomía de la batería y el tiempo de recarga.

Debido al alto costo de los autobuses eléctricos en comparación con autobuses de combustión interna, en los últimos años el estudio y fabricación de este tipo de tecnología se intensificó en muchos países a nivel mundial. El objetivo de estos estudios fue abaratar el costo de esta tecnología además de mejorar la eficiencia de este tipo de buses eléctricos, minimizar el impacto visual de la infraestructura física de recarga sobre la ciudad.

### 2.3.2. Autobuses eléctricos: ventajas y desventajas

Varias son las **ventajas** de los autobuses eléctricos en comparación con autobuses convencionales entre las más relevantes están:

- El costo de la energía eléctrica en comparación con el combustible convencional es mucho más barato (tabla 5.9 y tabla 5.10).
- Mayor espacio debido que el motor es más pequeño en comparación con los convencionales.



- El aporte de éstos en la contaminación atmosférica es mínima aportando así en la conservación del medio ambiente.
- Por último y no por ello la menos importante, reducción de la contaminación acústica.

Entre las principales **desventajas** se tiene:

- Un desconocimiento acerca de este tipo de tecnología.
- Menor autonomía en comparación con autobuses convencionales, por lo que no son utilizados en rutas largas.
- Otra de las desventajas es el precio de compra del autobús eléctrico, aunque con el paso del tiempo esto está cambiando y el precio del autobús está descendiendo, pero en comparación con los autobuses de combustión interna, el precio es superior.
- A todo esto se debe mencionar como una desventaja el tiempo de recarga de la batería de un autobús eléctrico ya que esta puede durar varias horas.

### **2.3.3. Introducción de autobuses eléctricos en Latinoamérica**

Latinoamérica es la región con más alto porcentaje de capacidad instalada de fuentes de energía renovables en el mundo, a pesar de que a nivel mundial representa tan solo el 5 % de la capacidad total de energía eléctrica instalada y el 11 % de la capacidad instalada de fuentes renovables. Se establecen reformas en su matriz energética a base de energías no contaminantes, no obstante una de las primeras formas de cambio está en el uso de automóviles eléctricos reduciendo de esta forma su dependencia del petróleo. La generación de energía sustentable tiene una relación directa con la movilidad eléctrica y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que la introducción de autobuses eléctricos en Latinoamérica parte de la necesidad de tener un transporte eficiente y amigable con el medio ambiente.

La mayoría de países latinoamericanos se han comprometido a cambiar el uso de energías no renovables en el transporte y de esta manera reducir la huella del carbono, pero en mucho de los casos, renovar las flotas de autobuses convencionales por eléctricos tuvo inconvenientes por la falta de financiamiento, el desconocimiento de la tecnología y la falta de profesionales capacitados en este tipo de tecnologías.

Al ser China el fabricante número uno de autobuses eléctricos a nivel mundial, su producción tuvo inconvenientes en Latinoamérica debido a que existe una mala percepción de la tecnología China, pero esto está cambiando ya que cuatro grandes ciudades en este año implementaron flotas de buses eléctricos y otras ciudades iniciaron un plan piloto.

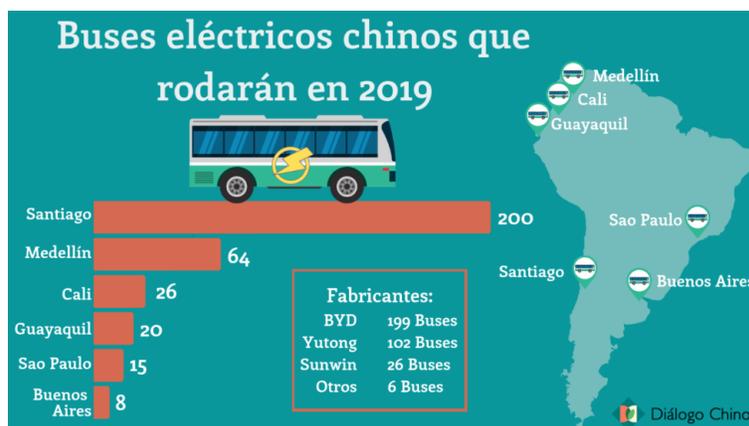


Figura 2.7: Cantidad de Buses eléctricos chinos que estarán en circulación en 2019

Fuente: <https://dialogochino.net> [25]

### Santiago (Chile)

Chile ha tomado la iniciativa en la región, reemplazando 200 autobuses convencionales por autobuses eléctricos, de los cuales 100 buses son del fabricante chino BYD y 100 de la marca Yutong, convirtiéndose así en el segundo país con más autobuses eléctricos a nivel mundial después de China. La disminución de contaminación se ha convertido en tema central de la agenda pública de este país.

Sebastián Piñera presidente de Chile se comprometió a multiplicar por diez el número de vehículos eléctricos en tres años, a lo que llamó como la Ruta Energética 2018-2022, para facilitar el reemplazo de esta tecnología el gobierno junto al gigante eléctrico italiano ENEL instaló 100 puntos de carga en la ciudad.

Según Darío Hidalgo, investigador del Centro Ross para Ciudades Sostenibles en el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) que ha seguido el tema de cerca. “Lo de Santiago es muy interesante porque hay una alianza entre los operadores privados, los fabricantes y los distribuidores de energía” [25].

### Medellín y Cali (Colombia)

Medellín y Cali contribuyen en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia, ya que este fue un compromiso del acuerdo de París en donde se planteaba reemplazar el 75 % de la autobuses públicos de las 7 principales ciudades del país por vehículos de cero emisiones hasta el 2040 [25].

La flota de autobuses eléctricos en Medellín es de 64 de la empresa china BYD, estos autobuses fueron adquiridos con el financiamiento en su totalidad por el gobierno local. La ciudad de Cali cuenta con 26 autobuses eléctricos de la empresa china Sunwin Bus corporation [25].



## **Guayaquil (Ecuador)**

Como ya se ha hecho mención en el apartado de movilidad eléctrica en el Ecuador, la ciudad de Guayaquil, cuenta con una flota de 20 autobuses de la empresa china BYD. Estos autobuses fueron adquiridos por operadores privados de transporte (compañía Saucinc), con apoyo estatal de la Corporación Financiera Nacional (CFN), la misma que financió la mitad de la compra. Los autobuses eléctricos son exonerados a pagar aranceles de importación y el impuesto de valor agregado. Existen varios operadores de transporte en el país interesados en beneficiarse de estos incentivos.

En otro contexto, el transporte impulsado por la electricidad en Latinoamérica se encuentra en una etapa temprana, con tan solo unos cuantos miles de VE (Vehículos Eléctricos) circulando en toda la región. Latinoamérica enfrenta muchas de las barreras de entrada típicas para expandir el uso de VE y cuenta con pocos de los incentivos que han ayudado a la venta de VE en otras regiones del mundo. Las barreras más importantes para la entrada son los altos costos de venta y la falta de infraestructura para la carga de baterías. Existe preocupación sobre la capacidad de la red eléctrica y también sobre la competencia de otras industrias. Los incentivos actuales, tales como incentivos tributarios limitados y el uso restrictivo de las calles y carreteras, no han sido suficientes para compensar las desventajas en la vista del público de adquirir un VE.

Una opción para mejorar la infraestructura de carga y fortalecer las redes eléctricas existentes, son las energías renovables.

## **2.4. Energías Renovables**

En un intento de disminuir los efectos del calentamiento global debido en gran parte a la emisión de gases de efecto invernadero, los gobiernos han creado políticas que ayuden a combatir este problema, he ahí que se establecen acuerdos mundiales como el “Protocolo de Kyoto” que más tarde es reemplazado por el “Acuerdo de París” cuyo objetivo principal es tratar evitar que la temperatura del planeta aumente más de dos grados respecto a la era preindustrial. La mejor opción para combatir el cambio climático parece ser el uso de las energías alternativas no contaminantes como lo son la energía eólica, hidroeléctrica, solar, entre otras.

A diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado, las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, estas se renuevan continuamente y la emisión de gases de efecto invernadero es nula [26].

### **2.4.1. Tipos de energías renovables**

Existen numerosas fuentes renovables de las que se puede extraer energía limpia, a continuación, se presenta una breve definición de las energías renovables con mayor demanda



a nivel mundial.

- **Hidráulica**

La energía hidroeléctrica es producida por el flujo del agua la cual pasa a través de una turbina hacia el generador transformando la energía potencial del agua en energía eléctrica. Este tipo de energía actualmente es la de mayor generación entre las energías renovables.

- **Solar**

La energía solar fotovoltaica es la energía generada por la emisión de rayos solares hacia el planeta en donde los paneles solares aprovechan el efecto fotovoltaico de la luz ocasionando que cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, formen un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

- **Eólica**

Los vientos formados por las corrientes de aire al bajar la presión deben tener la suficiente fuerza como para romper el torque y ocasionar el movimiento de las aspas en los aerogeneradores, que, similar a la energía hidroeléctrica esta transforma la energía potencial del viento en energía eléctrica. Los aerogeneradores se sitúan principalmente en lugares con fuertes corrientes de aire.

- **Geotérmica**

Para la generación de este tipo de energía, el calor producido por el subsuelo es aprovechado para calentar agua u otro fluido de trabajo, mediante el cual se hace girar la turbina de un generador llevando a la producción de energía eléctrica.

- **Mareomotriz**

Esta energía es desarrollada por las aguas del mar en movimiento donde el agua pasa a través de un dique girando las turbinas y transformando la energía potencial en energía eléctrica.

- **Biomasa**

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos que en este caso de estudio son aprovechadas como combustibles para la generación de energía eléctrica.

## 2.4.2. Contexto internacional de las energías renovables

El incremento en el uso de las energías renovables se ha elevado en un promedio anual de 2.3 % en los últimos años, ocasionando que los países a nivel mundial aumenten su capacidad instalada [28]. Debido a la generación de este tipo de energías muchos de los países han realizado grandes cambios en su matriz energética, lo que conlleva a que se realicen aportes estadísticos de la energía renovable instalada en el mundo, estudio que a su vez es realizado por la organización IRENA (International Renewable Energy Agency), la cual es encargada de recopilar esta información.



Los datos de las tablas 2.2 y 2.3 reflejan la capacidad de energías renovables, representada en MW, instalada desde el año 2009 hasta el año 2018, en donde se aprecia como las energías renovables han ido en aumento hasta llegar a ser una parte importante dentro del sector energético de cada país.

Tabla 2.2: Potencia instalada de energías renovables en MW a nivel mundial

Fuente: <https://www.irena.org/>

Total energías renovables instaladas en el mundo										
MW	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Total</b>	1136226	1224050	1329202	1441393	1563122	1693254	1848157	2007996	2179448	2350755
<b>África</b>	26097	27338	27784	28755	30944	33032	35305	37934	42677	46269
<b>Asia</b>	349146	386908	433579	478216	552725	631745	721119	810802	918661	1023533
<b>C América + Caribe</b>	7384	7671	8488	9319	9648	10342	11936	13531	14108	14888
<b>Euroasia</b>	67626	69570	71358	76557	80713	83700	87642	90733	95865	100007
<b>Europa</b>	295798	322579	361476	395648	420241	440673	465130	489177	512774	536392
<b>Unión Europea</b>	238856	265161	303214	335937	358766	378323	402020	423910	445876	466403
<b>Oriente Medio</b>	11351	12133	12556	13218	14090	15592	16953	17788	18705	20026
<b>N América</b>	220266	232125	242940	262799	272069	284700	307332	331580	347766	366500
<b>Oceanía</b>	17712	18389	19674	21382	22201	23797	24694	25178	27071	31870
<b>S América</b>	140846	147337	151348	155499	160491	169672	178047	191273	201823	211270

Tabla 2.3: Potencia instalada de energías renovables en América del Sur

Fuente: <https://www.irena.org/>

Total de energías renovables instalada en S América										
MW	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>S América</b>	140846	147337	151348	155499	160491	169672	178047	191273	201823	211270
<b>Argentina</b>	9655	9649	9720	9835	9899	9950	9948	10013	11555	11935
<b>Bolivia</b>	584	584	590	591	592	628	638	669	796	914
<b>Brasil</b>	84929	89558	92912	96112	99827	106439	112616	121320	128269	135674
<b>Chile</b>	6105	6158	6697	7055	7677	8328	8451	9298	10288	10903
<b>Colombia</b>	9143	9913	9917	9979	10081	11153	11756	11882	12057	12243
<b>Ecuador</b>	2168	2345	2337	2367	2388	2439	2601	4640	4714	5163
<b>Islas Malvinas</b>	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4
<b>Guayana Francesa</b>	117	138	148	155	155	159	160	165	165	167
<b>Guyana</b>	41	41	41	42	42	47	47	48	50	51
<b>Paraguay</b>	8130	8810	8810	8810	8849	8849	8849	8849	8849	8849
<b>Perú</b>	3363	3516	3539	3698	3841	4098	4701	5730	5972	6252
<b>Surinam</b>	180	180	180	181	181	186	188	188	188	189
<b>Uruguay</b>	1806	1816	1827	2016	2024	2460	2896	3276	3724	3734
<b>Venezuela</b>	14624	14626	14626	14656	14933	14934	15192	15192	15192	15192

La tabla 2.2 muestra la capacidad de energías renovables instalada en el mundo, con un total de 2350755MW para el año 2018, llegando a ser Asia, con 1023533MW, el continente que posee mayor capacidad instalada, mientras que Centro América y el Caribe es la región con la menor capacidad de energía renovable instalada, la cual cuenta con un total de 14888MW.

La tabla 2.3 muestra la capacidad de energías renovables instalada en Latinoamérica, con un total de 211270MW hasta el año 2018, llegando a ser Brasil, con 135674MW, el país de Latinoamérica que posee mayor capacidad instalada, mientras que las Islas Malvinas en conjunto con Guyana son los países con la menor capacidad de energía renovable

instalada, las cuales cuentan con un total de 4MW y 51MW respectivamente.

A finales de 2018, la capacidad mundial de generación ascendió a 2351 GW, la energía hidroeléctrica representó la mayor parte del total mundial, con una capacidad instalada de 1172 GW. La energía eólica y solar representaron la mayor parte del resto, con capacidades de 564 GW y 486 GW respectivamente. Otros renovables incluyen 115 GW de Bioenergía, 13 GW de energía geotermia y 500 MW de energía marina (marea, ola y energía oceánica)[28].

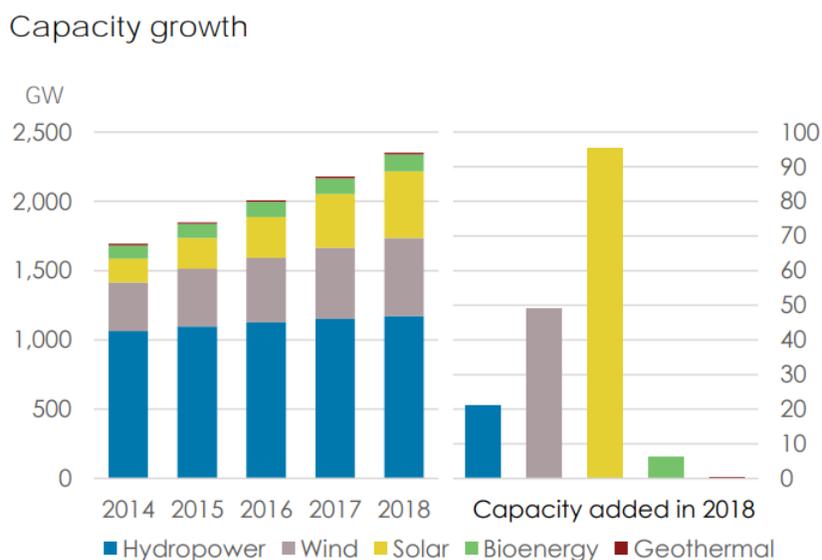


Figura 2.8: Capacidad de energía renovable instalada en mundo para el año 2018

Fuente: <https://www.irena.org> [28]

En 2018, la capacidad de generación renovable aumentó aproximadamente la misma cantidad que el año pasado (171 GW o + 7.9%). La energía solar continuó dominando, con un aumento de capacidad de 94 GW (+ 24%), seguida de la energía eólica con un aumento de 49 GW (+ 10%). La capacidad hidroeléctrica aumentó en 21 GW (+ 2%) y la bioenergía en 6 GW (+ 5%). La energía geotérmica aumentó en poco más de 500 MW. La expansión de la capacidad renovable continúa siendo impulsada principalmente por las nuevas instalaciones de energía solar y eólica. Estos representaron el 84% de toda la capacidad nueva instalada en 2018, lo que finalmente elevó la participación general de la hidroeléctrica a poco menos del 50% [28]. Figura (2.9)

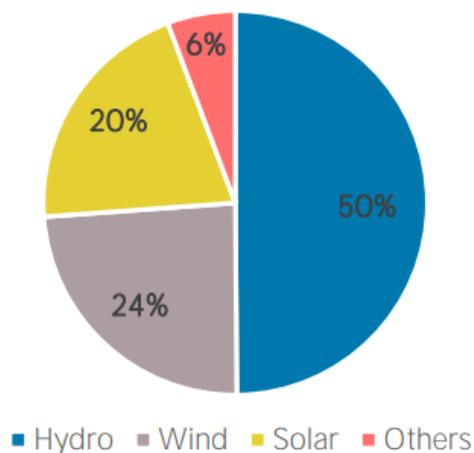


Figura 2.9: Capacidad de generación renovable por fuente de energía para el año 2018  
Fuente: <https://www.irena.org> [28]

Dado el aumento de las energías renovables al nivel mundial, varias entidades se han dedicado a hacer proyecciones futuras de la utilización de esta energía. Una de las organizaciones es la IEA (Agencia Internacional de Energía) que a través la publicación World Energy Outlook (WEO), considerada como estándar el análisis energético, ofrece una visión estratégica de lo que las decisiones de política e inversión de hoy significan para las tendencias a largo plazo[29]. Las figuras 2.10 y 2.11 muestra la proyección de la generación de energía y capacidad instalada hasta el año 2040 respectivamente.

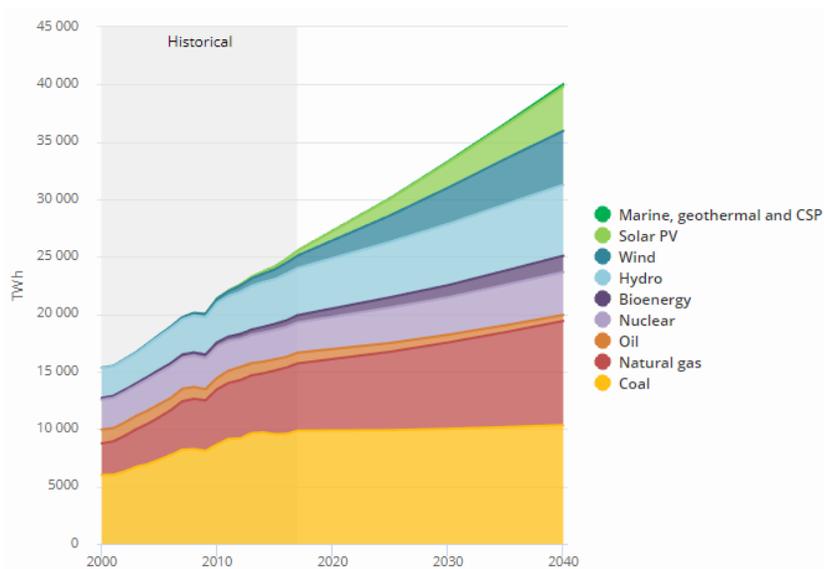


Figura 2.10: Proyección de la Generación de energía al año 2040  
Fuente: <https://www.iea.org/weo/> [29]

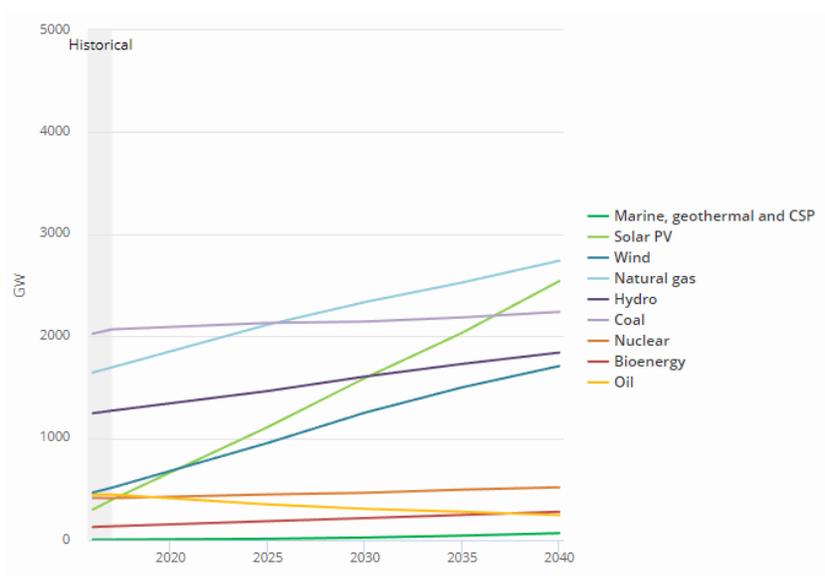


Figura 2.11: Proyección de Capacidad instalada al año 2040

 Fuente: <https://www.iea.org/weo/> [29]

### 2.4.3. Energías Renovables en el Ecuador bajo distintos escenarios de carga

Al igual que en otras partes del mundo, el Ecuador promueve la generación de energías renovables creando regulaciones e incentivos para que industrias hagan inversiones en este tipo de energías. Con la creación de centrales hidroeléctricas, las energías renovables en los últimos años han crecido hasta llegar a formar parte importante de la matriz energética del país. En la tabla 2.4 se muestra cual ha sido el panorama de las energías renovables en el Ecuador entre los años 2009-2018.

Tabla 2.4: Potencia instalada de energías renovables en el Ecuador

 Fuente: <https://www.irena.org/>

Total energías renovables instaladas en el mundo										
MW	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Ecuador</b>	2168	2345	2337	2367	2388	2439	2601	4640	4714	5163
<b>Hidroeléctrica</b>	2059	2242	2234	2263	2263	2248	2410	4447	4516	4966
<b>Eólica</b>	2	2	2	2	19	21	21	21	21	21
<b>Solar</b>	0	0	0	0	4	26	26	26	26	26
<b>Bioenergía</b>	107	101	101	101	101	144	144	146	151	152

Mediante el portal web de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), actualmente el balance nacional de energía eléctrica en el Ecuador esta mostrada en la Tabla 2.5, donde se indica que, del total de generación eléctrica producida en el país, la mayor parte proviene de energías renovables.

Tabla 2.5: Balance Nacional de Energía Eléctrica Febrero 2019  
 Fuente: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/> [31]

<b>INFORMACIÓN ESTADÍSTICA FEBRERO 2019</b>			
<b>Energía Renovable</b>	Hidráulica	5.073,66	58,54 %
	Eólica	21,15	0,24 %
	Fotovoltaica	27,63	0,32 %
	Biomasa	144,30	1,66 %
	Biogas	7,26	0,08 %
<b>Total Energía Renovable</b>		<b>5.274,00</b>	<b>60,85 %</b>
<b>No Renovable</b>	Térmica MCI (motores de combustión interna)	2.010,02	23,19 %
	Térmica Turbogas	921,85	10,64 %
	Térmica Turbopapor	461,87	5,33 %
<b>Total Energía No Renovable</b>		<b>3.393,73</b>	<b>39,15 %</b>
<b>Total Potencia Nominal</b>		<b>8.667,74</b>	<b>100,00 %</b>

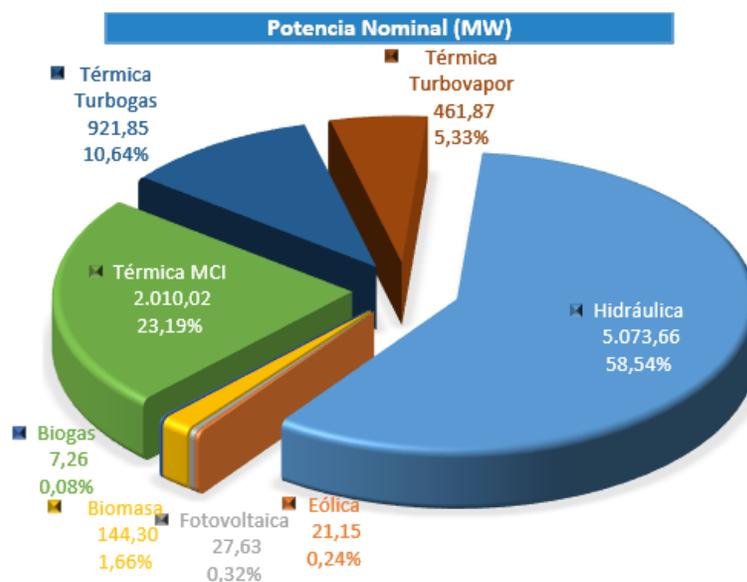


Figura 2.12: Balance Nacional Ecuatoriano de Energía Eléctrica - Febrero 2019  
 Fuente: [https://www.regulacionelectrica.gob.ec](https://www.regulacionelectrica.gob.ec/) [31]

De la tabla 2.5 se aprecia que el 60.85 % de la energía eléctrica generada en el país es proveniente de energías renovables mientras que el otro 39.15 % es proveniente de energías no renovables. Con la información estadística, que es proporcionada por los participantes del Sector Eléctrico y gestionada por la ARCONEL, se construye el balance de energía eléctrica [31].

## Capítulo 3

# METODOLOGÍA

En este tipo de investigaciones se estudia una problemática a partir de la recolección y análisis de datos directos de la realidad, por lo que se utilizan criterios estadísticos para el procesamiento de la información recolectada. Datos que son analizados a través de Excel y Matlab para la reconstrucción de las curvas que son mostradas mas adelante.

### 3.1. Diseño de la investigación

La presente investigación busca conocer el comportamiento energético de un Autobús Eléctrico en recorridos establecidos en la ciudad de Cuenca, determinando el consumo de energía luego de un día de operación en distintas rutas. Analizar el sistema de almacenamiento a partir de distintos escenarios de carga es el tema principal de este trabajo, esto permite no solo estudiar el proceso de carga, sino realizar un estudio con la integración que tiene los autobuses eléctricos en la ciudad. Para ello se realizó el estudio técnico sobre el autobús modelo K9G perteneciente a la empresa BYD, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la figura 3.1 y la tabla 3.1.

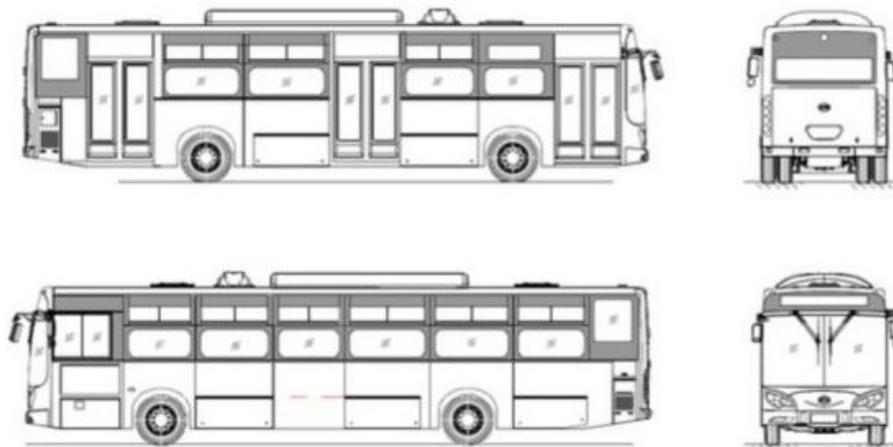


Figura 3.1: Autobús K9G en estudio  
Fuente: Empresa BYD



Tabla 3.1: Especificaciones Técnicas BYD K9G

Fuente: Empresa BYD

<b>Especificaciones Técnicas BYD K9G</b>		
<b>DATOS DEL PRODUCTO</b>		
Marca	BYD	
Modelo	K9G	
Tipo	Bus Urbano	
Categoría [clase]	M3 (Clase II)	
Combustible	Electricidad	
<b>MOTOR</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Tipo de motor	AC sincrónico de imanes permanentes	
Familia y Modelo	BYD-2912TZ-XY-A	
Potencia máxima	150KW x 2 (201 HP x 2)	
Torque	550 Nm x 2	
Autonomía	300 Km	
Velocidad máxima [Km/h]	80 Km/h	
<b>DIMENSIONES EXTERNAS</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Longitud total [mm]	12540 mm	
Ancho total [mm]	2550 mm	
Alto total [mm]	3411 mm	
Distancia entre ejes [mm]	6150 mm	
Voladizo delantero [mm]	2700 mm	
Voladizo posterior [mm]	3690 mm	
Trocha eje delantero [mm]	2110 mm	
Trocha eje posterior [mm]	1904 mm	
Ángulo de aproximación	8.5	
Ángulo de salida	8.5	
Altura mínima del suelo [mm]	153 mm	
Radio de giro [mm]	12000 mm	
<b>PESOS Y CAPACIDADES</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Peso bruto vehicular [PBV] [kg]	19500 kg	19500 kg
Peso en vacío [kg]	13850 kg	14130 kg
Capacidad de carga [kg]	5650 kg	5370 kg
Economía de combustible [km/KWh]	0.93 km/KWh	
Capacidad de pasajeros, de pie y sentados [incluye chofer]	De pie: 49 Sentados: 31 +1chofer	De pie: 44 Sentados: 31 +1chofer
Área útil disponible para pasajeros de pie [m <sup>2</sup> ]	8 m <sup>2</sup>	
<b>TRANSMISIÓN</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Marca	BYD	
Modelo	K9G	
Tipo	Motor en llanta sin caja de cambios	



No. de marchas	3, Drive, Neutro y Retro	
Tracción	4 x 2 trasera	
<b>SUSPENSIÓN</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Delantera	Suspensión neumática de cuatro enlaces	
Posterior	Suspensión neumática de cuatro enlaces	
<b>DIRECCIÓN</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Descripción sistema	Sistema de dirección asistida hidráulica controlada electrónicamente	
<b>FRENOS</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Delanteros	Descripción	
Marca	Knorr	
Tipo de Accionamiento	Freno de disco, freno neumático	
Posteriores	Descripción	
Marca	Knorr	
Tipo de Accionamiento	Freno de disco, freno neumático	
Posteriores	Descripción	
Marca	Knorr	
Tipo de Accionamiento	Freno de resorte	
<b>SISTEMA ESPECIALES</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Ascensor para silla de ruedas	NO	SI

**Nota:** En relación a la capacidad de almacenamiento de energía que tienen las baterías del autobús en estudio, no está explícitamente descrita por el fabricante, sin embargo, la misma es estimada mediante variables indirectas como la capacidad en Ah (6000Ah) y el voltaje promedio en el banco de baterías (540 V DC), arrojando una capacidad estimada de  $6000\text{Ah} \times 540\text{V} = 324\text{kWh}$  [32].

En primera instancia, el análisis técnico del comportamiento eléctrico del autobús fue realizado mediante pruebas de campo que consistieron en la recolección de datos mediante el analizador de energía FLUKE (fig. 3.2) colocado a la entrada de uno de los motores del vehículo, con el cual se tomaron los valores de voltaje y corriente mientras el autobús se encontraba realizando las pruebas en vacío. Datos que fueron tomados desde el momento en el que el autobús salió del laboratorio de micro redes eléctricas ubicado en Balzay, hasta retornar a este mismo lugar para recargar nuevamente su batería.



Figura 3.2: Analizador de la energía y de la calidad eléctrica 435 Serie II Fluke  
Fuente: <https://www.fluke.com> [33]

Con los datos tomados del autobús y el programa computacional MATLAB, se procede a trazar las curvas correspondientes al comportamiento eléctrico del autobús, curvas y variables que son analizadas con más detalle en el capítulo 4 de este documento.

Una vez que se tomaron los datos iniciales del comportamiento eléctrico del autobús, el mismo inicia sus recorridos bajo condiciones reales de operación (funcionamiento normal con carga de un autobús), en diferentes rutas que actualmente circulan autobuses de transporte público dentro del casco urbano. Las rutas fueron seleccionadas por la Cámara de Transporte de Cuenca tomando en cuenta variables como: número de pasajero, tiempo de recorrido y el perfil que presenta los diferentes trayectos en los cuales operara este tipo de transporte.

Las rutas seleccionadas para la operación diaria del autobús fueron las líneas 5, 20, 1B, 100 y 27, empezando los recorridos desde diciembre del 2018 para la línea 5 y terminando su operación en febrero del 2019 en la ruta de la línea 27.

Para la estimación de la energía consumida luego de cada recorrido en operación comercial en la ciudad de Cuenca, se usa el instrumento de medición de potencia trifásico multifuncional modelo PM130 PLUS ubicado en el primario del transformador de alimentación trifásico seco marca INATRA No: 011864560 que alimenta a la estación de carga suministrada por la empresa BYD, modelo EVA080KI/01 con capacidad nominal de 80 kW bajo carga con dos conectores y 40 kW con carga de un conector (fig. 3.3). Para la medición de la distancia recorrida, diariamente se utilizó el indicador de distancia propio del autobús en estudio y su comparación con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) utilizado [32].



Figura 3.3: Estación de carga eléctrica modelo EVA080KI/01

Con el GPS, Travel Recorder XT, marca Ostarz, el Odómetro propio del autobús en estudio y la aplicación móvil GPS Speed Pro se tomaron los datos de la altitud, latitud, altura y velocidad de los recorridos realizados, tanto para el autobús eléctrico como para el autobús convencional.

Con la información obtenida del dispositivo GPS y mediante el programa MATLAB se traza la ruta de ambas unidades, en donde, se realiza una comparación de las gráficas obtenidas, seguido de un análisis técnico del comportamiento dinámico del autobús eléctrico en las rutas antes mencionadas. Además, para la realización de las gráficas, se tiene en cuenta el número de estaciones de parada en cada una de las rutas; información tomada de la aplicación móvil llamada Moovit.

Debido a que el autobús eléctrico ejecuta sus recorridos bajo condiciones reales de operación se hizo necesario realizar un estudio piloto sobre la percepción de los usuarios respecto al uso de este tipo de transporte público en la ciudad. Estudio que consiste en una pequeña encuesta de 8 preguntas, realizada durante la operación del autobús, a personas que utilizan este tipo de transporte; este estudio busca saber qué opina la ciudadanía acerca de la implementación de autobuses eléctricos en la ciudad y cuánto conocen de este sistema de transporte. El diseño de encuesta se presenta en la sección 3.3.

Para finalizar se incluye un análisis de costos de carga para el autobús eléctrico y los costos de combustible para los autobuses convencionales, cuyo funcionamiento es a base de diésel. En el análisis se realiza un promedio del costo de consumo eléctrico necesario para la carga diaria del autobús frente al costo de comprar el combustible fósil (diésel) para la operación diaria de los autobuses convencionales.

El costo de energía eléctrica necesaria para cargar el autobús en estudio se lo realizó bajo el criterio del costo actual del KWh dispuesto por la empresa distribuidora de energía eléctrica CENTROSUR y la cantidad de energía necesaria para cargar el autobús al 100 %, mientras que para la operación diaria de los autobuses convencionales se realiza un promedio del costo que tiene el combustible necesario para el llenado del tanque.



## 3.2. Variables en estudio

Esta sección explica las variables analizadas en este trabajo durante el tiempo en el que el autobús eléctrico se encontraba en operación:

### ■ Voltaje

Los voltaje fase-fase y fase-neutro de operación del autobús son parte de las variables a ser analizadas, en donde se muestra el valor máximo, mínimo y promedio a la cual el autobús se encuentra en funcionamiento. Estos valores son medidos a través del analizador de la energía FLUKE para mas adelante ser analizadas con la ayuda del Software Matlab.

### ■ Corriente

De la misma manera que en el voltaje, se utiliza el analizador de la energía FLUKE para medir los valores de las corrientes en las fases A, B y C del autobús eléctrico, las cuales son obtenidas cuando el autobús se encontraba realizando las pruebas de velocidad.

### ■ Altitud , Latitud y Altura

Con estos valores se realiza la construcción de las rutas en las que circuló tanto el autobús eléctrico como los autobuses convencionales; datos que son obtenidos con el GPS durante los recorridos realizados por los autobuses.

### ■ Velocidad

Los valores de Velocidad son obtenidos con el GPS; valores que aparte de servir para la construcción de las rutas en las cuales se encontraba circulando el autobús en estudio, permiten analizar la eficiencia que tiene el mismo en comparación con los autobuses convencionales.

### ■ Distancia

Este valor es tomado de igual manera con el dispositivo GPS incluyendo el odómetro propio del autobús, valores que son tomados durante los recorridos realizados por el autobús en estudio.

### ■ Energía

El sistema SCADA del laboratorio de micro-redes de la Universidad de Cuenca ubicado en Balzay [34], proporciona los datos de la energía entregada por la red cuando el autobús eléctrico está en el proceso de carga luego de un día de operación, datos que sirven para el análisis del consumo energético y en parte costos de energía.



- **Eficiencia energética**

Las variables antes mencionadas formarán parte del estudio para analizar la eficiencia energética del autobús. Este análisis es realizado para los diferentes rutas en las que se encontrará operando el autobús en estudio.

- **Porcentaje de personas**

El porcentaje de personas que están de acuerdo en implementar autobuses eléctricos hace referencia a las encuesta de percepción ciudadana acerca del uso del mismo, las cuales son realizadas a todas las personas que usan el transporte público para movilizarse dentro del ciudad. Encuestas que son hechas a la gente que utilizó el autobús eléctrico cuando este se encontraba en operación.

- **Costos de energía eléctrica**

Con los datos del consumo de energía del autobús eléctrico para su respectiva carga, este trabajo contiene un apartado de costos de energía eléctrica para mantener la operación diaria de este transporte. En la sección 5.2.3 y 5.2.4 se realiza una aproximación de costos anuales de energía eléctrica en comparación de costos de combustibles fósiles para mantener en operación los autobuses convencionales.

- **Costos de combustibles fósiles (Diésel)**

Esta variable se refiere al análisis del costo actual de los combustibles fósiles utilizados en los autobuses convencionales para su operación diaria. Estos costos en conjunto con los costos de energía eléctrica son comparados para un análisis macro de costos de operación.

Es importante tomar en cuenta cada uno de los aspectos mencionados, porque son parte de la sistematización de la propuesta de la investigación.



### 3.3. Diseño del estudio de encuestas

Las encuestas se realizaron en este estudio para conocer la opinión de la población sobre los autobuses eléctricos. La encuesta se aplicó como un instrumento de recogida de datos que operativiza las variables objeto de investigación. Lo importante está en que sean un reflejo del pensamiento colectivo o de las características generales, en su capacidad para inferir y predecir el comportamiento, pensamiento o sentimiento de la mayoría, en su facultad para ofrecer una visión general de las características de toda una población.

Para ello se recurrió al **Muestreo probabilístico** donde todos los elementos de la población tienen una probabilidad conocida de ser seleccionados para la muestra [35].

#### Técnicas de muestreo monotípico

**Muestreo aleatorio simple:** Para poblaciones pequeñas. Se selecciona al azar un número  $n$  de elementos de una población. Todos los elementos de la población deben tener la misma probabilidad de ser elegidos y la selección de uno de ellos no debe influir sobre la selección de otro [35].

**Muestreo aleatorio estratificado:** La característica objeto de estudio no se distribuye de forma homogénea en la población, pero existen grupos o estratos que sí presentan homogéneamente dicha característica, en cada uno se extrae una muestra mediante muestreo aleatorio simple [35].

Al ser una encuesta piloto se siguió una metodología de muestreo aleatorio simple y se siguieron para su realización los siguientes pasos:

- 1.- Definición del objetivo, que significa responder a la pregunta ¿qué se desea investigar y con qué propósito? Es el ¿qué y el para qué? De esto dependerá en gran parte los siguientes pasos a seguir.
- 2.- Elaboración del diseño muestral, el cual dependerá del universo seleccionado y la cobertura que se pretende. Implica responder a la pregunta de ¿quién proveerá la información que se necesita? Una muestra es la representación de una población objeto de estudio que se usa para establecer la percepción y experiencia de los ciudadanos.
- 3.- Diseño del instrumento, es el cuestionario a utilizar; lo que implica responder a la pregunta de ¿cómo se captará la información? Además, se define el tipo de preguntas, si serán cerradas o abiertas, debe utilizarse un lenguaje claro, sencillo y directo, y adaptado a la idiosincrasia del encuestado. Debe contar con preguntas que se interrelacionen para permitir un análisis más profundo.
- 4.- Ejecución de la encuesta. El encuestador debe tener credibilidad, habilidad para realizar las entrevistas.



- 5.- Procesamiento de la información recolectada. Estará en función a la metodología definida previamente, donde debe prevalecer un enfoque objetivo e imparcial a fin de evitar problemas de manipulación o sesgo en este trabajo, base del informe final.
- 6.- Análisis de los resultados de las encuestas. Se debe garantizar la transparencia, objetividad y consistencia técnica en el informe final.
- 7.- Difusión del resultado. Todos los que han participado y contribuido con la encuesta deben tener acceso a los resultados de la misma. La divulgación debe ser amplia, clara, educativa y de fácil acceso. Esto generará credibilidad para acciones posteriores, como la realización de talleres de diagnósticos participativos y luego la implementación del plan de acción.

En la sección 4.6 se presenta el detalle de las encuestas realizadas y en la sección 5.3 se muestran los principales resultados.

## Capítulo 4

# DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 4.1. Toma de mediciones del comportamiento dinámico y del sistema eléctrico del autobús durante la ruta de prueba

En esta sección se grafican las curvas de voltaje, corriente, potencia y energía mientras el autobús eléctrico se encontraba realizando la ruta de prueba dentro de la ciudad (ruta elegida al azar para realizar las pruebas en vacío), en la cual se tiene **activado el frenado regenerativo**; para ello se utilizó el analizador de la energía para la toma de datos.

#### 4.1.1. Comportamiento del autobús eléctrico para la ruta de prueba

En las figuras 4.1 y 4.2 se muestra la ruta de prueba que se llevo a cabo incluido la velocidad y altura a la cual el autobús eléctrico se encontraba realizando dicha prueba. La ruta de prueba tuvo un recorrido de 39.44Km, partió del laboratorio de Balzay y finalizo en la entrada a Tarqui en un intervalo de tiempo de 95:00 minutos.

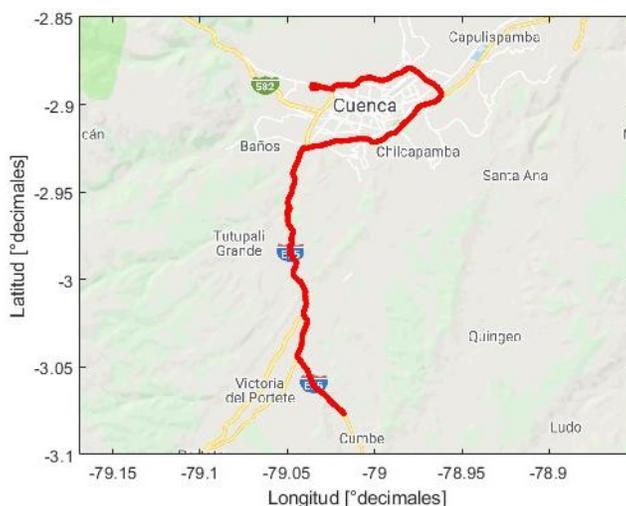
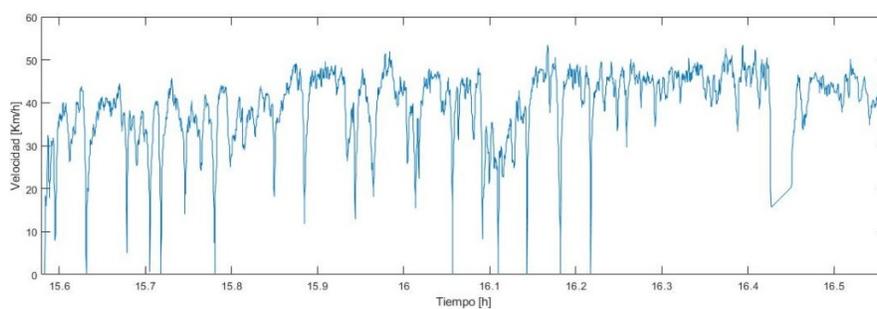
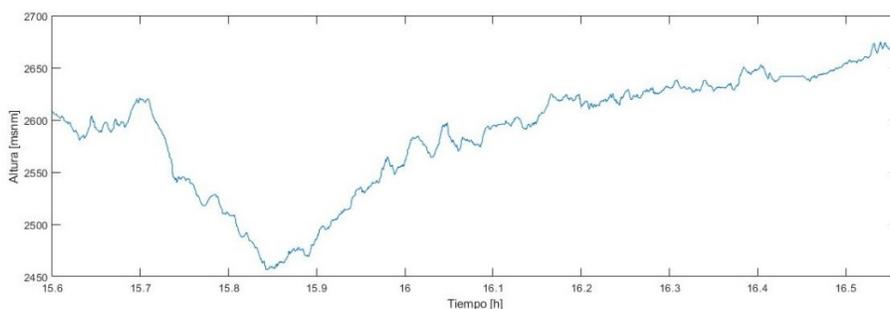


Figura 4.1: Recorrido en la ruta de prueba



(a) Perfil de altura



(b) Perfil de velocidad

Figura 4.2: Altura y Velocidad del recorrido en la ruta de prueba

### 4.1.2. Voltaje $V_{rms}$ Fase-Neutro del autobús en Ruta de prueba

En la figura 4.3 se muestra las curvas de los voltajes en la fase A - neutro, fase B - neutro, fase C - neutro y Tierra - neutro, valores que son tomados con el analizador de la energía y que se encuentran resumidos en la tabla 4.1.

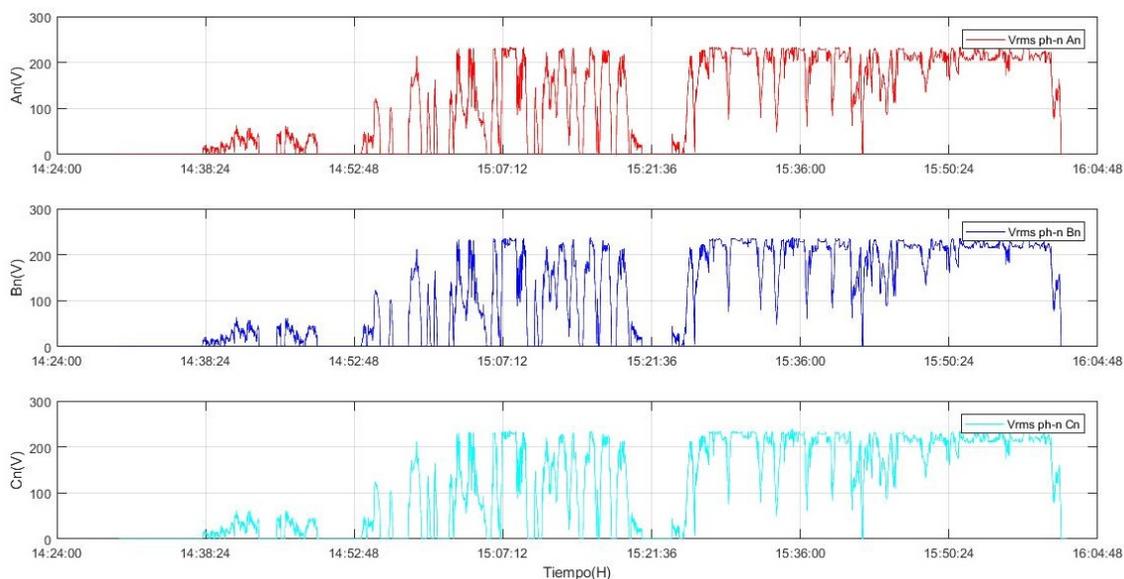


Figura 4.3: Voltaje  $V_{rms}$  Fase-Neutro del autobús en Ruta de prueba



En la tabla 4.1 se muestra los valores de voltaje Fase-Neutro Máximo y Promedio alcanzados por el autobús eléctrico mientras se encontraba realizando la ruta de prueba.

Tabla 4.1: Resumen del Voltaje Vrms Fase-Neutro

<b>Voltaje Fase - Neutro</b>		
	<b>Máximo</b>	<b>Promedio</b>
<b>Voltaje Fase A - Neutro</b>	232,75 V	226,2 V
<b>Voltaje Fase B - Neutro</b>	237,95 V	228,3 V
<b>Voltaje Fase C - Neutro</b>	238,45 V	227,3 V

### 4.1.3. Corriente Fase A, B, C del autobús en Ruta de prueba

En la figura 4.4 se muestra las curvas de corrientes en la fase A, fase B y fase C; datos que son tomados con el analizador de la energía y que se encuentran resumidos en la tabla 4.2.

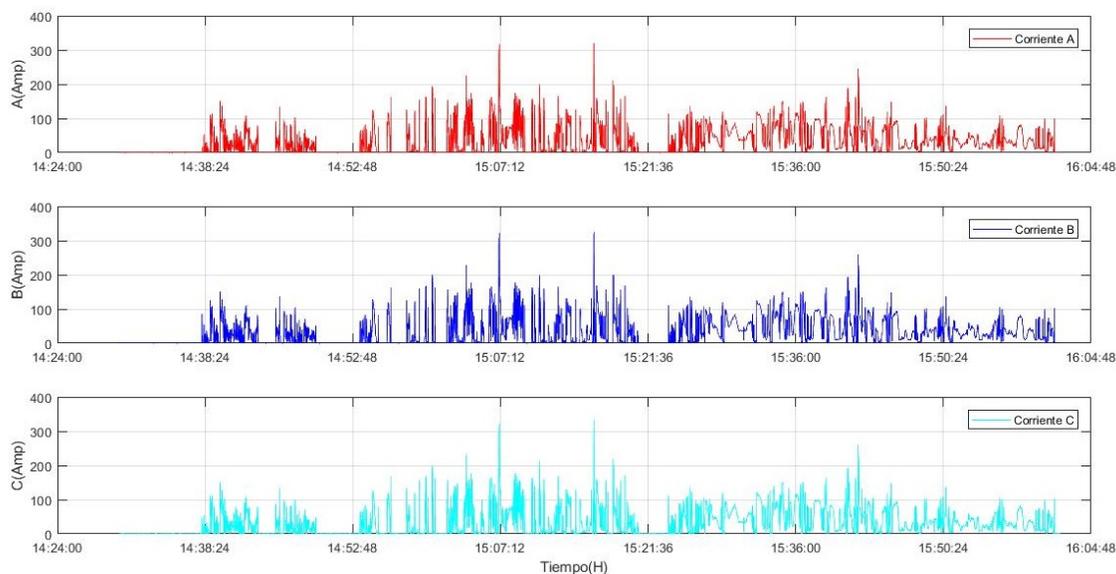


Figura 4.4: Corriente Irms Fase A, B, C del autobús en Ruta de prueba

En la tabla 4.2 se muestra los valores de corriente Irms de la fase A, B, C Máximo y Promedio alcanzados por el autobús eléctrico mientras se encontraba realizando la ruta de prueba.

Tabla 4.2: Resumen de Corrientes Irms Fase A, B, C

<b>Corriente Arms Fase A, B, C</b>		
	<b>Máximo</b>	<b>Promedio</b>
<b>Corriente Fase A</b>	320,5 A	89,46 A
<b>Corriente Fase B</b>	324,8 A	89,82 A
<b>Corriente Fase C</b>	334 A	89,65 A



#### 4.1.4. Potencia del autobús en Ruta de prueba

En la figura 4.5 se muestra las curvas de potencias activa (P), reactiva (Q) y aparente (S); datos que son tomados con el analizador de la energía y que se encuentran resumidos en la tabla 4.3.

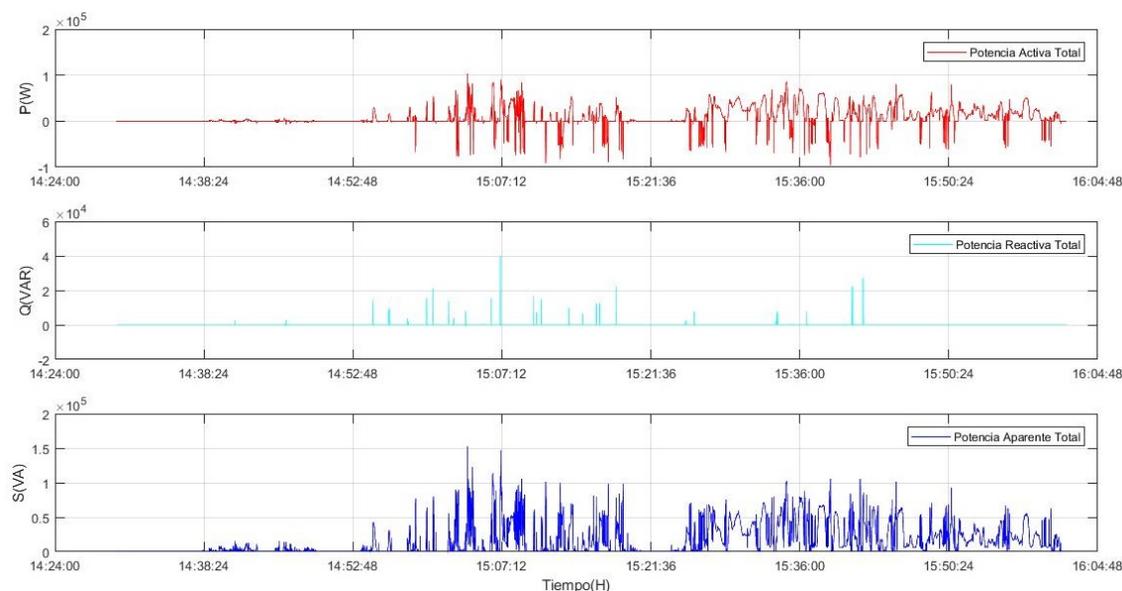


Figura 4.5: Potencia del autobús en Ruta de prueba

En la tabla 4.3 se muestra los valores de potencia Activa P, Reactiva Q y Aparente S, Máxima y Promedio alcanzados por el autobús eléctrico mientras se encontraba realizando la ruta de prueba.

Tabla 4.3: Resumen de Potencias P, Q, S

<b>Potencia P, Q, S</b>		
	<b>Máximo</b>	<b>Promedio</b>
<b>Potencia P</b>	101.85 kW	21.782 kW
<b>Potencia Q</b>	40,05 kVAr	3.459 kVAr
<b>Potencia S</b>	152.4 kVA	22.055 kVA

La tabla 4.4 se muestra la potencia activa mínima y promedio que se alcanza al momento en el que el autobús eléctrico se detiene con el frenado regenerativo activado.

Tabla 4.4: Potencia P alcanzada en el frenado regenerativo

<b>Potencia activa (para frenado regenerativo)</b>		
	<b>Mínima</b>	<b>Promedio</b>
<b>Potencia P</b>	-94.5 kW	-54.488 kW

### 4.1.5. Energía del autobús en la Ruta de prueba

En la figura 4.6 se muestra el perfil de potencia del autobús eléctrico mientras se encontraba realizando la ruta de prueba; cabe recalcar que en esta gráfica se indica el consumo energético del vehículo en estudio y el aporte de energía total (kWh) realizado por el frenado regenerativo, además en la figura 4.7 está representada la energía (kWh) restaurada por cada frenado que se realizó en la mencionada ruta.

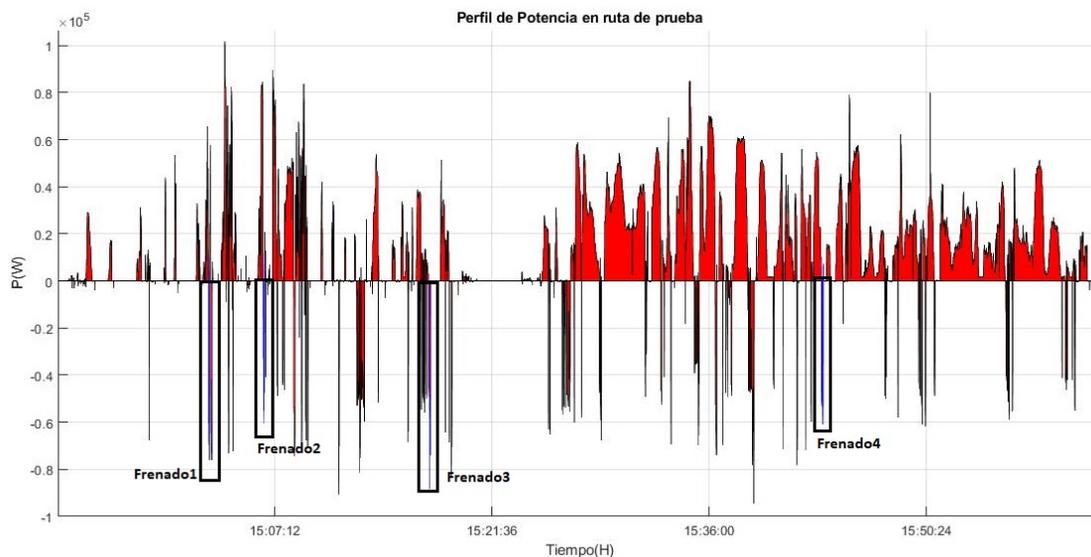


Figura 4.6: Perfil de potencia durante ruta de prueba

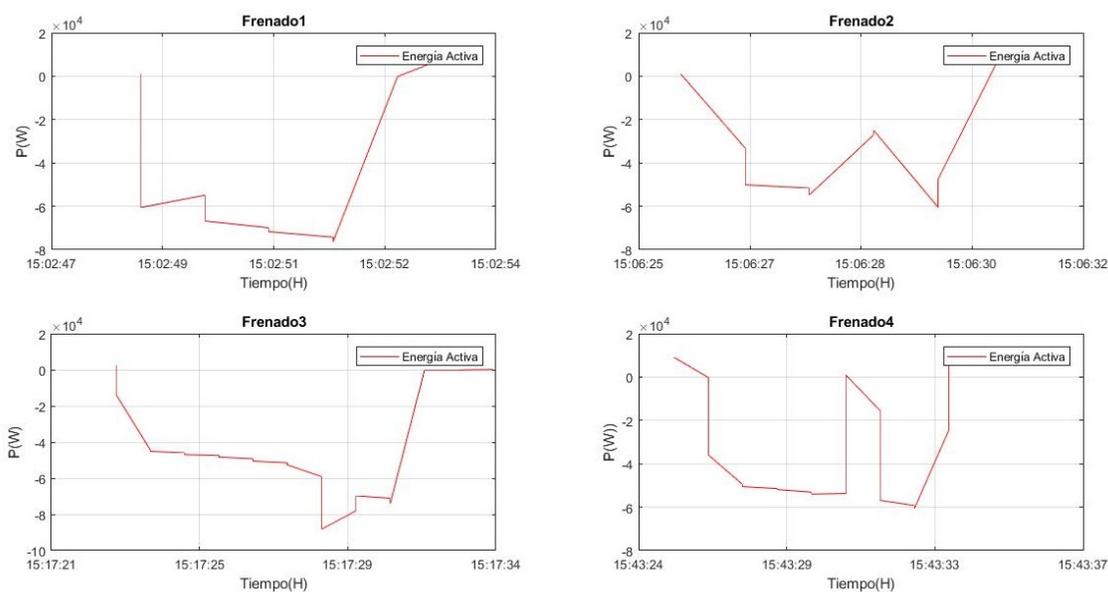


Figura 4.7: Potencia del frenado regenerativo en el autobús eléctrico

### Aporte energético aproximado de cada Frenado realizado por el autobús eléctrico

Para la energía restaurada por cada frenado se tomaron 4 muestras del total del recorrido, potencia y energía que se muestran en las figuras 4.7 y 4.8 respectivamente, aquí se muestra las curvas del consumo del aporte de energía activa (P) hecha por cada frenado regenerativo; datos que son tomados con el analizador de la energía y que se encuentran resumidos en la tabla 4.5.

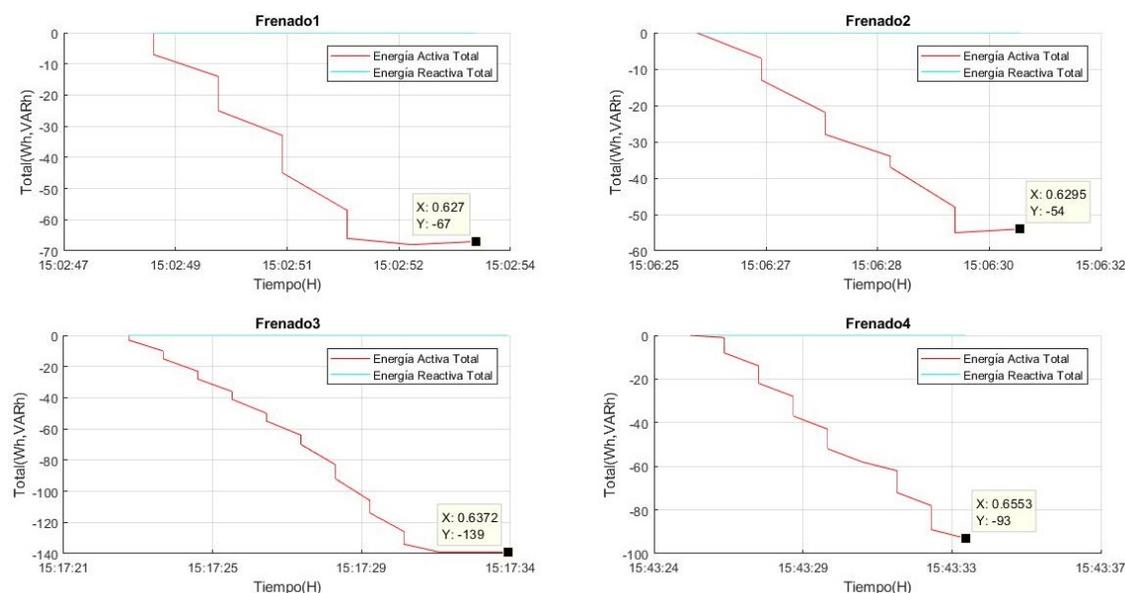


Figura 4.8: Aporte de energía kWh por cada frenado regenerativo

En la tabla 4.5 se muestra los valores de la energía activa P(Wh) aportada por cada frenado regenerativo mientras el autobús eléctrico se encontraba realizando la ruta de prueba, además de mostrar el tiempo promedio de duración que demora cada frenado.

Tabla 4.5: Aporte de energía por cada frenado regenerativo

Aporte de energía activa por frenado regenerativo		
	Aporte P(Wh)	Tiempo de frenado (s)
<b>frenado1</b>	-67	5
<b>frenado2</b>	-54	5
<b>frenado3</b>	-139	11
<b>frenado4</b>	-93	8
<b>Promedio</b>	-88,25	7,25

### Consumo energético total durante ruta de prueba con Frenado regenerativo activo

Para el frenado regenerativo se tomo el área bajo la curva de la potencia activa la cual posee valores negativos y positivos. En la figura 4.6, los valores positivos (parte superior de la curva) representa el consumo del autobús, mientras que los valores negativos (parte inferior de la curva) representa el aporte de energía que se entregaba al autobús mientras éste



frenaba. A partir de esto, en la figura 4.9 se muestra las curvas del consumo de energía activa P y reactiva Q; datos que son tomados con el analizador de la energía entre las 14:24PM - 16:01PM en una distancia aproximada de 39.44km y que se encuentran resumidos en las tablas 4.6 y 4.7.

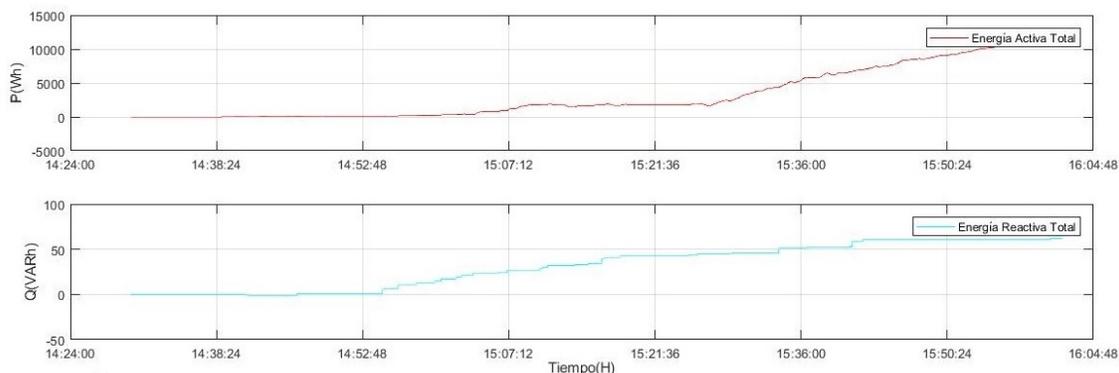


Figura 4.9: Consumo de energía del autobús en Ruta de prueba

En la tabla 4.6 se muestra los valores de energía activa P y reactiva Q que consume el autobús eléctrico mientras se encontraba realizando la ruta de prueba.

Tabla 4.6: Energía Consumida durante Ruta de Prueba

<b>Energía Consumida en Ruta de Prueba</b>	
	<b>Consumo</b>
<b>Energía activa</b>	11.575 kWh
<b>Energía reactiva</b>	62 VARh

En la tabla 4.7 se muestra los valores de energía y porcentaje del consumo y aporte del frenado regenerativo a la carga del autobús eléctrico.

Tabla 4.7: Energía durante ruta de prueba

<b>Total de energía en la ruta de prueba</b>		
	<b>Energía kW/h</b>	<b>Porcentaje %</b>
<b>Consumo Total</b>	14.414	100
<b>Aporte Frenado Regenerativo</b>	2.84	19,7
<b>Consumo</b>	11.575	80,3

## 4.2. Toma de mediciones del comportamiento dinámico y del sistema eléctrico del autobús durante las pruebas de velocidad

En esta sección se grafican las curvas de voltaje, corriente, potencia y energía para 4 pruebas de velocidad realizadas por el autobús en vacío mientras se tiene **desactivado el frenado regenerativo**; para ello se utilizó el analizador de energía en la toma de datos y se recalca que el autobús eléctrico para llegar de 0 a 40km/h necesita una distancia de 42.37m.

### 4.2.1. Comportamiento del autobús eléctrico para las pruebas de Velocidad

**Prueba 1:** La primera prueba se la realizó en el intervalo de 6.7s; perfiles de Velocidad y Altura que son mostrados en la figura 4.10.

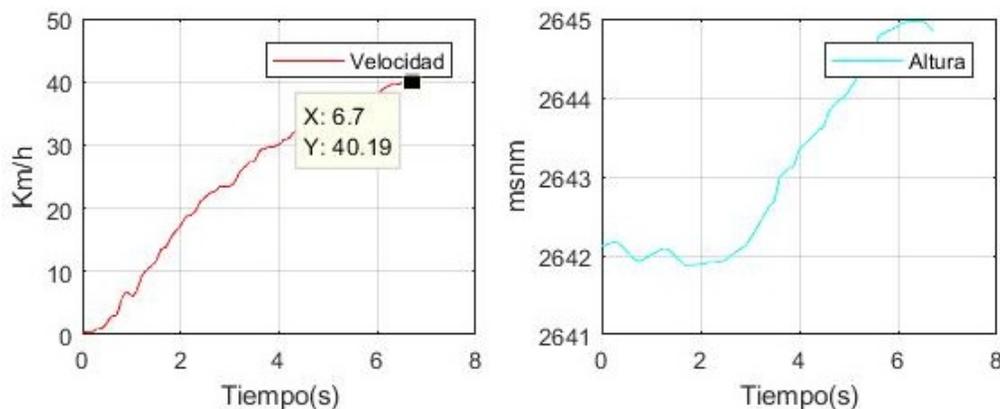


Figura 4.10: Prueba1: Velocidad y Altura

**Prueba 2:** La segunda prueba se la realizó en el intervalo de 6.45s; perfiles de Velocidad y Altura que son mostrados en la figura 4.11.

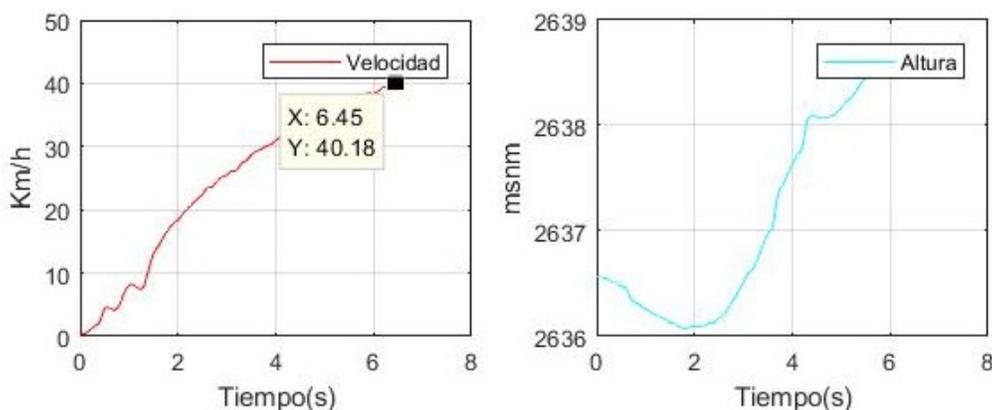


Figura 4.11: Prueba2: Velocidad y Altura



**Prueba 3:** La tercera prueba se la realizó en el intervalo de 6.1s; perfiles de Velocidad y Altura que son mostrados en la figura 4.12.

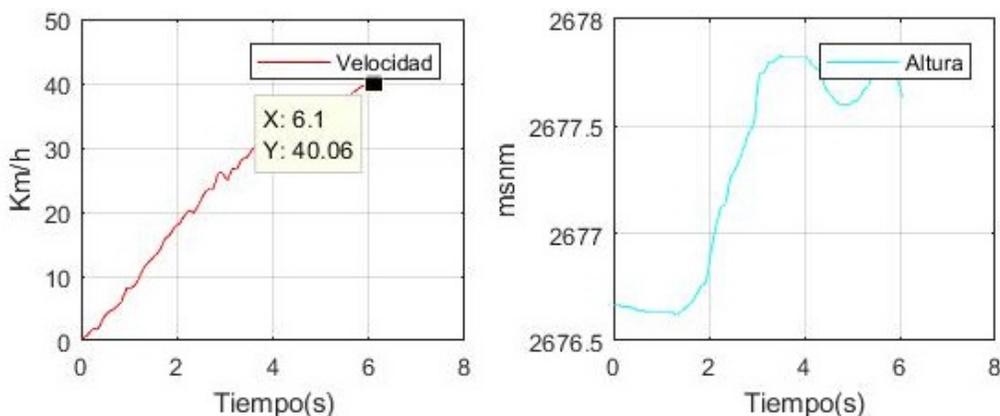


Figura 4.12: Prueba3: Velocidad y Altura

**Prueba 4:** La cuarta prueba se la realizó en el intervalo de 6.15s; perfiles de Velocidad y Altura que son mostrados en la figura 4.13.

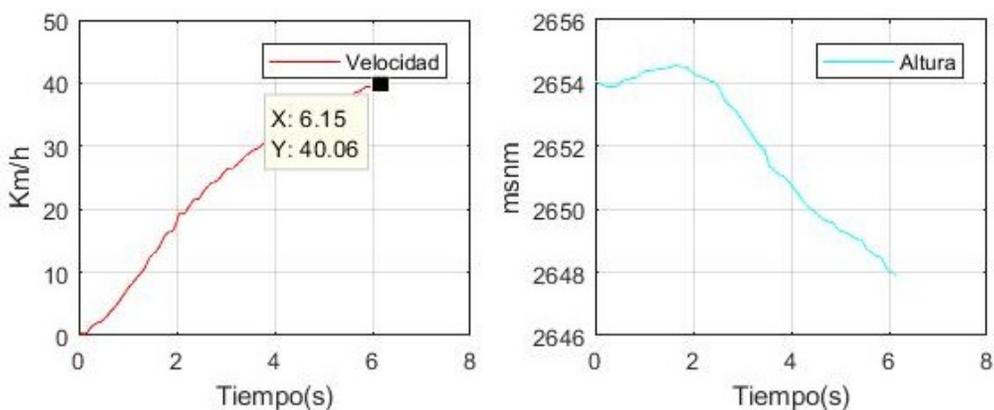


Figura 4.13: Prueba4: Velocidad y Altura

### Resumen de valores obtenidos durante las pruebas de velocidad

Tabla 4.8: Comportamiento dinámico del autobús eléctrico en pruebas de velocidad

Comportamiento del autobús eléctrico en pruebas de velocidad				
	Tiempo (s)	Velocidad (Km/h)	Altura máxima (msnm)	Altura mínima (msnm)
<b>Prueba1</b>	6,7	40,19	2644,97	2641,88
<b>Prueba2</b>	6,45	40,18	2638,74	2636,08
<b>Prueba3</b>	6,1	40,06	2677,83	2676,62
<b>Prueba4</b>	6,15	40,06	2654,55	2647,9
<b>PROMEDIO</b>	6,35	40,12	2654,02	2650,62



## 4.2.2. Voltaje Vrms Fase-Neutro del autobús en pruebas de velocidad

En la figura 4.14 se muestra las curvas de los voltajes Vrms Fase-Neutro del autobús eléctrico para las 4 pruebas, valores que son tomados con el analizador de la energía y que se encuentran resumidos en la tabla 4.9.

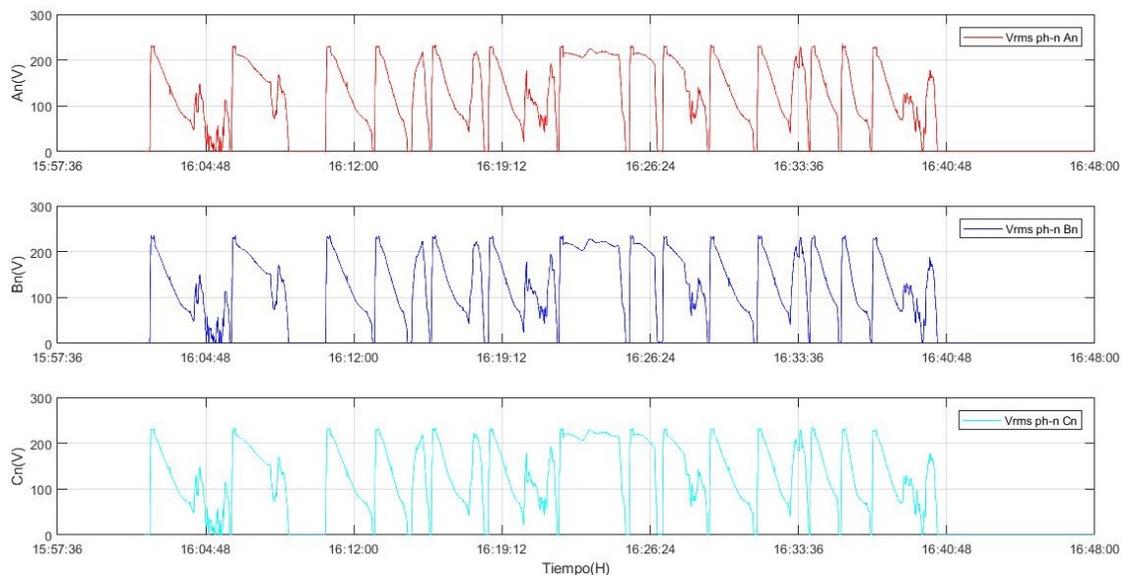


Figura 4.14: Voltaje Vrms Fase-Neutro del autobús en pruebas de velocidad

En la tabla 4.9 se muestra los valores de voltaje Fase-Neutro Máximo para las pruebas 1, 2, 3 y 4 alcanzados por el autobús eléctrico mientras se encontraba realizando las pruebas de velocidad, además de mostrar un promedio de Voltaje alcanzado para cada fase.

Tabla 4.9: Voltaje Fase-Neutro en pruebas de velocidad

<b>Voltaje Fase - Neutro</b>			
<b>Voltaje Maximo (V)</b>	<b>Voltaje A - N</b>	<b>Voltaje B - N</b>	<b>Voltaje C - N</b>
<b>Prueba1</b>	232,2	234,45	232,7
<b>Prueba2</b>	230,7	234,15	232,25
<b>Prueba3</b>	230,85	233,8	232,25
<b>Prueba4</b>	230,95	236,25	232,75
<b>PROMEDIO</b>	231,18	234,66	232,49

### 4.2.3. Corriente Fase A, B, C del autobús en pruebas de velocidad

En la figura 4.15 se muestra las curvas de corrientes en la fase A, fase B y fase C; datos que son tomados con el analizador de la energía y que se encuentran resumidos en la tabla 4.10.

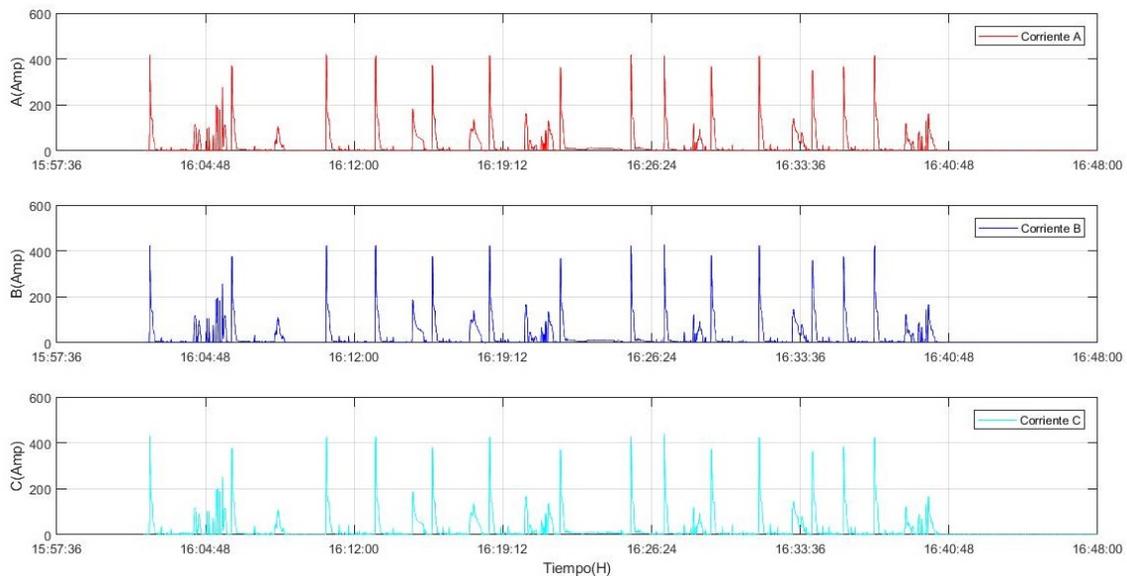


Figura 4.15: Corriente Irms Fase A, B, C del autobús en pruebas de velocidad

En la tabla 4.10 se muestra los valores de corriente en las pruebas 1, 2, 3 y 4 alcanzados por el autobús eléctrico mientras se encontraba realizando las pruebas de velocidad, además de mostrar un promedio de corriente alcanzado para cada fase.

Tabla 4.10: Corriente Irms en Fase A,B,C en pruebas de velocidad

<b>Corriente Irms Fase A, B, C</b>			
<b>Corriente Maxima (A)</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
<b>Prueba1</b>	373,6	376,4	376,6
<b>Prueba2</b>	415,3	423,5	426,9
<b>Prueba3</b>	414,7	425,1	439
<b>Prueba4</b>	415,4	424,5	425,4
<b>PROMEDIO</b>	404,75	412,38	416,98

#### 4.2.4. Potencia del autobús en pruebas de velocidad

En la figura 4.16 se muestra las curvas de potencia activa (P) y potencia reactiva (Q); datos que son tomados con el analizador de la energía y que se encuentran resumidos en la tabla 4.11.

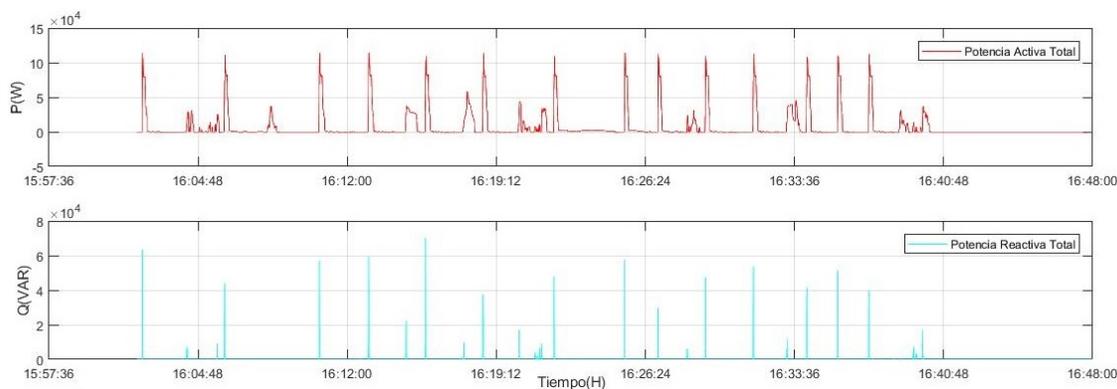


Figura 4.16: Potencia del autobús en pruebas de velocidad

En la tabla 4.11 se muestra los valores de potencia máxima alcanzada en las pruebas 1, 2, 3 y 4 mientras el autobús eléctrico se encontraba realizando las pruebas de velocidad, además de mostrar un promedio de potencia activa y reactiva.

Tabla 4.11: Potencia activa y reactiva en pruebas de velocidad

<b>Potencia activa P y reactiva Q</b>		
	<b>Activa P (kW)</b>	<b>Reactiva Q (kVAr)</b>
<b>Prueba1</b>	110.1	43.95
<b>Prueba2</b>	113.7	37.5
<b>Prueba3</b>	113.1	29.4
<b>Prueba4</b>	112.5	53.55
<b>PROMEDIO</b>	112.35	41.1

### 4.2.5. Energía del autobús en pruebas de velocidad

En la figura 4.17 se muestra las curvas del consumo de energía activa (P) y energía reactiva (Q) para cada una de las pruebas; datos que son tomados con el analizador de la energía y que se encuentran resumidos en la tabla 4.12.

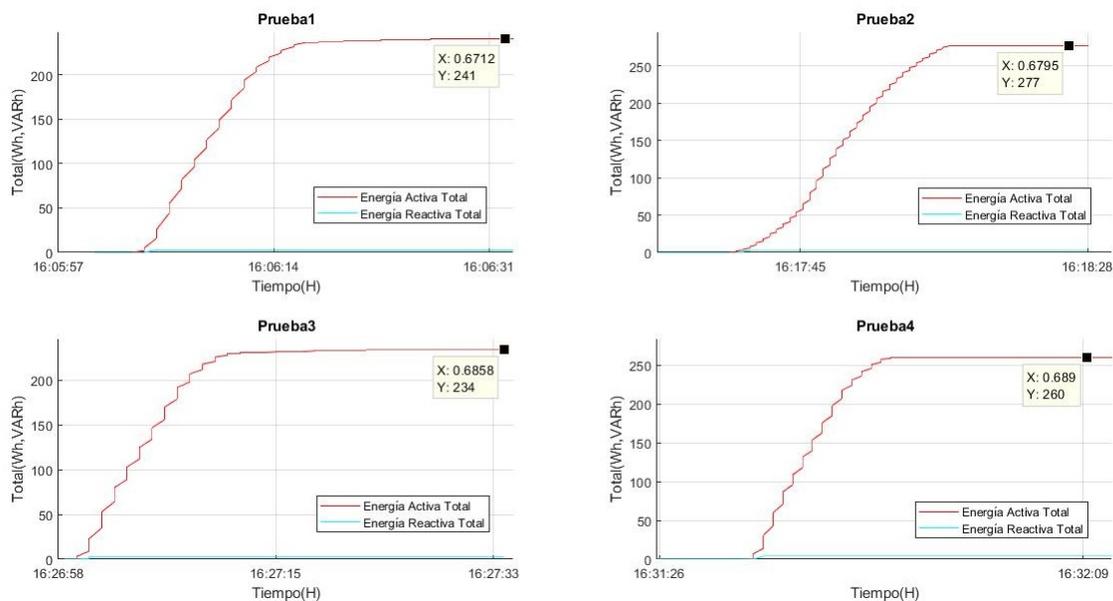


Figura 4.17: Consumo de energía del autobús en cada prueba de velocidad

En la tabla 4.12 se muestra los valores de la energía consumida durante las pruebas 1, 2, 3 y 4 mientras el autobús eléctrico se encontraba realizando las pruebas de velocidad, además de mostrar un promedio de la energía consumida.

Tabla 4.12: Energía Consumida durante cada pruebas de Velocidad

<b>Energía Consumida durante Pruebas de Velocidad</b>		
	<b>Activa P (Wh)</b>	<b>Reactiva Q (VARh)</b>
<b>Prueba1</b>	241	3
<b>Prueba2</b>	277	4
<b>Prueba3</b>	234	3
<b>Prueba4</b>	259	4
<b>PROMEDIO</b>	252,75	3,5

En la figura 4.18 se muestra el consumo total de energía durante el tiempo en el que el autobús eléctrico realizó las pruebas de velocidad; tiempo que tuvo una duración de 47:00 minutos. Los valores del consumo total de energía activa P y reactiva Q durante las pruebas de velocidad se encuentran resumidos en la tabla 4.13.

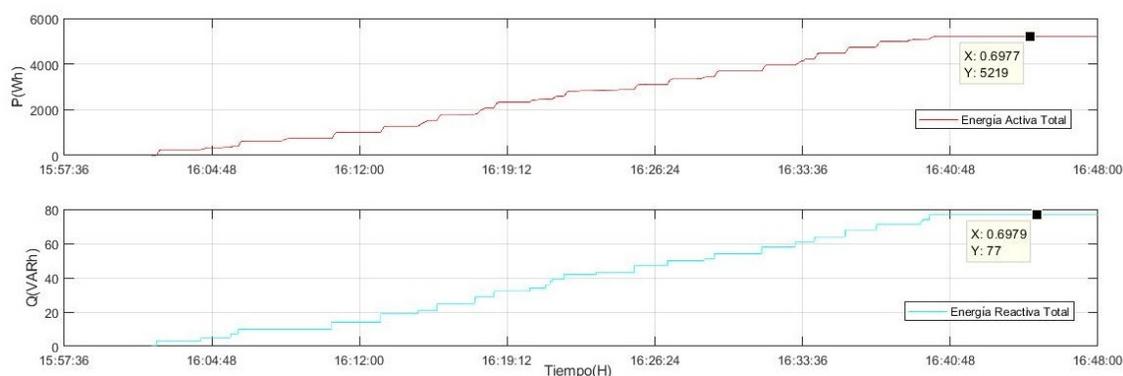


Figura 4.18: Consumo de energía total del autobús en pruebas de velocidad

Tabla 4.13: Consumo total de energía durante las pruebas de velocidad

Consumo total de energía durante las pruebas de velocidad	
Activa P (Wh)	Reactiva Q (VARh)
5219	77

### 4.3. Toma de mediciones de la energía suministrada por la red para la carga del autobús eléctrico

Una vez terminadas las pruebas en vacío (ruta de prueba y pruebas de velocidad), el autobús entra en operación normal (con carga), por lo que en esta sección se realiza el esquema y gráficas de las curvas de la energía eléctrica suministrada por la red del laboratorio para la carga del autobús luego de un día de operación. La sección se encuentra dividida en dos partes, en la primera se explica el esquema de carga del autobús, mientras que en la segunda parte se muestran las curvas de la energía con la cual se cargó completamente las baterías del vehículo en estudio.



Figura 4.19: Carga del autobús luego de un día de operación

### 4.3.1. Esquema del proceso de carga del autobús eléctrico

Durante el día mientras el autobús eléctrico se encuentra realizando el recorrido respectivo, los paneles solares del laboratorio de micro redes, aprovechan la energía solar para transformarla en energía eléctrica y poder suministrarla, en parte, al Sistema Nacional Interconectado (SNI) y al laboratorio de Balzay, en donde esta energía es utilizada para los servicios auxiliares (iluminación, tomacorrientes), además aporta en la carga de las baterías que posee el laboratorio. El Esquema referente a todo este proceso se muestra en la figura 4.20.

En la figura 4.21 por el contrario se muestra el esquema de suministro de energía durante la noche, en donde el sistema nacional interconectado SNI junto a las baterías, las cuales fueron cargadas durante el día, se encargan de proporcionar de energía al laboratorio de Balzay. Por tanto, esta energía sirve para el funcionamiento de los servicios auxiliares y en mayor parte para la carga del autobús eléctrico.

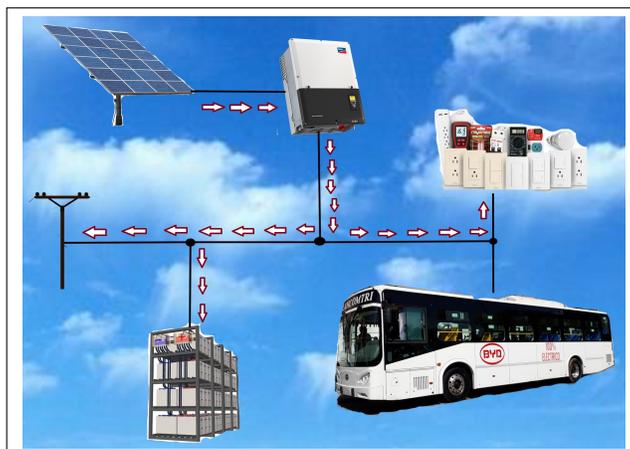


Figura 4.20: Esquema de la Energía en el Laboratorio durante el día

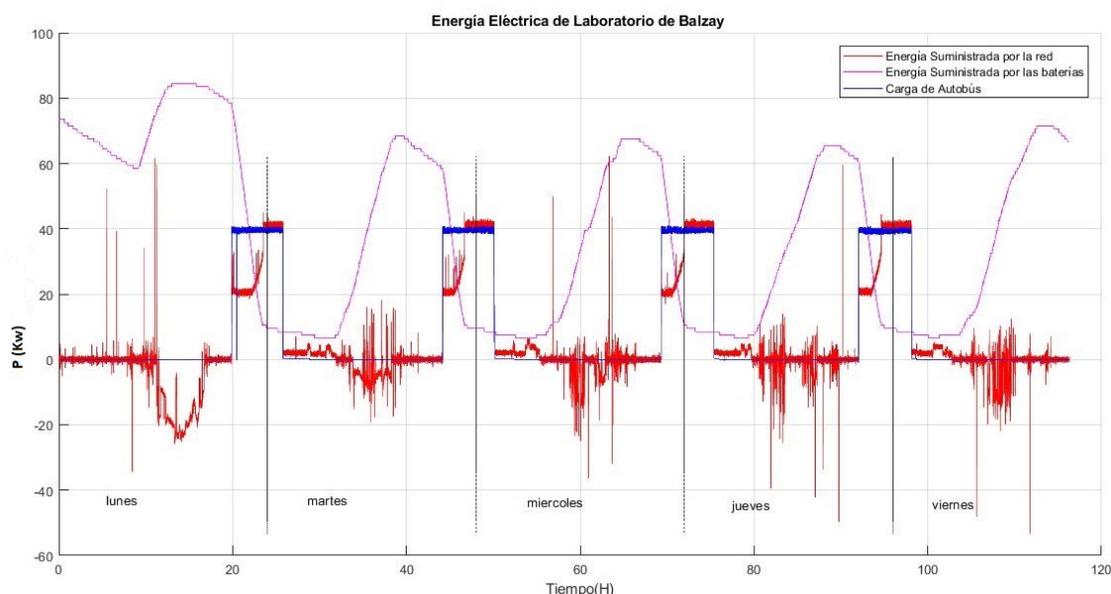


Figura 4.21: Esquema de la Energía en el Laboratorio durante la noche

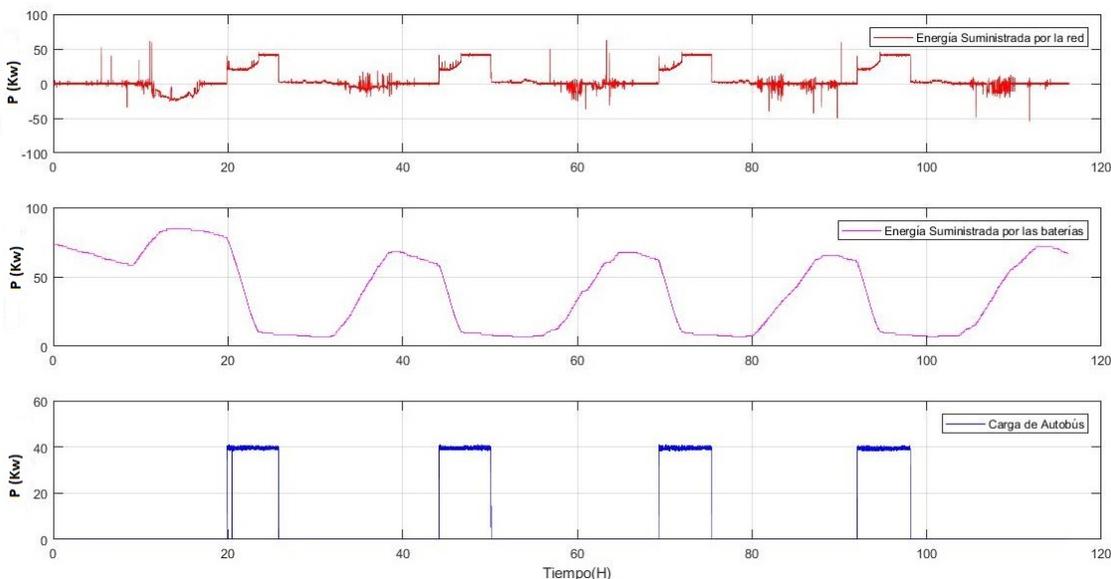


### 4.3.2. Curvas de la energía suministrada para la carga del autobús

Los datos de energía son obtenidos mediante el programa Scada implementado en el laboratorio de micredes de Balzay de la Universidad de Cuenca, para luego ser analizados a través del programa de Matlab. En la figura 4.22 se muestra las curvas de energía suministradas por la red para suplir la carga del autobús.



(a) Curvas de energía para carga del autobús



(b) Curvas de energía para carga del autobús por separado

Figura 4.22: Curvas de Energía entregada por el laboratorio para la carga del autobús eléctrico



En las siguientes gráficas se muestra las curvas del tiempo y la energía necesaria para la carga completa del autobús eléctrico luego de un día normal de funcionamiento. Cabe recalcar que estos datos fueron tomados en los días comprendidos entre el lunes 28/01/2019 y el viernes 01/02/2019, días en los que el autobús se encontró realizando el recorrido de la Línea 100.

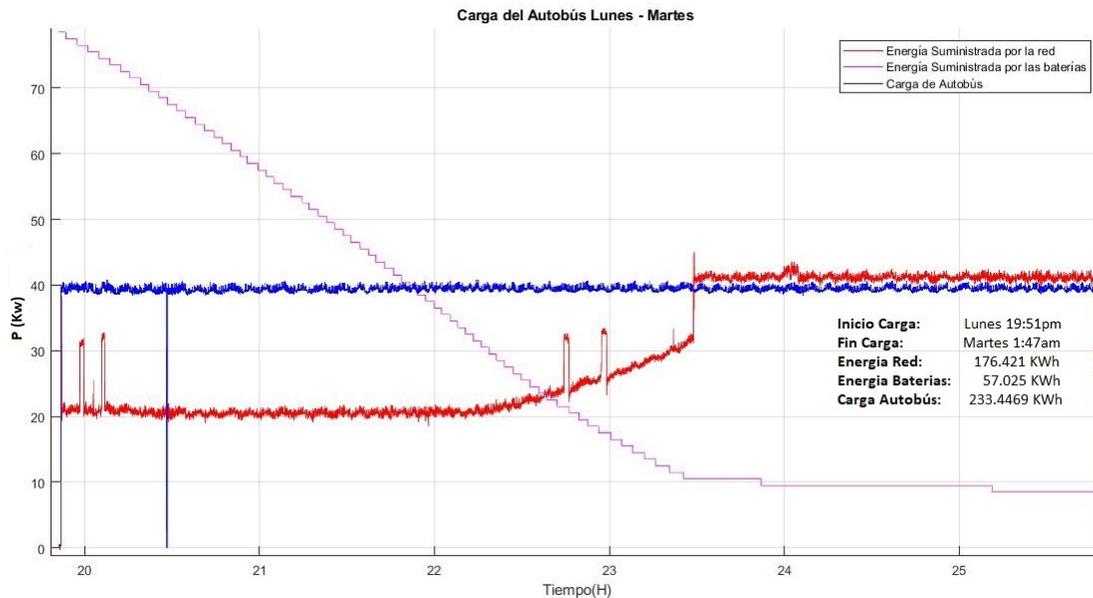


Figura 4.23: Energía suministrada para la carga del autobús el día lunes 28/01/2019

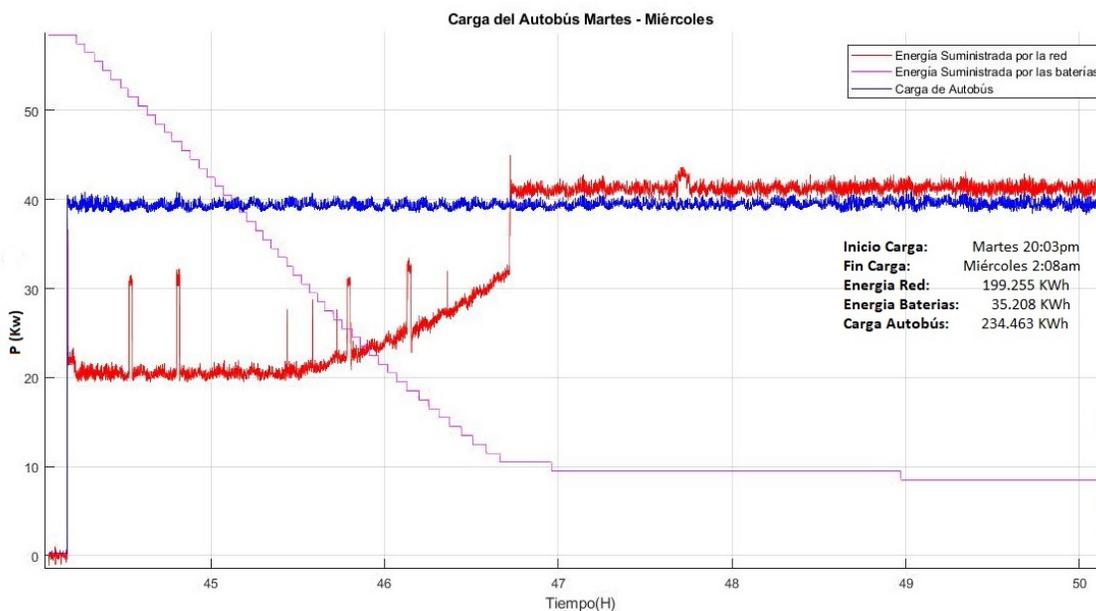


Figura 4.24: Energía suministrada para la carga del autobús el día martes 29/01/2019

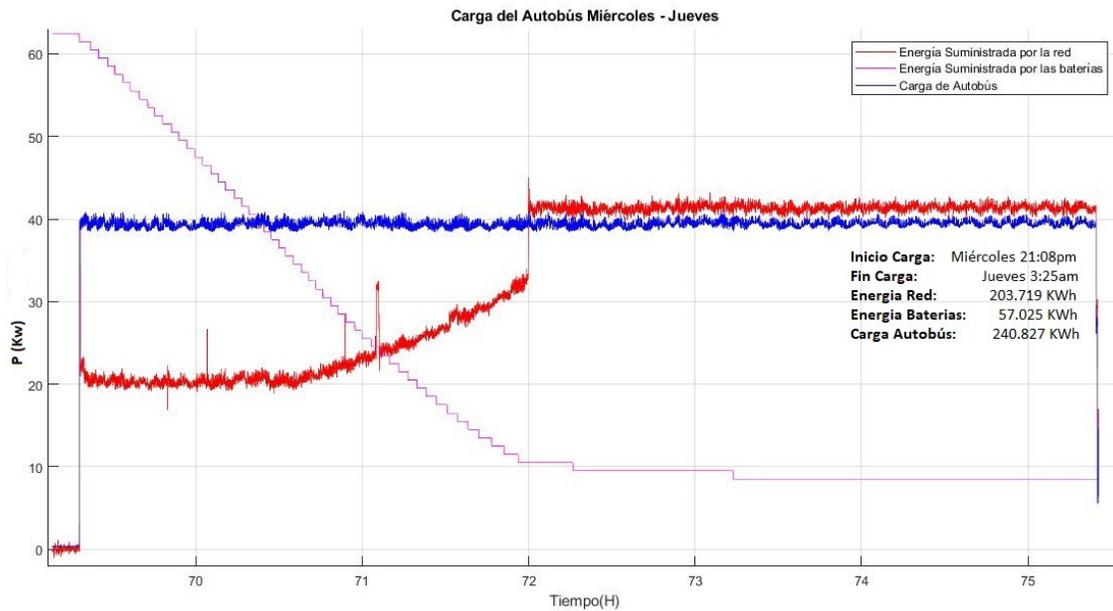


Figura 4.25: Energía suministrada para la carga del autobús el día miércoles 30/01/2019

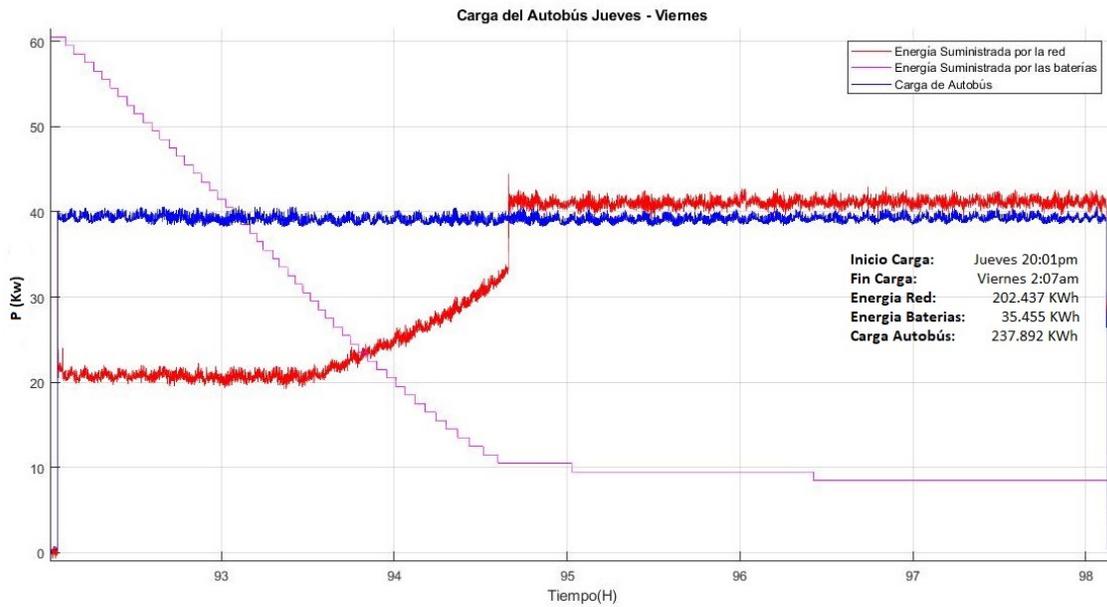


Figura 4.26: Energía suministrada para la carga del autobús el día jueves 31/01/2019



Tabla 4.14: Energía suministrada para la carga del autobús K9G al 100 %

CARGA ELÉCTRICA DEL AUTOBÚS									
Día	Distancia recorrida (Km)	Carga			Energía Suministrada por la red Externa		Energía Suministrada por las baterías del Laboratorio		Energía Total para la carga del autobús
		Hora Inicio	Hora Final	Duración (H)	KWh	%	KWh	%	KWh
<b>Lunes 28/01/2019</b>	190	19:51 pm	1:47 am	5:55	176.422	75.59	57.025	24.41	233.447
<b>Martes 29/01/2019</b>	198	20:30 pm	2:08 am	5:38	199.255	84.98	35.208	15.02	234.463
<b>Miércoles 30/01/2019</b>	199	21:08 pm	3:25 am	6:17	203.719	76.32	57.025	23.68	240.827
<b>Jueves 31/01/2019</b>	190	20:01 pm	2:07 am	6:06	202.437	85.1	35.455	14.9	237.892

De esta manera se tomaron los datos de energía consumida por el autobús eléctrico durante su proceso de carga; en la tabla 4.14 se muestra el tiempo de duración de la carga al 100 % y los valores de la energía aportada por la red del SNI en conjunto con los valores de energía aportados por las baterías del laboratorio para suministrar de energía al autobús en estudio.

Del análisis es importante destacar que:

El día lunes 28/01/2019 en el que se recorrió 190 Km, el 24.41 % de la energía necesaria para la carga de las baterías proviene de la energía almacenada del sistema de almacenamiento del laboratorio de microredes, mientras que el 75.59 % es suministrada por la red de distribución, con una duración de carga de 5:55 horas.

El día martes 29/01/2019 en el que se recorrió 198 Km, el 15.02 % de la energía necesaria para la carga de las baterías proviene de la energía almacenada del sistema de almacenamiento del laboratorio de microredes, mientras que el 84.98 % es suministrada por la red de distribución, con una duración de carga de 5:38 horas.

El día miércoles 30/01/2019 en el que se recorrió 199 Km, el 23.68 % de la energía necesaria para la carga de las baterías proviene de la energía almacenada del sistema de almacenamiento del laboratorio de microredes, mientras que el 76.32 % es suministrada por la red de distribución, con una duración de carga de 6:17 horas.

El día jueves 31/01/2019 en el que se recorrió 190 Km, el 14.9 % de la energía necesaria para la carga de las baterías proviene de la energía almacenada del sistema de almacenamiento del laboratorio de microredes, mientras que el 85.1 % es suministrada por la red de distribución, con una duración de carga de 6:06 horas.



#### 4.4. Indicadores de recorrido y energía consumida durante la operación del Autobús Eléctrico K9G en la Ciudad de Cuenca

En la tabla 4.15 se muestra la distancia recorrida, porcentaje de descarga y la energía consumida por el autobús eléctrico, para las líneas 5, 20, 1B, 100 y 27; además se muestra la economía de combustible [km/kWh] obtenidos en un día normal de operación. Las rutas de operación se muestran en el Anexo 8.

Tabla 4.15: Indicadores de recorrido y energía consumida durante la operación del Autobús Eléctrico K9G en la Ciudad de Cuenca

Fuente: Informe de estudio de eficiencia energética autobús eléctrico [32]

Indicadores de recorrido y energía consumida durante la operación del Autobús Eléctrico K9G					
Fecha	Ruta de operación	Distancia Recorrida (Km)	Energía Consumida (Hasta completar el 100 % de carga según tablero bus) (kWh)	Porcentaje de descarga (%)	Indicador km/kWh
07/12/2018	5	201	237	34.4	0.848
08/12/2018	20	176	206	44.9	0.8543
10/12/2018	1B	257	291	19.5	0.883
11/12/2018	1B	202	255	28.6	0.7921
12/12/2018	1B	238	292	19.1	0.815
15/01/2019	100	238	289	20.5	0.823
16/01/2019	100	238	293	18.1	0.812
17/01/2019	100	240	290	18.8	0.827
18/01/2019	100	267	310	Con recargas parciales	0.86
21/01/2019	100	191	243	32.7	0.78
22/01/2019	100	225	268	23.4	0.839
23/01/2019	100	224	261	26.4	0.858
24/01/2019	100	198	231	36.2	0.800
25/01/2019	100	206	237	33.0	0.869
28/01/2019	100	190	234	34.9	0.811
29/01/2019	100	198	235	35.1	0.842
30/01/2019	100	199	241	31.5	0.825
31/01/2019	100	190	238	32.4	0.798
01/02/2019	100	202	239	32.1	0.845
02/02/2019	100	204	249	27.9	0.819
05/02/2019	27	183	286	19.3	0.639
06/02/2019	27	175	258	27.5	0.678
07/02/2019	27	176	282	22.1	0.624
08/02/2019	27	198	287	19.5	0.689
09/02/2019	100	204	253	28.5	0.806
12/02/2019	100	189	239	32.5	0.790
13/02/2019	100	238	271	22.9	0.878
14/02/2019	100	172	206	41.6	0.834
15/02/2019	100	223	265	23.9	0.841

## 4.5. Toma de mediciones del comportamiento dinámico del autobús

En este apartado se muestra el comportamiento dinámico del autobús en el sistema de transporte público en la ciudad de Cuenca. La toma de mediciones de perfiles de velocidad, perfil de altura, tiempo de recorrido, distancia recorrida por cada una de las líneas y número de paradas se realizó tanto en el autobús convencional como en el autobús eléctrico; además en el autobús eléctrico se obtuvo el perfil de descarga de la batería. Para la toma de mediciones se utilizó, el odómetro del autobús y el dispositivo GPS. Estas pruebas se efectuaron entre febrero y abril 2019, en 6 diferentes rutas comerciales de la ciudad. La ruta 100 y 27 para el autobús eléctrico y la ruta 100, 27, 1B, 20, 5 y 24 para el autobús convencional.

### 4.5.1. Comportamiento dinámico del autobús eléctrico para la ruta 100 y 27

Comportamiento de un autobús eléctrico en la ruta 100 el día 02/02/2019

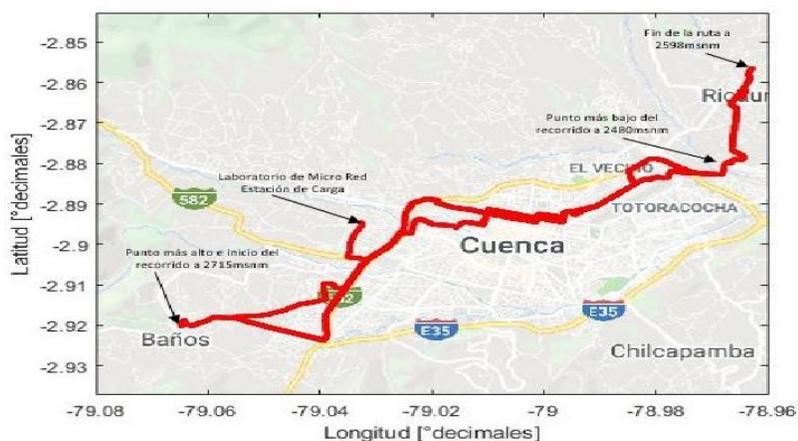


Figura 4.27: Recorrido del autobús eléctrico bajo operación en la ruta 100

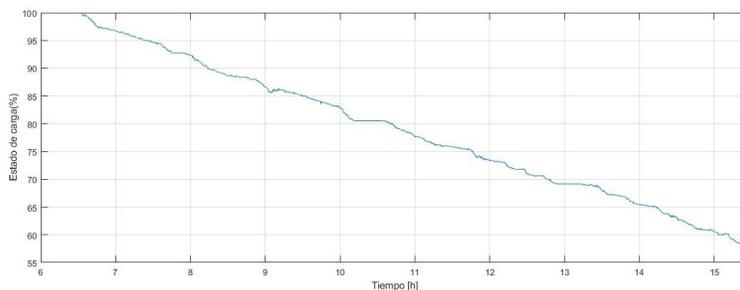
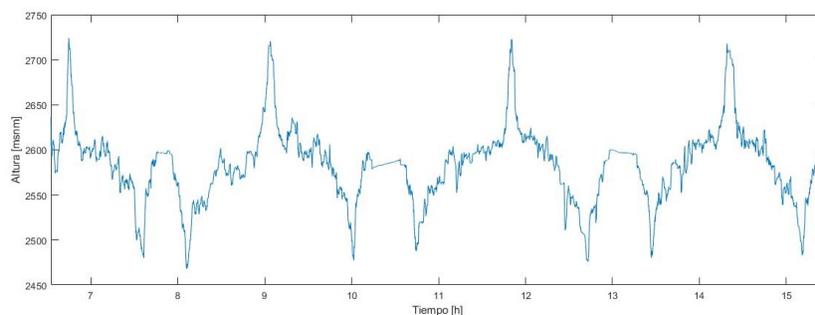
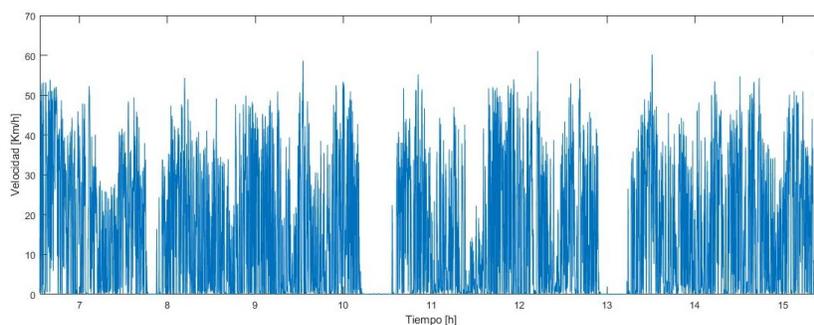


Figura 4.28: Estado de carga estimado del autobús eléctrico bajo operación en la ruta 100



(a) Perfil de altura



(b) Perfil de velocidad

Figura 4.29: Altura y Velocidad del recorrido de un autobús eléctrico de la línea 100

### Comportamiento de un autobús eléctrico en la ruta 27 el día 06/02/2019



Figura 4.30: Recorrido del autobús eléctrico bajo operación en la ruta 27

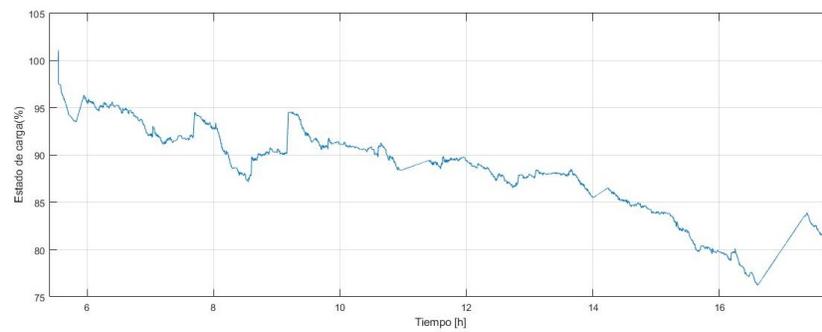
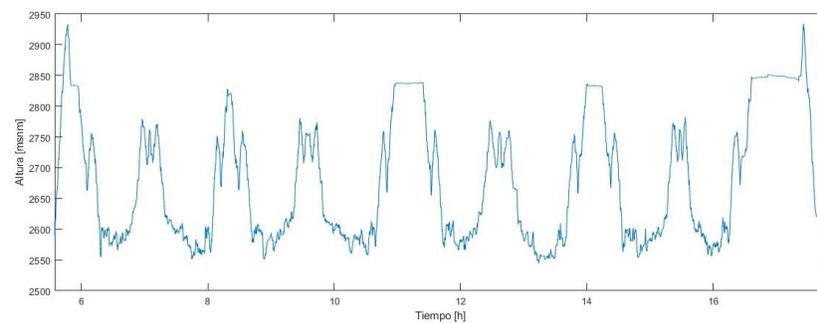
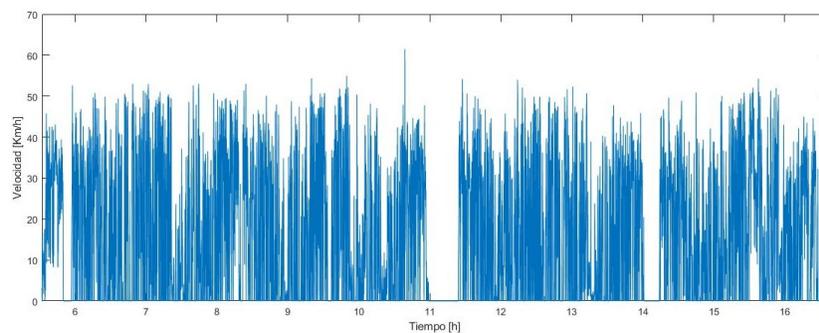


Figura 4.31: Estado de carga estimado del autobús eléctrico bajo operación en la ruta 27



(a) Perfil de altura



(b) Perfil de velocidad

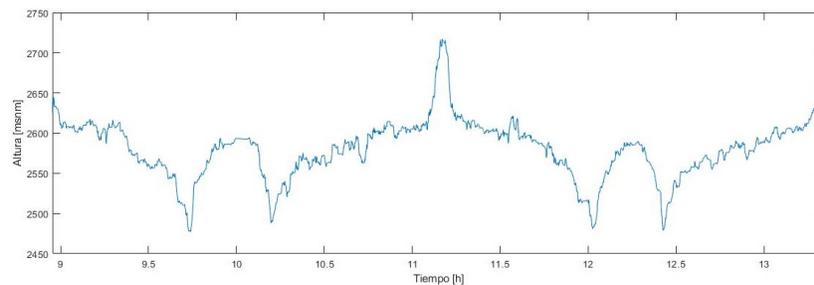
Figura 4.32: Altura y Velocidad del recorrido de un autobús eléctrico de la línea 27

## 4.5.2. Comportamiento dinámico del autobús convencional para la ruta 100, 27, 1b, 20, 5 y 24

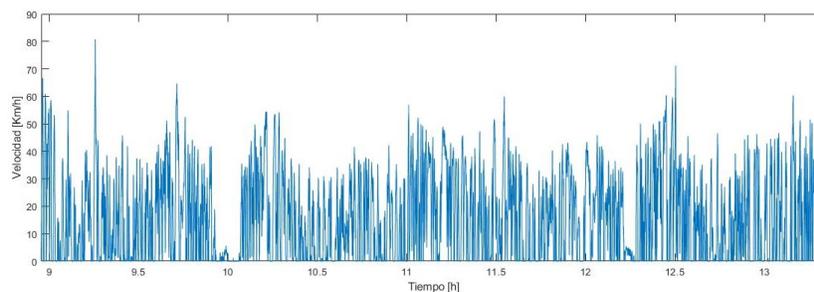
### Comportamiento de un autobús convencional en la ruta 100 el día 18/03/2019



Figura 4.33: Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 100



(a) Perfil de altura



(b) Perfil de velocidad

Figura 4.34: Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 100

### Comportamiento de un autobús convencional en la ruta 27 el día 19/03/2019

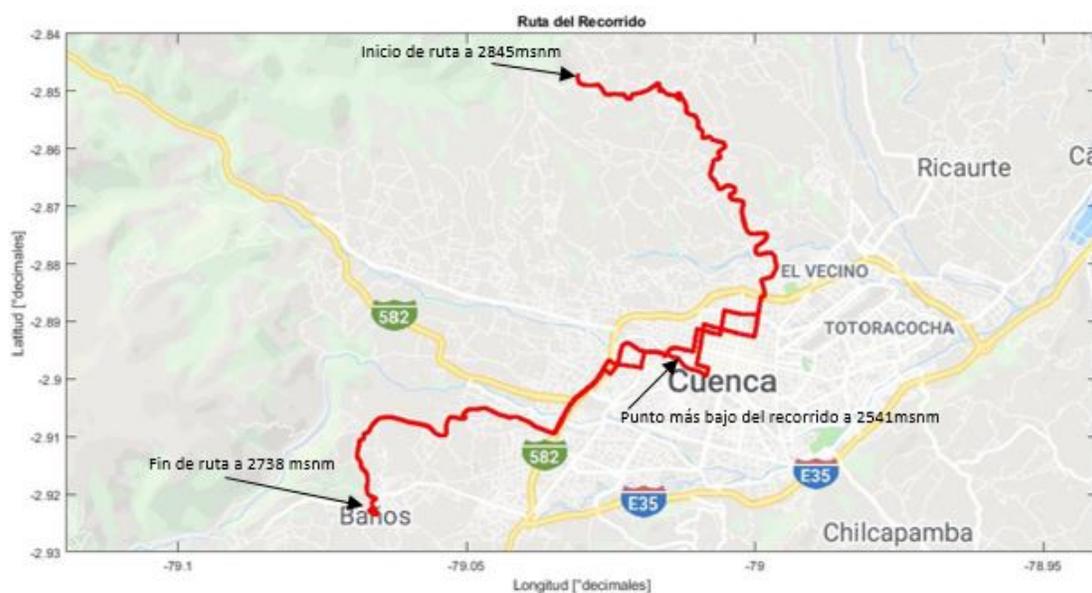
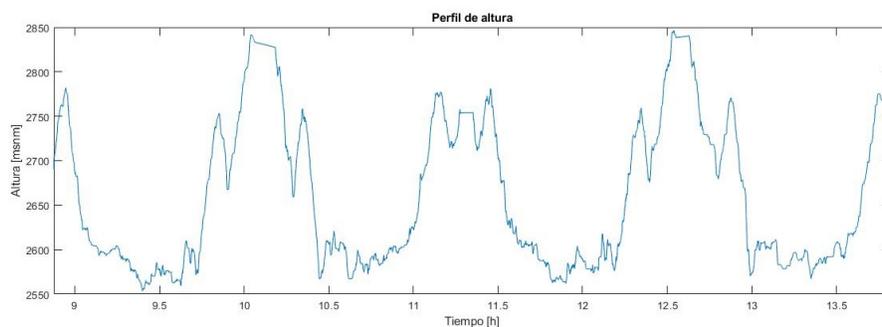
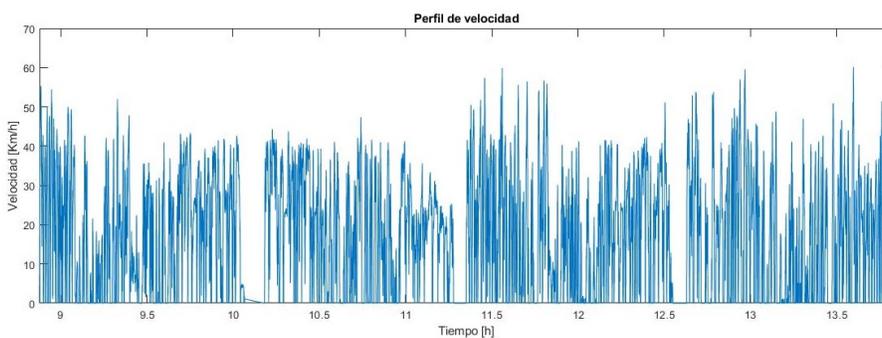


Figura 4.35: Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 27



(a) Perfil de altura



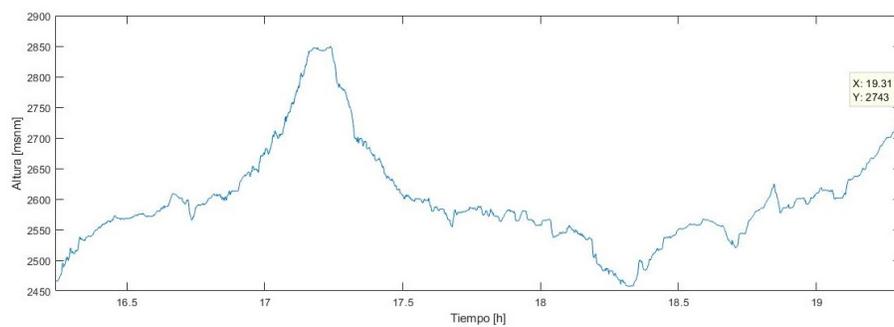
(b) Perfil de velocidad

Figura 4.36: Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 27

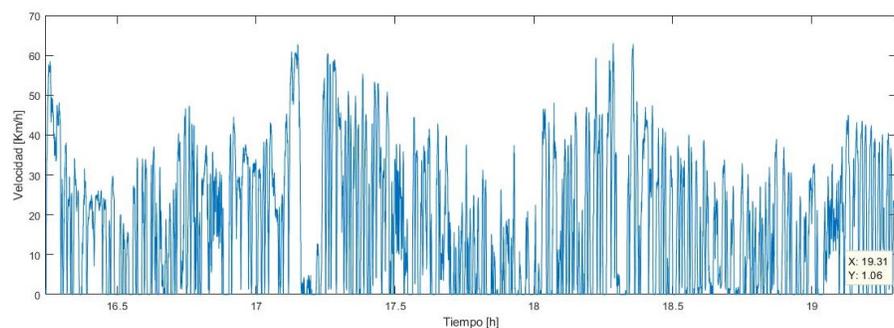
### Comportamiento de un autobús convencional en la ruta 1b el día 19/03/2019



Figura 4.37: Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 1b



(a) Perfil de altura



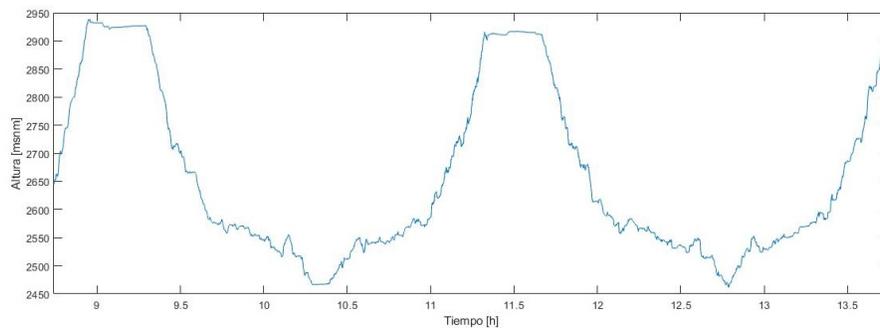
(b) Perfil de velocidad

Figura 4.38: Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 1b

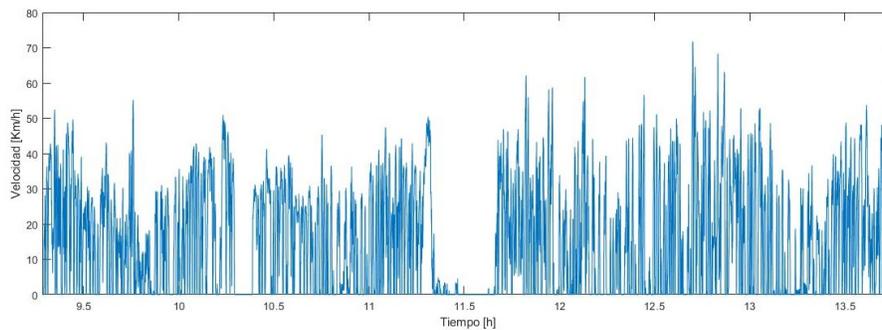
### Comportamiento de un autobús convencional en la ruta 20 el día 20/03/2019



Figura 4.39: Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 20



(a) Perfil de altura



(b) Perfil de velocidad

Figura 4.40: Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 20

### Comportamiento de un autobús convencional en la ruta 5 el día 20/03/2019

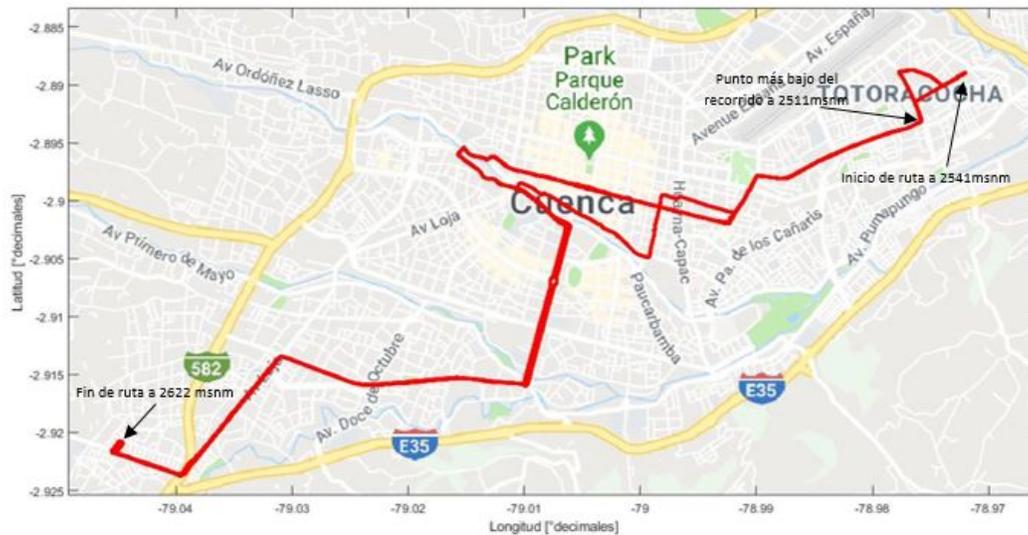
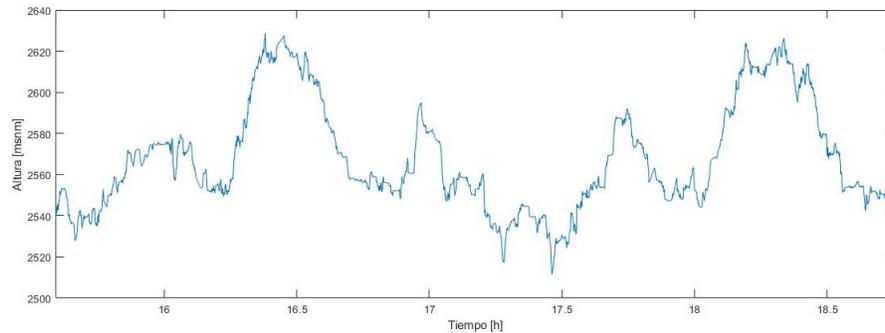
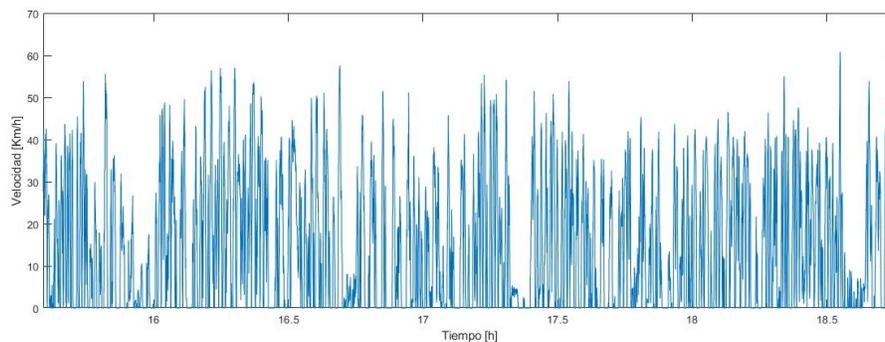


Figura 4.41: Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 5



(a) Perfil de altura



(b) Perfil de velocidad

Figura 4.42: Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 5

### Comportamiento de un autobús convencional en la ruta 24 el día 24/04/2019

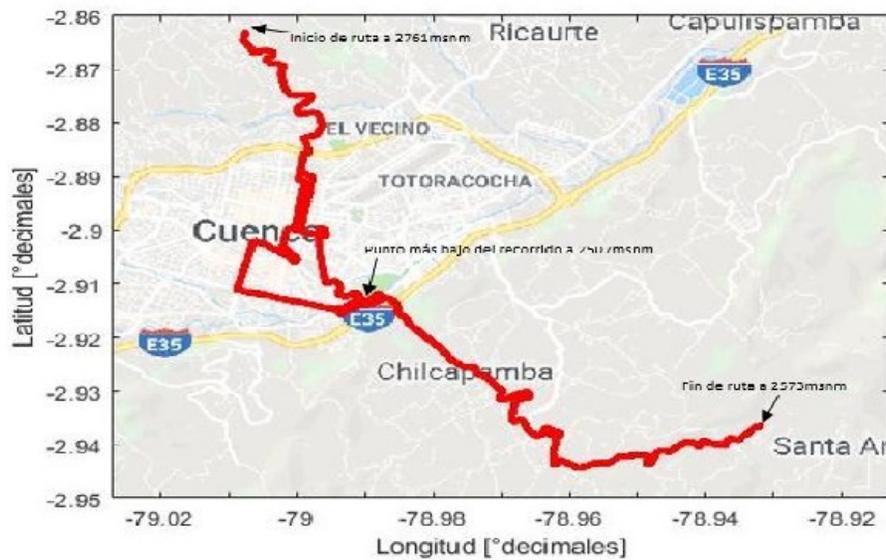
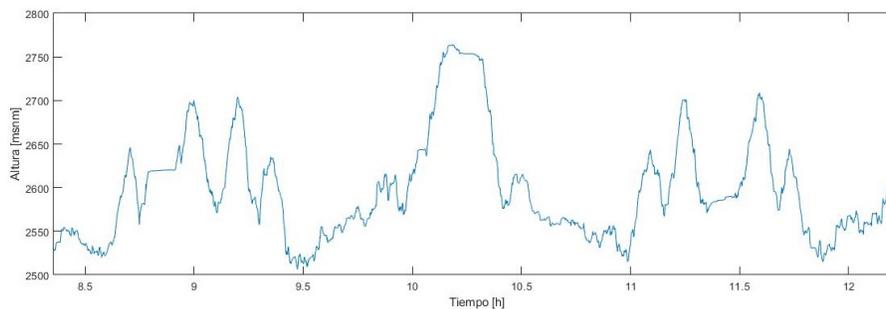
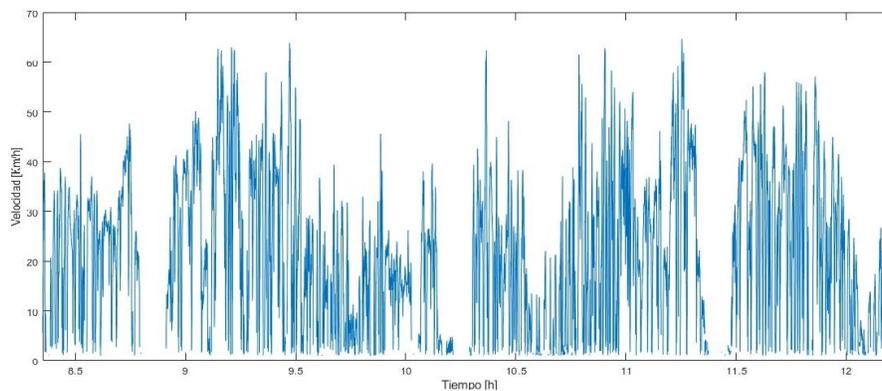


Figura 4.43: Recorrido típico de un autobús convencional bajo operación en la ruta 24



(a) Perfil de altura



(b) Perfil de velocidad

Figura 4.44: Altura y Velocidad del recorrido de un autobús convencional de la línea 24



## **4.6. Encuestas de la percepción de los usuarios acerca del autobús**

Esta encuesta tiene como finalidad conocer las diferentes opiniones y percepción de los usuarios del transporte público de la ciudad de Cuenca acerca de los autobuses eléctricos. De esta manera se prevé obtener información acerca de la frecuencia y el tiempo que utilizan los usuarios para llegar a su destino, así como también conocer si los usuarios saben de la tecnología de ese medio de transporte.

El tamaño de la muestra piloto fue de 204 personas, esta muestra probabilística, se realizó de manera aleatoria. La muestra indica el grado de confianza, cuanto más confianza se desee, será más elevado el número de sujetos necesarios y este se fija en función del interés del investigador. La encuesta consta de 8 preguntas y se realiza para conocer de la necesidad de análisis del sistema de transporte y la percepción que tienen los usuarios de esta nueva tecnología.

La primera parte de la encuesta identifica la edad del pasajero, la frecuencia de uso del transporte público y el tiempo que al usuario le toma llegar a su destino. En la segunda parte de la encuesta, las preguntas se centran en el autobús eléctrico, el conocimiento de esta tecnología, la calidad del servicio. La última parte se centra en el costo del servicio y si está dispuesto a pagar un mayor valor por un mejor sistema de transporte amigable con el medio ambiente.

La encuesta fue realizada en dos rutas de cada una de las líneas de transporte en estudio, fue realizado en las horas pico en la mañana, por lo que el autobús transitaba en su máxima capacidad, en cada ruta el autobús transportaba unos 100 usuarios aproximadamente de los cuales se realizó la encuesta al 20 % de ellos.

La figura 4.45 presenta el modelo de encuesta utilizada.



**Centro de Energía Balzay**  
**Laboratorio de Micro Red Eléctrica**  
**ENCUESTA DE PERCEPCIÓN AUTOBÚS ELÉCTRICO**

**1. Edad**

< 15 ____	15-25 ____	25-40 ____	40-60 ____	>60 ____
-----------	------------	------------	------------	----------

**2. Con que frecuencia utiliza el transporte público (autobús)**

Diariamente ____	Cuantas ____	Eventualmente ____
------------------	--------------	--------------------

**3. Cuanto demora en llegar a su punto de destino utilizando el autobús (Minutos)**

< 15 ____	15-30 ____	30-60 ____	> 60 ____
-----------	------------	------------	-----------

**4. Conoce usted que está haciendo uso de un Autobús Completamente Eléctrico**

SI ____	NO ____
---------	---------

**5. Cómo calificaría el servicio del autobús eléctrico en comparación a los autobuses convencionales**

Peor ____	Igual ____	Mejor ____
-----------	------------	------------

Porque: \_\_\_\_\_

**6. Piensa usted que el uso de autobuses eléctricos contribuyen a mejorar la calidad del transporte público.**

SI ____	NO ____
---------	---------

**7. ¿Estaría usted de acuerdo en implementar autobuses eléctricos en la ciudad?**

En Acuerdo ____	En Desacuerdo ____	Ninguna de las anteriores ____
-----------------	--------------------	--------------------------------

**8. ¿Estaría usted dispuesto a pagar más por un servicio no contaminante?**  
SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_, Si su respuesta fue Sí, por favor seleccione alguna de las siguientes opciones:

Hasta usd 0.05 más \_\_\_\_, Hasta usd 0.10 más \_\_\_\_, Hasta usd. 0.15 más \_\_\_\_

Más: detalle el valor \_\_\_\_

Figura 4.45: Modelo de Encuesta Percepción Autobús Eléctrico

## Capítulo 5

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Análisis técnico

#### 5.1.1. Análisis del Sistema eléctrico del autobús durante la ruta de prueba (frenado regenerativo activado)

##### Voltaje Vrms Fase-Neutro

El Voltaje Vrms Fase-Neutro muestra un valor máximo de 232.75V para la fase A-N, 237.95V para la fase B-N y 238.45V para la fase C-N, además presenta un voltaje nominal promedio de 227.26V como voltaje de fase; esto mientras el autobús eléctrico se encontraba realizando la ruta de prueba.

##### Corriente Irms de fase

La corriente Irms de cada una de las fases muestra una corriente máxima de 320.5A para la fase A, 324.8A para la fase B y 334A para la fase C, además se observa una corriente nominal promedio de 89.64A como corriente de línea; esto mientras el autobús eléctrico se encontraba realizando la ruta de prueba.

##### Potencia Activa P, Reactiva Q y Aparente S

La potencia activa P presenta un valor máximo de 101.85 kW, la potencia reactiva Q presenta un valor máximo de 40.05 kVAr y la potencia aparente S muestra un valor máximo de 152.4 kVA, por lo que se obtienen valores promedio de 21.782 kW para la potencia activa y 3.459 kVA para la potencia reactiva, mientras que la potencia aparente tiene 22.055 kVAr como potencia promedio nominal a la cual opera el vehículo; esto mientras el autobús eléctrico se encontraba realizando la ruta de prueba. Además el frenado regenerativo presenta una potencia activa máxima de -94.5 kW y un promedio de -54.488 kW para la operación del autobús eléctrico; cabe recalcar que el signo negativo presente significa la potencia del frenado.



## **Energía del autobús en ruta de prueba**

En la tabla 4.5 se muestran los valores de aporte de energía para el frenado regenerativo de los cuales se tomaron 4 muestras obteniendo un promedio de energía regenerada de 88.25 Wh con un tiempo de frenado de aproximadamente 7.25s para cada frenado.

La energía activa P muestra un consumo de 11.575 kWh y la energía reactiva Q presenta un consumo de 62 kVArh, además del total de la energía activa consumida durante la ruta de prueba, que tiene como valor 14.414 kWh, el 2.84 kWh es energía aportada por el frenado regenerativo.

### **5.1.2. Análisis del Sistema eléctrico del autobús durante las pruebas de velocidad (frenado regenerativo desactivado)**

#### **Comportamiento del autobús eléctrico para las pruebas de Velocidad**

Durante todas las pruebas de velocidad se tomaron los datos de cuatro muestras: la primera prueba se realizó entre la 16:06-16:07 en la cual se alcanzó una velocidad 40.19Km/h en un tiempo de 6.7s, la segunda prueba se realizó entre la 16:17-16:18 en la cual se alcanzó una velocidad de 40.18Km/h en un tiempo de 6.45s, la tercera prueba se realizó entre la 16:27-16:28 en la cual se alcanzó una velocidad de 40.06Km/h en un tiempo de 6.1s y por último la cuarta prueba se realizó entre la 16:31-16:32 en la cual se alcanzó una velocidad de 40.06Km/h en un tiempo de 6.15s; dando como resultado un promedio de 40.12Km/h alcanzados en tiempo de 6.35s.

#### **Voltaje Vrms Fase-Neutro**

El Voltaje Vrms Fase-Neutro muestra un promedio de 231.18V como voltaje de A-N, 234.66V como voltaje de B-N y 232.49V como voltaje de C-N, valores de voltaje máximo alcanzado por los datos tomados durante el recorrido de 4 pruebas de velocidad.

#### **Corriente Irms de fase**

La Corriente Irms de fase muestra un promedio de 404.75A como corriente de Fase A, 412.38A como corriente de Fase B y 416.98A como corriente de Fase C, valores de corriente máxima alcanzada por los datos tomados durante el recorrido de 4 pruebas de velocidad.

#### **Potencia Activa P y Reactiva Q**

La Potencia Activa P y Reactiva Q presentan valores promedio de 112.35 kW y 41.1kVAr respectivamente, valores de potencia máxima alcanzada por los datos tomados durante el recorrido de 4 pruebas de velocidad.



## **Energía del autobús en pruebas de velocidad**

El consumo de energía Activa P y Reactiva Q presentan valores promedio de 252.75 Wh y 3.5 VARh respectivamente, valores de energía consumida durante el recorrido de 4 pruebas de velocidad. Además se presenta el consumo energético total durante la realización de todas las pruebas de velocidad la cual alcanza un consumo de 5219 W de energía activa y 77 VAR de energía reactiva.

### **5.1.3. Energía entregada por la red para la carga del autobús**

Los datos para el análisis de la energía suministrada durante la carga del autobús eléctrico fueron tomados entre los días del 28/01/2019 al 01/02/2019 bajo carga de un conector con capacidad nominal de 40 kW, donde se estableció 4 cargas en total, los cuales presentan los siguientes valores:

#### **Carga N1**

La primera carga inicia el día lunes 28/01/2019 a partir de las 19:51pm y culmina el día martes 29/01/2019 a las 1:47am con una duración de 5:55 horas para completar la carga del autobús. Fueron requeridos 233.447 kWh de energía para cargar al 100 % las baterías del autobús, de los cuales 176.422 kWh son provenientes de la red externa y 57.025 kWh entregados por las baterías del laboratorio.

#### **Carga N2**

La segunda carga inicia el día martes 29/01/2019 a partir de las 20:30pm y culmina el día miércoles 30/01/2019 a las 2:08am con una duración de 5:38 horas para completar la carga del autobús. Fueron requeridos 234.463 kWh de energía para cargar al 100 % las baterías del autobús, de los cuales 199.255 kWh son provenientes de la red externa y 35.208 kWh entregados por las baterías del laboratorio.

#### **Carga N3**

La tercera carga inicia el día miércoles 30/01/2019 a partir de las 21:08pm y culmina el día jueves 31/01/2019 a las 3:25am con una duración de 6:17 horas para completar la carga del autobús. Fueron requeridos 240.827 kWh de energía para cargar al 100 % las baterías del autobús, de los cuales 203.719 kWh son provenientes de la red externa y 57.025 kWh entregados por las baterías del laboratorio.

#### **Carga N4**

La cuarta carga inicia el día jueves 31/01/2019 a partir de las 20:01pm y culmina el día viernes 01/02/2019 a las 2:07am con una duración de 6:06 horas para completar la carga del autobús. Fueron requeridos 237.892 kWh de energía para cargar al 100 % las baterías del autobús, de los cuales 202.437 kWh son provenientes de la red externa y 35.455 kWh entregados por las baterías del laboratorio.

#### 5.1.4. Comportamiento del autobús eléctrico en diferentes rutas comerciales

Al ser la movilidad un aspecto importante en el desarrollo de las ciudades, es necesario realizar un análisis de las diferentes rutas comerciales en la ciudad de Cuenca. Teniendo en cuenta que la ciudad tiene una topografía bastante irregular, rodeada de montañas y con la necesidad de un mejor sistema de transporte público, amigable con el medio ambiente y eficiente. Se realizó el análisis comparativo del comportamiento de un autobús eléctrico de la empresa BYD y de un bus convencional en diferentes rutas comerciales en la ciudad de Cuenca.

##### Comportamiento del autobús eléctrico en la ruta comercial N °100 el día 02/02/2019

El análisis de comportamiento del autobús eléctrico en la ruta 100 en la ciudad de Cuenca presenta los siguientes valores, el recorrido aproximado por ruta es de 38.33km, el día 02/02/2019 el autobús recorrió 204km con un velocidad promedio de 21.41km/h, consumiendo 249kWh. Durante el recorrido de la ruta 100 la unidad presenta varias diferencias de altura, entre el inicio de la ruta y el fin de la misma existe una diferencia de altura de 117 m. En las figuras 4.29 y 4.28 se muestran el perfil de altura, el comportamiento de velocidad y el comportamiento energético estimado, respectivamente, durante el recorrido en la ruta 100 en la ciudad de Cuenca.

##### Comportamiento del autobús eléctrico en la ruta comercial N °27 el día 06/02/2019

El análisis comportamiento del autobús eléctrico en la ruta 27 en la ciudad de Cuenca presenta los siguientes valores, el recorrido aproximado por ruta es de 43.5km, el día 06/02/2019 el autobús recorrió 175km con un velocidad promedio de 23.6km/h, consumiendo 258kWh. Durante el recorrido de la ruta 27 la unidad presenta varias diferencias de altura, entre el inicio de la ruta y el punto más bajo de la ruta existe una diferencia de altura de 304 m, una diferencia de altura significativa que se vio reflejada en la eficiencia del autobús de acuerdo a la tabla 5.2. En las figuras 4.32 y 4.31 se muestran el perfil de altura, el comportamiento de velocidad y el comportamiento energético estimado durante el recorrido en la ruta 27 en la ciudad de Cuenca.

Tabla 5.1: Comportamiento del autobús eléctrico en diferentes rutas comerciales

Comportamiento del autobús eléctrico en diferentes rutas comerciales						
Ruta	Fecha	Distancia km(ruta)	Altura máxima(m)	Altura mínima(m)	Velocidad máxima	Velocidad promedio
100	02/02/2019	38,33	2715	2480	80 km/h	21,41 km/h
27	06/02/2019	43,5	2845	2541	83 km/h	23,6km/h

##### Comportamiento del autobús convencional en las rutas comerciales N °100, N °27, N °1b, N °20 y N °5

El análisis de las rutas 1b, 20 y 5, para el autobús convencional, es similar al de las rutas 100 y 27 del autobús eléctrico. Los resultados se presentan en la Tabla 5.2.



Tabla 5.2: Comportamiento del autobús convencional en las rutas comerciales

Comportamiento del autobús convencional en las rutas comerciales						
Ruta	Fecha	Distancia km(ruta)	Altura máxima(m)	Altura mínima(m)	Velocidad máxima	Velocidad promedio
100	18/03/2019	41	2715	2480	63km/h	23km/h
27	19/03/2019	44	2845	2541	66.75km/h	22km/h
1b	19/03/2019	39.4	2848	2462	61km/h	23.km/h
20	20/03/2019	35.7	2933	2462	70km/h	21km/h
5	20/03/2019	26.54	2622	2511	60.8km/h	22km/h

El análisis del comportamiento del autobús convencional en las diferentes rutas en la ciudad de Cuenca presenta los siguientes valores: distancia promedio de las rutas aproximado a 38.3km, los datos fueron adquiridos en diferentes fechas, la cantidad de rutas promedio diarias son 6, la cantidad promedio de combustible consumido diariamente por cada unidad es de 28 galones de diésel. Durante el recorrido del autobús en las diferentes rutas se presentaron diferencias de altura, en unas rutas se nota mayores diferencias con respecto a las otras.

### 5.1.5. Aporte energético del frenado regenerativo por cada recorrido y número de paradas realizadas

A partir de los valores obtenidos en la tabla 4.5, el aporte promedio de energía restaurada por el frenado regenerativo fue estimado para los diferentes recorridos del autobús eléctrico, los cuales se muestran en la tabla 5.3, en donde la ruta 27 al presentar un mayor número de paradas, el aporte de energía es mayor, mientras que la ruta 1B posee un número menor de paradas por lo que el aporte de energía del frenado regenerativo es menor.

Tabla 5.3: Aporte de energía del frenado regenerativo por ruta comercial

Aporte de energía del frenado regenerativo por ruta comercial			
Línea	# Frenadas	Aporte (KWh)	Tiempo de frenado (s)
27	216	19.062	1566
100	156	13.767	1131
1B	102	9.002	739,5
5	132	11.649	957
20	174	15.356	1261,5



## 5.2. Análisis energético y medioambiental

El sistema de transporte de la ciudad de Cuenca tiene una flota de 490 unidades, de los cuales 475 se encuentran en circulación diaria, las mismas que están distribuidas en 7 empresas. El análisis comparativo emplea indicadores como el consumo energético fósil y eléctrico, el costo de consumo energético y el impacto de los combustibles fósiles hacia el medioambiente.

Para este análisis se consideró el rendimiento de los autobuses en términos del número de rutas, el tiempo de recorrido y la distancia del recorrido. Este análisis se centra en las rutas en las que operó el autobús eléctrico sujeto a prueba.

### 5.2.1. Estimación del consumo de combustibles fósiles en el transporte público convencional

Para realizar el cálculo del consumo energético de las rutas puestas a prueba en el sistema de transporte en la ciudad de Cuenca, es necesario definir:

- Número de rutas.
- Unidades de transporte por ruta.
- Longitud de la ruta.
- Frecuencia de las unidades por cada ruta y modo de transporte.
- Horario de cada ruta.
- Número de recorridos promedio por cada ruta.
- Tiempo promedio por recorrido.

Tabla 5.4: Información de las líneas, rutas y frecuencia

<b>Empresa</b>	<b>Línea</b>	<b>Unidades</b>	<b>Paradas</b>	<b>Distancia ruta km</b>
<b>Turismo Baños</b>	27	10	72	43,5
<b>SIT</b>	100	15	52	38,3
<b>LANCOMTRI</b>	20	10	58	35,7
<b>LANCOMTRI</b>	5	12	44	26,5
<b>SIT</b>	1B	10	34	39,4

Con estos parámetros se calculó:



- La distancia total mensual y anual de las distintas líneas de autobuses sujetas a prueba.
- Consumo energético mensual y anual de cada línea de transporte.
- Emisiones anuales de cada una de las líneas de autobuses.
- Costo económico anual de las líneas de autobuses sujetas a prueba.
- La distancia total recorrida por línea de autobús permite calcular el consumo energético en un periodo de tiempo. Para el cálculo energético de autobuses eléctricos y convencionales, es necesario conocer el consumo energético de diferentes tipos de transporte por kilómetro.
- Para evaluar el consumo energético total de las unidades de las líneas en prueba se establecieron como datos de partida, las distancias totales recorridas en una semana, mes y año en kilómetros de las líneas. Los cálculos se realizaron con la información de las líneas, rutas y frecuencias, presentada en la Tabla 5.4, para cada una de las líneas.

La velocidad promedio de los autobuses convencionales en prueba, de acuerdo a la Tabla 5.2 no supera los 23Km/h. El consumo promedio en autobuses urbanos con capacidades de 65 y 80 pasajeros en total en litros por kilómetro consume 46 litros de diésel por cada 100km equivalente a un consumo energético de 17.01MJ (4.725 kWh) por kilómetro [36].

### 5.2.2. Evaluación del consumo energético de las rutas en estudio

En la evaluación del consumo energético de los autobuses eléctricos se han considerado que estos autobuses fueron reemplazados por autobuses eléctricos. La evaluación se basa en el estudio del autobús eléctrico K9G de la empresa BYD.

Tabla 5.5: Características Técnicas del vehículo eléctrico

AUTOBUS ELECTRICO K9G, CARACTERISTICAS TECNICAS			
Potencia Nominal KW	Capacidad Baterías Kwh	Autonomía km	Consumo Energético kWh/km
150	324	300	0,93

El autobús eléctrico K9G de la empresa BYD tiene una capacidad de 80 pasajeros y una autonomía de 300 kilómetros, con una potencia de 150kW, su carga total es de 324 kWh, equivalente a un ahorro de 2260 litros de diésel al mes y una reducción en emisiones de 4 toneladas de  $CO_2$ . El tiempo de recarga eléctrica del autobús K9G es de 4 horas a 80kW de carga. El autobús eléctrico K9G consume aproximadamente 0.93 kWh por cada kilómetro recorrido.



Tabla 5.6: Número de vueltas, distancia recorrida por cada línea

COOPERATIVA	LINEA	UNIDADES	DISTANCIA RUTA KM	VUELTAS POR RUTA SEMANA	DISTANCIA RECORRIDA SEMANA, MILES KM	DISTANCIA RECORRIDA AÑO, MILES KM
<b>TURISMO BAÑOS</b>	27	10	43,5	420	18,27	876,96
<b>SIT</b>	100	15	38,3	630	24,129	1158,192
<b>LANCOMTRI</b>	20	10	35,7	350	12,495	599,76
<b>LANCOMTRI</b>	5	12	26,5	588	15,582	747,936
<b>SIT</b>	1B	10	39,4	350	13,79	661,92
<b>TOTAL</b>		57	183,4	2338	84,266	4044,768

En la Tabla 5.7, se presenta el consumo energético para cada una de las líneas de las diferentes cooperativas en estudio que operan el sistema de transporte público de la ciudad de Cuenca, se considera que todos los vehículos de combustión interna han sido reemplazados por autobuses eléctricos. El estudio se ha realizado con los datos de las características técnicas de los autobuses eléctricos presentados en la Tabla 5.5.

Tabla 5.7: Consumo energético de las líneas en estudio

Cooperativa	Línea	Consumo Energético Anual Miles KWh
<b>Turismo Baños</b>	27	815,57
<b>SIT</b>	100	1077,12
<b>LANCOMTRI</b>	20	557,78
<b>LANCOMTRI</b>	5	695,58
<b>SIT</b>	1B	615,59
<b>TOTAL</b>		3761,63

### 5.2.3. Estimación del costo económico y emisiones de $CO_2$ de las rutas en estudio en el sistema de transporte público

Para la estimación del costo económico del consumo de combustibles fósiles en las líneas en estudio en el sistema de transporte de la ciudad de Cuenca, se realizó un análisis con el costo del diésel en el país y con el costo promedio internacional del diésel.

Tabla 5.8: Costo diésel

Costo	Por litro	Por galón
<b>Con subsidio</b>	0,27	1,08
<b>Sin subsidio</b>	1,03	4,12

El cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero se realiza en función de los litros consumidos al año por las diferentes líneas de las empresas que operan en la ciudad de Cuenca.



De acuerdo a la Norma ISO 14064 (2016) las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), se divide en:

- Emisiones Directas
- Emisiones Indirectas
- Emisiones Indirectas de GEI

El factor de emisión en relación al transporte a combustión interna, representa la cantidad de emisiones por cada unidad, el factor de emisión sería 2,471 kg  $CO_2$  eq/litro de diésel (MAE, 2014).

Tabla 5.9: Estimación del costo ambiental y económico del consumo de combustibles fósiles

Cooperativa	Linea	Consumo Diesel Anual, Litros	Costo Económico Anual Dólares		Impacto Medioambiental, TN EQ $CO_2$
			0,27 \$/litro	1,03 \$/litro	
<b>Turismo Baños</b>	27	403401,6	108918,432	415503,648	996,81
<b>SIT</b>	100	532768,3	143847,446	548751,3696	1316,47
<b>LANCOMTRI</b>	20	275889,6	74490,192	284166,288	681,72
<b>LANCOMTRI</b>	5	344050,6	92893,6512	354372,0768	850,15
<b>SIT</b>	1B	304483,2	82210,464	313617,696	752,38
<b>TOTAL</b>		1860593	502360,186	1916411,078	4597,53

#### 5.2.4. Estimación del costo económico de las rutas en estudio en el sistema de transporte público al reemplazarlas por autobuses eléctricos

Para la estimación del costo económico del consumo de energía eléctrica en las líneas en estudio en el sistema de transporte de la ciudad de Cuenca, en el Ecuador, no existe una tarifa general en baja tensión para vehículos eléctricos de transporte público con potencias superiores a 10 kW. La tarifa eléctrica en Ecuador según el ARCONEL es de 0.04 por kWh para consumidores que no sobrepasen los 110 kWh en la Sierra y 130 kWh en la Costa, para los que sobrepasen la tarifa mínima el precio oficial la energía en el país está en 9,33 cts (centavos de dolar).



Tabla 5.10: Estimación del costo económico del consumo de energía eléctrica

Cooperativa	Linea	Consumo Eléctrico Anual kWh/km	Costo Económico Anual Dólares	
			0,04 \$/kWh	0,093 \$/kWh
<b>Turismo Baños</b>	27	815572,8	32622,912	75848,2704
<b>SIT</b>	100	1077119	43084,7424	100172,0261
<b>LANCOMTRI</b>	20	557776,8	22311,072	51873,2424
<b>LANCOMTRI</b>	5	695580,5	27823,2192	64688,98464
<b>SIT</b>	1B	615585,6	24623,424	57249,4608
<b>TOTAL</b>		3761634	150465,37	349831,9843

### 5.2.5. Comparación de costos del consumo energético del autobús eléctrico frente a los autobuses a combustión interna

En las tablas 5.11 y 5.12 se presentan los resultados de consumo energético, así como también una comparación del costo económico de combustible fósil en comparación con el costo económico de la energía eléctrica de los autobuses en un año de operación; no fue necesario realizar una comparación del impacto medioambiental de estas dos tecnologías debido a que el autobús eléctrico no produce contaminación alguna.

Tabla 5.11: Costos de energía subsidiada del autobús eléctrico vs autobuses convencionales

Costos de energía subsidiada del autobús eléctrico vs autobuses convencionales					
EMPRESA	LINEA	CONSUMO ELECTRICICO ANUAL, kWh/km	CONSUMO DIESEL ANUAL, LITROS	COSTO ECONÓMICO ANUAL, MILES DÓLARES	
				0,27 \$/litro	0,04 \$/KWH
<b>TURISMO BAÑOS</b>	27	815572,8	403401,6	108918,432	32622,912
<b>SIT</b>	100	1077118,56	532768,32	143847,4464	43084,7424
<b>LANCOMTRI</b>	20	557776,8	275889,6	74490,192	22311,072
<b>LANCOMTRI</b>	5	695580,48	344050,56	92893,6512	27823,2192
<b>SIT</b>	1B	615585,6	304483,2	82210,464	24623,424
<b>TOTAL</b>		3761634,24	1860593,28	502360,1856	150465,3696

Tabla 5.12: Costos de energía sin subsidio del autobús eléctrico vs autobuses convencionales

Costos de energía sin subsidio del autobús eléctrico vs autobuses convencionales					
EMPRESA	LINEA	CONSUMO ELECTRICICO ANUAL, kWh/km	CONSUMO DIESEL ANUAL, LITROS	COSTO ECONÓMICO ANUAL, MILES DÓLARES	
				1,03 \$/litro	0,093 \$/KWH
<b>TURISMO BAÑOS</b>	27	815572,8	403401,6	415503,648	75848,2704
<b>SIT</b>	100	1077118,56	532768,32	548751,3696	100172,0261
<b>LANCOMTRI</b>	20	557776,8	275889,6	284166,288	51873,2424
<b>LANCOMTRI</b>	5	695580,48	344050,56	354372,0768	64688,98464
<b>SIT</b>	1B	615585,6	304483,2	313617,696	57249,4608
<b>TOTAL</b>		3761634,24	1860593,28	1916411,078	349831,9843

### 5.3. Análisis de percepción ciudadana

**Pregunta 1** ¿Cuál es la edad de las personas encuestadas?

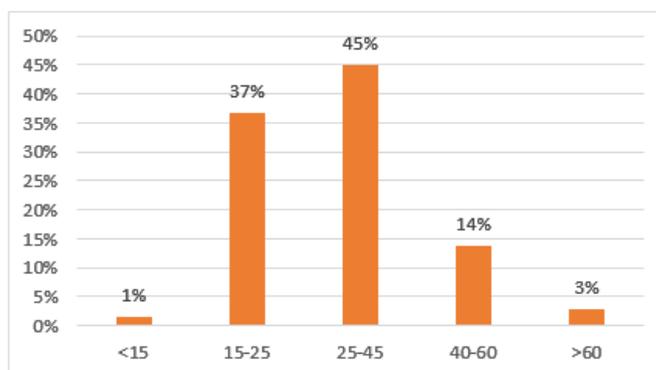


Figura 5.1: Resultados de encuesta en pregunta 1

De 204 personas encuestadas el 45 % de encuestados tienen una edad de entre 25-45 años, el 37 % tiene entre 15-25 años, el 14 % tiene entre 40-60 años, el 3 % tiene más de 60 años y el 1 % tiene menos de 15 años.

**Pregunta 2** ¿ Con qué frecuencia utiliza el transporte público (autobús)?

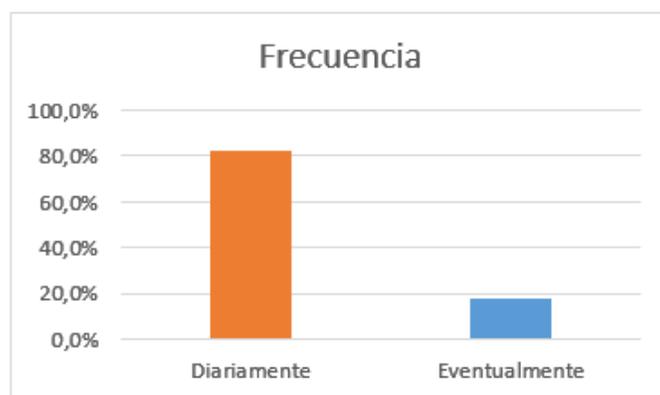


Figura 5.2: Resultados de encuesta en pregunta 2 parte 1

De 204 personas encuestadas el 82,4 % de encuestados utilizan el transporte público diariamente mientras que el 17,6 % lo utilizan eventualmente.

De las personas que utilizan el transporte público diariamente se obtuvo el número de veces que utilizan el transporte público diariamente



Figura 5.3: Resultados de encuesta en pregunta 2 parte 2

**Pregunta 3** ¿ Cuánto demora en llegar a su punto de destino utilizando el autobús?

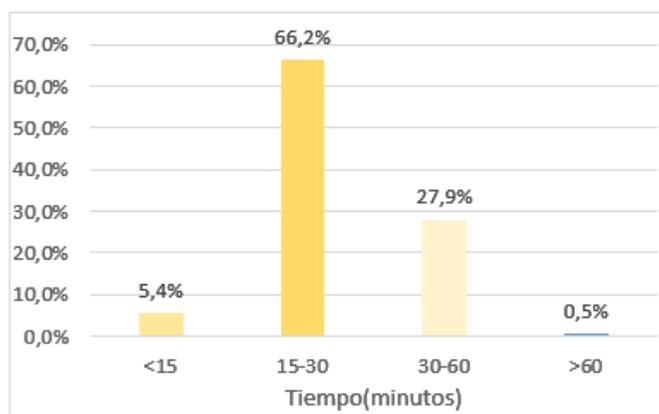


Figura 5.4: Resultados de encuesta en pregunta 3

De 204 personas encuestadas el 62.2 % de encuestados tardan entre 15-30 minutos, el 27.9 % tardan entre 30-60 minutos, el 5.4 % tardan menos de 15 minutos y el 0.5 % de los encuestados tardan más de 60 minutos en llegar a su destino.

**Pregunta 4** ¿ Conoce que está haciendo uso de un autobús completamente eléctrico?

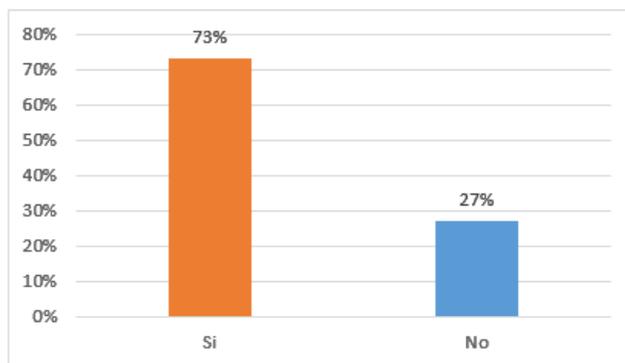


Figura 5.5: Resultados de encuesta en pregunta 4

De las 204 personas encuestadas el 73 % de encuestados conocen que están haciendo uso de un autobús totalmente eléctrico y el 27 % desconocen que están haciendo uso de este transporte, una cifra alta, según los encuestados esto se debe a la falta de la socialización de esta nueva tecnología y algunos de ellos demostraron una falta de interés sobre el tema.

**Pregunta 5** ¿Cómo calificaría el servicio del autobús eléctrico en comparación a los autobuses convencionales?

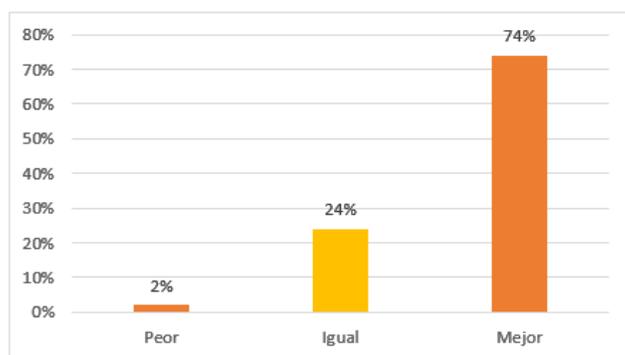


Figura 5.6: Resultados de encuesta en pregunta 5

De las 204 personas encuestadas el 74 % de los encuestados piensan que el servicio del autobús eléctrico es mejor, el 24 % piensan que el servicio es el mismo y el 2 % piensa que es peor.

Los encuestados que piensan que el servicio es peor, comentan que en este autobús tardan más tiempo que en los autobuses convencionales en llegar a su destino, mientras que las personas que dicen que el servicio es igual, son personas comentan que el servicio es el mismo y que no encuentran diferencias con el transporte convencional ya que es su primera vez en este medio de transporte, las personas encuestadas que piensan que este servicio es mejor mencionan entre otras cosas que el autobús eléctrico contamina menos en comparación con el servicio convencional, ayuda al medio ambiente, es un autobús que no produce ruido, más rápido y es más cómodo en comparación del autobús convencional.

**Pregunta 6** ¿ Piensa usted que el uso de autobús eléctrico contribuye a mejorar la calidad del transporte público?

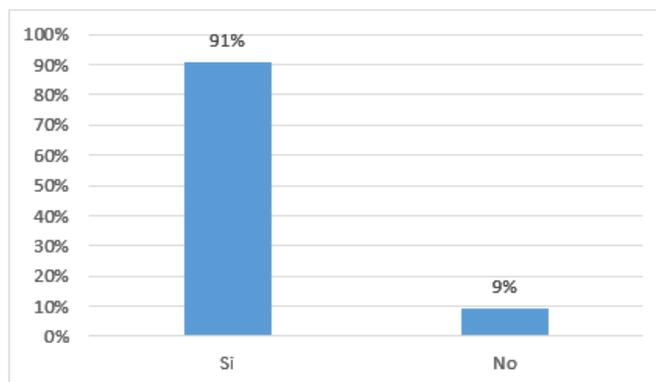


Figura 5.7: Resultados de encuesta en pregunta 6

De las 204 personas encuestadas el 91 % piensan que el uso de autobuses eléctricos contribuye a mejorar la calidad del transporte público y el 9 % piensan que el uso de estos autobuses no contribuye a mejorar la calidad de transporte público. Pero lo gran mayoría piensa que la calidad de transporte publico mejorara con el uso de estos autobuses debido a que son más seguros y menos contaminantes.

**Pregunta 7** ¿ Estaría usted de acuerdo en implementar autobuses eléctricos en la ciudad?

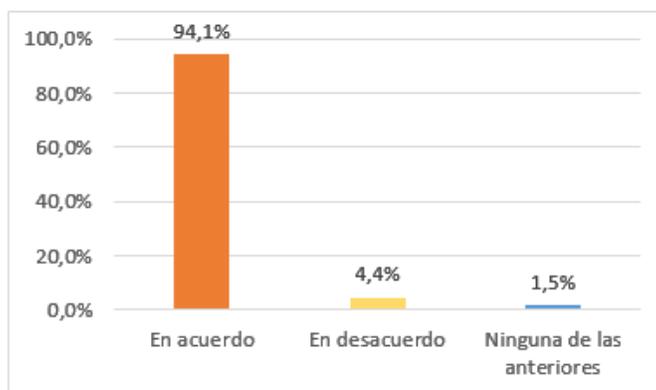


Figura 5.8: Resultados de encuesta en pregunta 7

De las 204 personas encuestadas el 94.1 % están de acuerdo que se implemente los autobuses eléctricos en la ciudad de Cuenca piensan, el 4.4 % no están de acuerdo y el 1.5 % no están en acuerdo ni en desacuerdo, los encuestados que no están de acuerdo piensan que con la implementación de estos autobuses subirá el costo del pasaje por lo que no están de acuerdo.

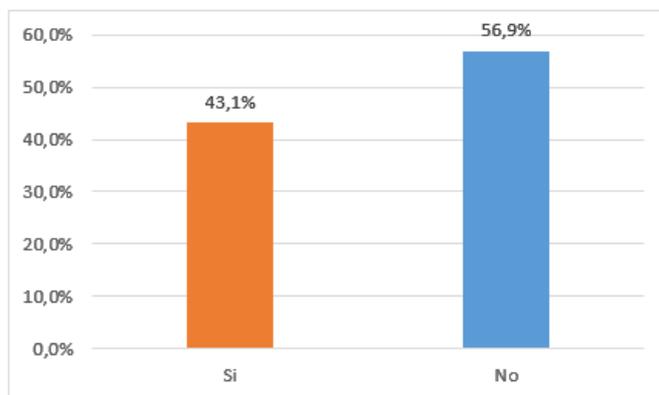
**Pregunta 8** ¿ Estaría usted dispuesto a pagar más por un servicio no contaminante?

Figura 5.9: Resultados de encuesta en pregunta 8 parte 1

De las 204 personas encuestadas el 56.9 % no están de acuerdo en pagar más por un servicio no contaminante y el 43.1 % estaría dispuesto a pagar más por un servicio no contaminante. El 56.9 % de las personas encuestadas no están de acuerdo a pagar más debido a que el tema del pasaje es algo que debe tratarse con detenimiento y no debe ser tomado a la ligera y el 43.1 % que están de acuerdo con pagar más por un servicio no contaminante, opinan que se debe pagar más para incrementar las unidades en Cuenca y así disminuir la contaminación producida por los autobuses actuales.

Si su respuesta fue si, por favor seleccione alguna de las siguientes opciones:

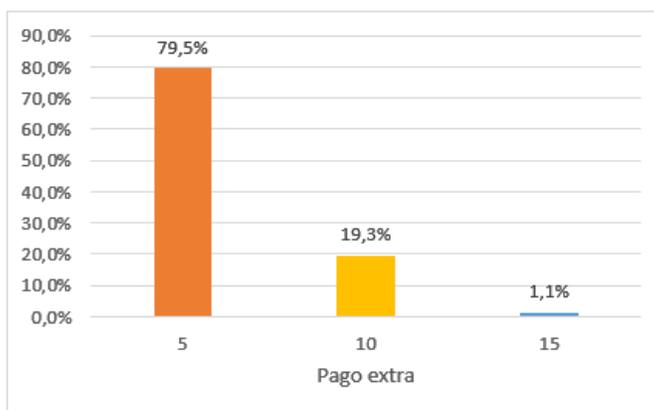


Figura 5.10: Resultados de encuesta en pregunta 8 parte 2

De las 88 personas encuestadas que respondieron si en la pregunta el 79.5 está de acuerdo en pagar 5ctvs extras por este tipo de transporte, el 19.3 % está de acuerdo en pagar 10cts extras por este tipo de transporte mientras que el 1.1 % estaría de acuerdo en pagar hasta 15cts por un transporte no contaminante.

## CONCLUSIONES

- Como se ha venido mencionando a lo largo de este trabajo, el uso de autobuses eléctricos ayuda con el medio ambiente reduciendo la emisión de  $CO_2$  un gas de efecto invernadero que ocasiona daños al Medio Ambiente, aunque en Latinoamérica se ha hecho muchos avances y cambios en la movilidad eléctrica queda mucho camino por recorrer; por otro lado el auge que han tenido las energías renovables ha ocasionado que entidades a nivel mundial creen incentivos para las empresas de transporte se cambien al uso de una energía menos contaminante. En el caso de Ecuador ya se promulgado un número de leyes que incentiva (promuevan) la utilización de estos vehículos y así reducir la dependencia de los vehículos que funcionan con combustibles fósiles.

- El autobús eléctrico comparado con autobuses convencionales reduce al mínimo el impacto medioambiental. Ecuador al ser signatario del Tratado de Paris, debe tener en cuenta este tipo de tecnologías para lograr el propósito de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; debido a esto el uso de transporte público masivo a combustión interna traen consigo una serie de costos colaterales que asumen la ciudad directa e indirectamente, los que pueden ser reducidos al implementar esta tecnología.

- Cuando el autobús eléctrico se encuentra circulando sin pasajeros (en vacío), el frenado regenerativo aporta con un promedio aproximado de 88.25 Wh de energía por cada frenado, con un tiempo aproximado de 7.25 s hasta detenerse. El tiempo de duración desde que se presiona el freno hasta que se detiene influye directamente en la energía aportada por el frenado regenerativo, ya que en este caso de estudio se muestra que para un frenado de aproximadamente 11 segundos este aporta con 139 Wh de energía, mientras que para un frenado de 5 segundos este aporta con 54Wh de energía, por lo que se recomienda realizar frenados menos agresivos que permitan regenerar una mayor energía.

- La operación diaria del autobús lleva a deducir que mientras más paradas realice el autobús sin importar que sea por tráfico, semáforos o estaciones de servicio el aporte de energía por el frenado regenerativo será mayor; por ejemplo, en la ruta 27 se observa que durante un día de operación, el autobús se detuvo un total de 216 veces por recorrido, con lo que el aporte aproximado de energía es de 19.062 kWh, mientras que en la ruta 100 se observo que se detuvo 156 veces por recorrido, lo que corresponde a un aporte de energía de 13.767 kWh.



- Con las pruebas de velocidad se pudo determinar que el autobús eléctrico de 13850 kg en vacío, tarda 6.35 s en alcanzar la velocidad de aproximadamente 40.12 km/h alcanzando un voltaje máximo de 231.18 V, una corriente máxima de 411.37 A, una potencia activa máxima de 112.35 kW y finalmente consumiendo una energía de 252.75 Wh por cada arranque.

- Durante la ruta de prueba el consumo total de energía que tiene el autobús eléctrico es de 14.41 kWh, de los cuales 2.84 kWh de energía son regenerados gracias al frenado regenerativo, por lo que se llega a concluir que el aporte de energía que realiza el frenado regenerativo es de aproximadamente entre el 19 % y 20 % para la operación en vacío del autobús.

- Se logró demostrar la factibilidad de que la energía necesaria para la carga de EB, puede provenir de fuentes renovables, el caso de estudio se generó a partir de solar fotovoltaica y sistemas de almacenamiento de forma satisfactoria; además en este caso se logró obtener entre el 15 % - 25 % de la energía por fuentes renovables.

- En la duración de la carga completa del autobús es clave mencionar el uso de los dos conectores del centro de carga ya que este aumenta la velocidad de recarga; en este caso se usó un solo conector con capacidad nominal de 40 kW, durando su recarga al 100 % aproximadamente entre 5 y 6 horas en el peor de los casos; además se concluye que el tiempo de recarga depende de la ruta en la que se encontraba en operación, ya que para la ruta 100 el consumo es menor y por lo tanto la recarga de las baterías es más rápida mientras que para la ruta 27 el consumo es mayor y por lo tanto la recarga se la realiza en mayor tiempo.

- El autobús eléctrico al ser una tecnología nueva, el costo del mismo puede llegar a ser el doble del valor de un autobús a combustión interna, a este costo se suma la infraestructura eléctrica incrementando el costo de inversión. De acuerdo al estudio realizado, el costo estimado de energía necesaria para el funcionamiento anual de las unidades, ha mostrado que el autobús eléctrico es más económico que un autobús convencional en cuanto a costos de energía.

- En cuanto a la percepción ciudadana, los resultados de la encuesta realizada indican que la aceptación del autobús eléctrico en la ciudad es buena, muchas de las personas encuestadas dan conocer un desconocimiento de este tipo de tecnología, de las cuales la gran mayoría está de acuerdo en que se implemente los autobuses eléctricos, pero condicionando el incremento del costo de servicio ya que la gran mayoría de los usuarios son estudiantes y personas de bajos ingresos.

- El desempeño del autobús eléctrico bajo pruebas de operación diaria en los recorridos en la ciudad presenta desempeños similares a los indicados en las características técnicas por lo que no se presentó ningún problema de funcionalidad durante el estudio.



- Durante el estudio, se logró observar la dependencia de la geografía y número de paradas de cada ruta con respecto al consumo energético, lo que indica que es importante no generalizar la eficiencia energética y es necesario realizar un estudio detallado de necesidades energéticas de cada ruta, por lo que se invita a continuar con este tema de investigación.

## Bibliografía

- [1] U.S. Energy Information Administration. (2016). *Passenger travel accounts for most of world transportation energy use*. Recuperado de: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=23832>
- [2] Peugeot. (2019). *QUE ES UN COCHE ELÉCTRICO*. Recuperado de: <https://www.peugeot.es/que-es-un-coche-electrico.html>
- [3] Inside-EVs. (2017). *Ev battery makers 2016: Panasonic and byd combine to hold majority of market*. Recuperado de <https://insideevs.com/ev-battery-makers-2016-panasonic-and-byd-combine-to-hold-majority-of-market/,2017>
- [4] Green Car Reports. Lithium-ion battery packs now 209perkwh;willfallto100 by 2025: Bloomberg analysis. Recuperado de [https://www.greencarreports.com/news/1114245\\_lithium-ion-battery-packs-now-209-per-kwh-will-fall-to-100-by-2025-bloomberg-analysis](https://www.greencarreports.com/news/1114245_lithium-ion-battery-packs-now-209-per-kwh-will-fall-to-100-by-2025-bloomberg-analysis)
- [5] Tesla. Gigafactory, 2014. Recuperado de [https://www.tesla.com/es\\_ES/blog/Gigafactory](https://www.tesla.com/es_ES/blog/Gigafactory)
- [6] Marialisa Nigro, Valentina Conti, Silvia Orchi, Maria Pia, Raffaella Calo. (2017), Design and evaluation of electric solutions for public transport, Budapest, Hungary.
- [7] Electromovilidad. Tipos de baterías, 2019. Recuperado de <http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>
- [8] Build Your Dreams [BYD]. (2018). *Bus Eléctrico K9G*. [Figura]. Recuperado de <https://bydelectrico.com/buses-electricos/bus-electrico-k9/>
- [9] Electric Mobility Europe. (2019, Abril 26). *Defacto European Standardization group for electric mobility*. Recuperado de <https://www.electricmobilityeurope.eu/evs-30-3/>
- [10] M. Pihlatie, S. Kukkonen, T. Halmeaho, V. Karvonen. (2014), Fully Electric City Buses – The Viable Option.



- [11] Jari Vepsalainen, Klaus Kivekas, Kevin Otto, Antti Lajunen, Kari Tammi. (2018), Development and validation of energy demand uncertainty model for electric city buses, School of Engineering, Aalto University, Espoo, Finland
- [12] European SMART GRIDS. (2018, October 25). *Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Network of the Future*. Recuperado de <http://www.smartgrids.eu>.
- [13] Fenercom. (2019). *Guía del vehículo eléctrico*. Madrid, España. Recuperado de <https://www.fenercom.com>
- [14] Electromovilidad.(2019,Julio 15). *Tipos de recarga del vehículo eléctrico*. Recuperado de <http://electromovilidad.net/tipos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>
- [15] RAÚL GUEVARA MACÍAS. (2014). *FRENO REGENERATIVO EN AUTOMÓVILES PARA USO HÍBRIDO*. CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4259/TESIS%20%20FRENO%20REGENERATIVO%20RAUL.pdf?sequence=1>
- [16] El vehículo eléctrico, STA (Sociedad de Técnicos de Automación), primera edición 2011, Libbooks Barcelona, S. L. L. Pág. 89,90.
- [17] IEA (Internacional Energy Agency). (2019). *Global Electric Vehicle (EV) Outlook 2018*. Recuperado de: <https://www.iea.org/gevo2018/>
- [18] Ecovattios. (2018, Febrero 13). *VENTAJAS DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA*. Recuperado de: <https://ecovattios.com/ventajas-la-movilidad-electrica/>
- [19] Corporación Financiera Nacional B. P. [CFN]. (2019). *Financiamiento de Movilidad Eléctrica*. Recuperado de: <https://www.cfn.fin.ec/financiamiento-de-movilidad-electrica/>
- [20] Freddy Leonardo León E. Máximo Xavier Salinas P. (2018). *Implementación y uso de autos eléctricos en el transporte público y su impacto en la red de distribución*. Universidad de Cuenca. Loja, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31275/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf>
- [21] Diario EL UNIVERSO. (2019, Marzo 13). *Buses eléctricos sirven en norte y centro de Guayaquil*. Ecuador. Recuperado de: <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/03/13/nota/7230185/buses-electricos-trasladan-norte-centro-035>
- [22] Ley orgánica de eficiencia energética del Ecuador 2019.



- [23] Terrón Alonso, J. Á. (2015). *Vehículos eléctricos para transporte de cuidados*. En F. d. Madrid, Guía del Vehículo Eléctrico.
- [24] Estefanía Marchán, Lisa Viscidi. (2016). *EL DIALOGO: TRANSPORTE VERDE Perspectivas para vehículos eléctricos en América Latina*. Recuperado de: <http://www.thedialogue.org/wp-content/uploads/2015/10/ID-Transporte-verde-Perspectivas-para-veh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>
- [25] Andrés Bermúdez Liévano. (2019, February 4). *Diálogo Chino: Latin American cities finally embrace Chinese electric buses*. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://dialogochino.net/21995-latin-american-cities-finally>
- [26] Julieta C. Gonzalo I. Carlos R. Pedro F. Ramón D. Mercedes T. Delia P. Gilberto P. Javier F. Vicente O. (2008). *Energías Renovables y eficiencia energética (1st ed - pg 46)*. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. Recuperado de: <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
- [27] Fernández Salgado, J. (2009). *Tecnología de las energías renovables (1st ed.)*. Madrid: A. Madrid Vicente.
- [28] IRENA (International Renewable Energy Agency). (2019, March 31). *Renewable capacity highlights*. Recuperado de: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE\\_capacity\\_highlights\\_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F)
- [29] IEA (International Energy Agency). (2018). *World Energy Outlook (WEO)*. Recuperado de: <https://www.iea.org/weo/>
- [30] Cadena, Á., Botero, S., Táutica, C., Betancur, L., Vesga, D. (2008). *Regulación para incentivar las energías alternas y la generación distribuida en Colombia (Conclusiones)*. Revista de Ingeniería, (28), 90-98.
- [31] ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (Marzo 2019). *Balance Nacional de Energía Eléctrica (BNEE)*. Ecuador. Recuperado de: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>
- [32] Luis G. González. Ph.D., (2019, Marzo 20). *Comportamiento en ruta comercial de autobús eléctrico BYD modelo K9G (Informe de estudio de eficiencia energética autobús eléctrico)*. Laboratorio de Micro Red Eléctrica - Universidad de Cuenca, Cuenca – Ecuador.
- [33] Fluke (2019). *Ilustración del catalogo de la pagina de venta de instrumentos eléctricos*. [Figura]. Recuperado de [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/4124644\\_6112\\_SPA\\_C\\_W.PDF](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/4124644_6112_SPA_C_W.PDF)



- [34] J. L. Espinoza, L. G. González and R. Sempértegui. (2017). *Micro grid laboratory as a tool for research on non-conventional energy sources in Ecuador*. IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), Ixtapa, pp. 1-7. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30708?mode=simple>
- [35] PSIKIPEDIA. *Técnicas de muestreo*. [Concepto]. Recuperado de <https://psikipedia.com/libro/investigacion/1511-tecnicas-de-muestreo>
- [36] Ríos Villacorta Alberto. Vargas Guevara Carlos. Guamán Molina Jesús. Otorongo Cornejo Manuel. (Octubre 2018). *Implicaciones Energéticas y Medio Ambientales de la Integración de Autobuses Eléctricos en el Sistema de Transporte Urbano de la Ciudad de Ambato* (Revista politecnica Vol. 42). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Ambato, Ecuador.

# ANEXOS

## Anexo1: Características técnicas del autobús eléctrico.



Tabla 5.13: Anexo Especificaciones Técnicas BYD K9G Fuente: Empresa BYD

<b>Especificaciones Técnicas BYD K9G</b>		
<b>DATOS DEL PRODUCTO</b>		
Marca	BYD	
Modelo	K9G	
Tipo	Bus Urbano	
Categoría [clase]	M3 (Clase II)	
Combustible	Electricidad	
<b>MOTOR</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Tipo de motor	AC sincrónico de imanes permanentes	
Familia y Modelo	BYD-2912TZ-XY-A	
Potencia máxima	150KW x 2 (201 HP x 2)	
Torque	550 Nm x 2	
Autonomía	300 Km	
Velocidad máxima [Km/h]	80 Km/h	
<b>DIMENSIONES EXTERNAS</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Longitud total [mm]	12540 mm	
Ancho total [mm]	2550 mm	
Alto total [mm]	3411 mm	
Distancia entre ejes [mm]	6150 mm	



Voladizo delantero [mm]	2700 mm	
Voladizo posterior [mm]	3690 mm	
Trocha eje delantero [mm]	2110 mm	
Trocha eje posterior [mm]	1904 mm	
Ángulo de aproximación	8.5	
Ángulo de salida	8.5	
Altura mínima del suelo [mm]	153 mm	
Radio de giro [mm]	12000 mm	
<b>PESOS Y CAPACIDADES</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Peso bruto vehicular [PBV] [kg]	19500 kg	19500 kg
Peso en vacío [kg]	13850 kg	14130 kg
Capacidad de carga [kg]	5650 kg	5370 kg
Economía de combustible [km/KWh]	0.93 km/KWh	
Capacidad de pasajeros, de pie y sentados [incluye chofer]	De pie: 49 Sentados: 31 +1chofer	De pie: 44 Sentados: 31 +1chofer
Área útil disponible para pasajeros de pie [m2]	8 m2	
<b>TRANSMISIÓN</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Marca	BYD	
Modelo	K9G	
Tipo	Motor en llanta sin caja de cambios	
No. de marchas	3, Drive, Neutro y Retro	
Tracción	4 x 2 trasera	
<b>SUSPENSIÓN</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Delantera	Suspensión neumática de cuatro enlaces	
Posterior	Suspensión neumática de cuatro enlaces	
<b>DIRECCIÓN</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Descripción sistema	Sistema de dirección asistida hidráulica controlada electrónicamente	
<b>FRENOS</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Delanteros	Descripción	
Marca	Knorr	
Tipo de Accionamiento	Freno de disco, freno neumático	
Posteriores	Descripción	
Marca	Knorr	
Tipo de Accionamiento	Freno de disco, freno neumático	
Posteriores	Descripción	
Marca	Knorr	
Tipo de Accionamiento	Freno de resorte	
<b>SISTEMA ESPECIALES</b>	<b>K9G-S</b>	<b>K9G-I</b>
Ascensor para silla de ruedas	NO	SI

## Anexo2: Guía del uso del programa Power Log para análisis de las variables eléctricas del autobús.

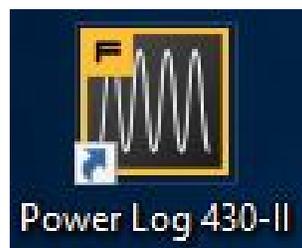
Para el estudio técnico de los valores nominales de las características técnicas del autobús, fue necesario el uso de softwares como Excel, Matlab y Power Log del instrumento FLUKE para poder analizarlas; por lo que en este anexo se muestra una guía para el uso del programa Power Log.

### ■ Paso 1:

En primera instancia colocamos el instrumento de medición FLUKE a la entrada de uno de los motores el cual se encargará de tomar todos los datos.

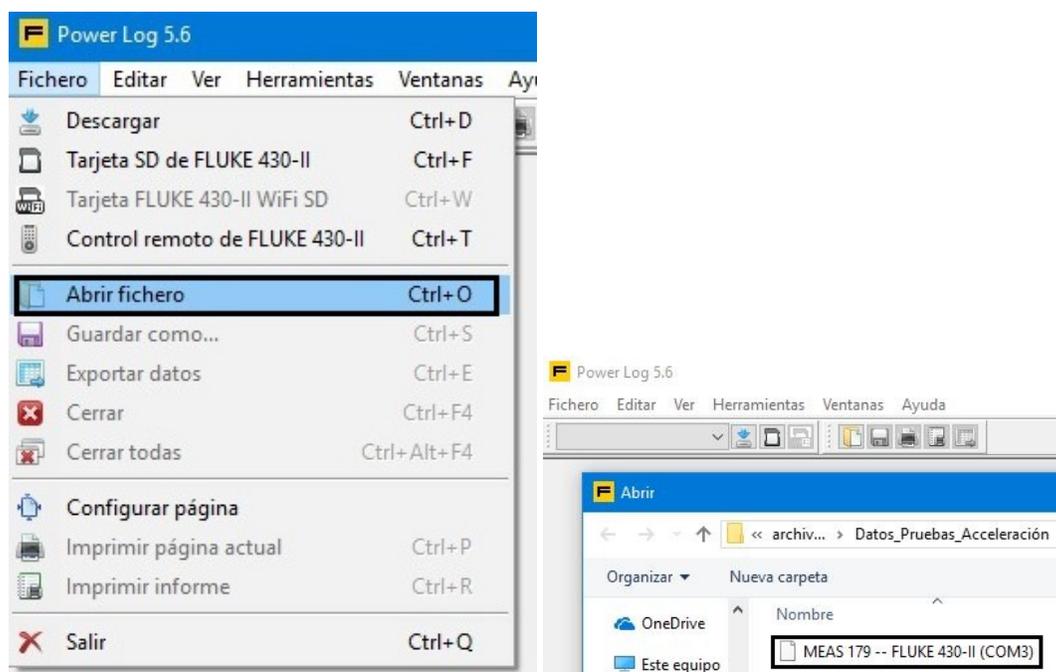
### ■ Paso 2:

Una vez se tenga el archivo con todos los datos necesarios vamos a dirigirnos a instalar el programa Power Log necesario para leer dicho archivo.



### ■ Paso 3:

Abrimos la ventana de inicio del programa y nos dirigimos a buscar el archivo con los datos a ser analizados.





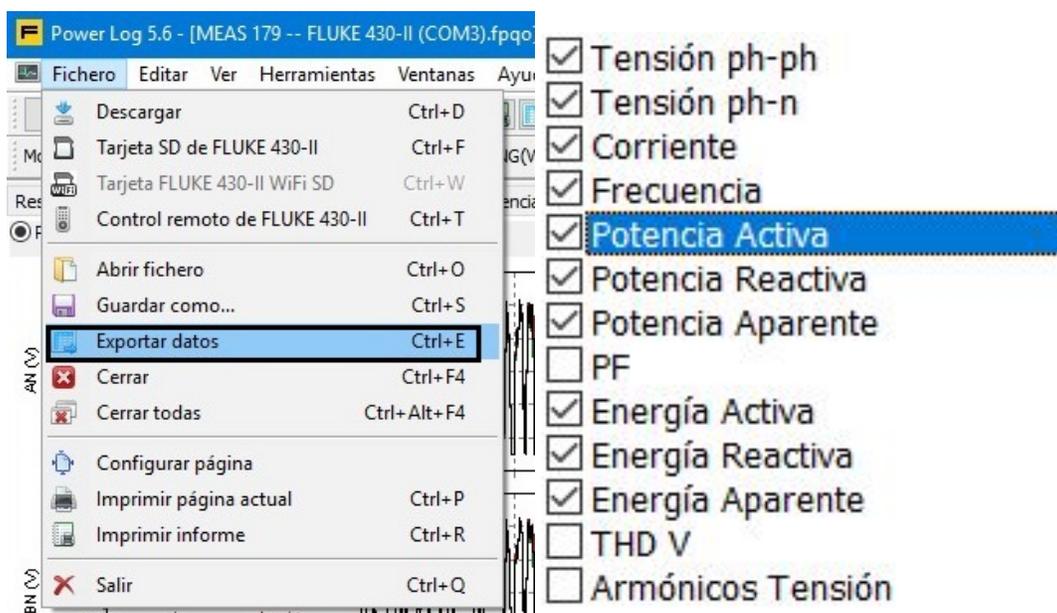
■ **Paso 4:**

Una vez cargados todos los datos en el programa Power Log utilizamos cada una de los ítems para analizar las curvas.



■ **Paso 5:**

Exportamos los datos necesarios para transformar el archivo (.fpqo) a formato (.xlsx) que pueda leer el software Matlab.



■ **Paso 6:**

Por ultimo abrimos el ítem de resumen, tabla y estadísticas para ver los valores más destacados que poseen las curvas tomadas.



**NOTA:** Las variables que fueron analizadas a través de este programa del FLUKE son: Voltajes, Corrientes, Potencia y Energía.



## Anexo3: Código Matlab para análisis de las variables eléctricas del autobús.

```
%TESIS
%Análisis variables electricas del autobús eléctrico K9G
%Autores: Edison Carchi; Darwin Peñafiel
%Director: Ing. Luis González
%03/12/2018
clc;
clear;
close all;
format long;

hora= xlsread('archivo2','A1080:A17642');
%-----Voltaje ph-n-----
D= xlsread('archivo2','E1080:E17642');
H= xlsread('archivo2','I1080:I17642');
L= xlsread('archivo2','M1080:M17642');
P= xlsread('archivo2','Q1080:Q17642');
%-----Voltaje ph-ph-----
T= xlsread('archivo2','U1080:U17642');
X= xlsread('archivo2','Y1080:Y17642');
AB= xlsread('archivo2','AC1080:AC17642');
%-----Corriente-----
AF= xlsread('archivo2','AG1080:AG17642');
AJ= xlsread('archivo2','AK1080:AK17642');
AN= xlsread('archivo2','AO1080:AO17642');
%-----Potencia-----
AV= xlsread('archivo2','AW1080:AW17642');
AZ= xlsread('archivo2','BA1080:BA17642');
BP= xlsread('archivo2','BQ1080:BQ17642');
%-----Energia Activa-----
BX= xlsread('archivo2','BY1080:BY17642');
CB= xlsread('archivo2','CC1080:CC17642');
CF= xlsread('archivo2','CG1080:CG17642');
CJ= xlsread('archivo2','CK1080:CK17642');
%-----Energia Reactiva-----
CN= xlsread('archivo2','CO1080:CO17642');
CR= xlsread('archivo2','CS1080:CS17642');
CV= xlsread('archivo2','CW1080:CW17642');
CZ= xlsread('archivo2','DA1080:DA17642');
%-----Energia Aparente-----
DD= xlsread('archivo2','DE1080:DE17642');
DH= xlsread('archivo2','DI1080:DI17642');
```



```
DL= xlsread('archivo2','DM1080:DM17642');  
DP= xlsread('archivo2','DQ1080:DQ17642');
```

```
%—————Voltaje ph-n—————
```

```
f1 = figure;  
subplot(4,1,1)  
plot(hora,D,'r-')  
grid on  
legend('Vrms ph-n An')  
ylabel('An(V)')  
datetick('x','HH:MM:SS','kepticks')  
subplot(4,1,2)  
plot(hora,H,'b-')  
grid on  
legend('Vrms ph-n Bn')  
ylabel('Bn(V)')  
datetick('x','HH:MM:SS','kepticks')  
subplot(4,1,3)  
plot(hora,L,'c-')  
grid on  
legend('Vrms ph-n Cn')  
ylabel('Cn(V)')  
datetick('x','HH:MM:SS','kepticks')  
subplot(4,1,4)  
plot(hora,P,'m-')  
grid on  
legend('Vrms ph-n NG')  
xlabel('Tiempo(H)')  
ylabel('NG(V)')  
datetick('x','HH:MM:SS','kepticks')
```

```
%—————Voltaje ph-ph—————
```

```
f2 = figure;  
subplot(3,1,1)  
plot(hora,T,'r-')  
grid on  
legend('Vrms ph-ph AB')  
ylabel('AB(V)')  
datetick('x','HH:MM:SS','kepticks')  
subplot(3,1,2)  
plot(hora,X,'b-')  
grid on  
legend('Vrms ph-ph BC')  
ylabel('BC(V)')  
datetick('x','HH:MM:SS','kepticks')
```



```
subplot(3,1,3)
plot(hora,AB,'c-')
grid on
legend('Vrms ph-ph CA')
xlabel('Tiempo(H)')
ylabel('CA(V)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
```

*%-----Corriente-----*

```
f3 = figure;
subplot(3,1,1)
plot(hora,AF,'r-')
grid on
legend('Corriente A')
ylabel('A(Amp)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(3,1,2)
plot(hora,AJ,'b-')
grid on
legend('Corriente B')
ylabel('B(Amp)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(3,1,3)
plot(hora,AN,'c-')
grid on
legend('Corriente C')
xlabel('Tiempo(H)')
ylabel('C(Amp)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
```

*%-----Potencia-----*

```
f4 = figure;
subplot(3,1,1)
plot(hora,AV,'r-')
grid on
legend('Potencia Activa Total')
ylabel('P(W)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(3,1,3)
plot(hora,AZ,'b-')
grid on
legend('Potencia Aparente Total')
ylabel('S(VA)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(3,1,2)
```



```
plot(hora,BP,'c-')
grid on
legend('Potencia Reactiva Total')
xlabel('Tiempo(H)')
ylabel('Q(VAR)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
```

*%————Energia Activa————*

```
f5 = figure;
subplot(4,1,1)
plot(hora,BX,'r-')
grid on
legend('Energia Activa AB')
ylabel('AB(Wh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,2)
plot(hora,CB,'b-')
grid on
legend('Energia Activa BC')
ylabel('BC(Wh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,3)
plot(hora,CF,'c-')
grid on
legend('Energia Activa CA')
ylabel('CA(Wh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,4)
plot(hora,CJ,'m-')
grid on
legend('Energia Activa Total')
xlabel('Tiempo(H)')
ylabel('TOTAL(Wh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
```

*%————Energia Reactiva————*

```
f6 = figure;
subplot(4,1,1)
plot(hora,CN,'r-')
grid on
legend('Energia Reactiva AB')
ylabel('AB(VARh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,2)
plot(hora,CR,'b-')
```



```
grid on
legend('Energia Reactiva BC')
ylabel('BC(VARh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,3)
plot(hora,CV,'c-')
grid on
legend('Energia Reactiva CA')
ylabel('CA(VARh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,4)
plot(hora,CZ,'m-')
grid on
legend('Energia Reactiva Total')
xlabel('Tiempo(H)')
ylabel('TOTAL(VARh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')

%————Energia Aparente————
f7 = figure;
subplot(4,1,1)
plot(hora,DD,'r-')
grid on
legend('Energia Aparente AB')
ylabel('AB(VAh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,2)
plot(hora,DH,'b-')
grid on
legend('Energia Aparente BC')
ylabel('BC(VAh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,3)
plot(hora,DL,'c-')
grid on
legend('Energia Aparente CA')
ylabel('CA(VAh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
subplot(4,1,4)
plot(hora,DP,'m-')
grid on
legend('Energia Aparente Total')
xlabel('Tiempo(H)')
ylabel('TOTAL(VAh)')
datetick('x', 'HH:MM:SS', 'kepticks')
```



## Anexo4: Código análisis frenado regenerativo del autobús eléctrico K9G

```
%TESIS
%Análisis frenado regenerativo del autobús eléctrico K9G
%Autores: Edison Carchi; Darwin Peñafiel
%Director: Ing. Luis González
%03/12/2018
clc;
clear;
close all;
format long;

hora= xlsread('archivo2','A1080:A17642');
%-----Potencia-----
AV= xlsread('archivo2','AW1080:AW17642');
z1=max(AV,0);
z2=max(-AV,0);
%-----Potencia-----
f4 = figure;
plot(hora,AV,'m-')
grid on
legend('Potencia Activa Total')
ylabel('P(W)')
xlabel('Tiempo(H)')
datetick('x','HH:MM:SS','keepticks')
%-----Para el Area bajo la curva-----
trapez(hora,AV)
trapez(hora,z1)
trapez(hora,z2)
```



## Anexo5: Código Matlab para análisis de la energía suministrada por la red.

```
%TESIS
%Análisis de energía suministrada por la red
%Autores: Edison Carchi; Darwin Peñafiel
%Director: Ing. Luis González

clc;
clear;
close all;
format long;

hora= xlsread('consumo','A1:A418601');
baterias= xlsread('consumo','C1:C418601');
red= xlsread('consumo','D1:D418601');
carga= xlsread('consumo','E1:E418601');
dia1= xlsread('consumo','I1:I418601');
dia2= xlsread('consumo','J1:J418601');
dia3= xlsread('consumo','K1:K418601');
dia4= xlsread('consumo','L1:L418601');

%—————Figura1—————
f1 = figure;
hold on
grid on
plot(hora,red,'r-')
plot(hora,baterias,'m-')
plot(hora,carga,'b-')
plot(dia1,red,'k:')
plot(dia2,red,'k:')
plot(dia3,red,'k:')
plot(dia4,red,'k:')
legend('Energía Suministrada por la red','Energía Suministrada por las baterías','Carga de
Autobús')
hold off
title ('Energía Eléctrica de Laboratorio de Balzay')
xlabel('Tiempo(H)')
ylabel('Energía (KWh)')
gtext('lunes')
gtext('martes')
gtext('miercoles')
gtext('jueves')
gtext('viernes')
```



`%-----Figura2-----`

```
f2 = figure;  
subplot(3,1,1)  
plot(hora,red,'r-')  
grid on  
legend('Energía Suministrada por la red')  
ylabel('Energía (KWh)')  
subplot(3,1,2)  
plot(hora,baterias,'m-')  
grid on  
legend('Energía Suministrada por las baterías')  
ylabel('Energía (KWh)')  
subplot(3,1,3)  
plot(hora,carga,'b-')  
grid on  
legend('Carga de Autobús')  
xlabel('Tiempo(H)')  
ylabel('Energía (KWh)')
```

## Anexo6: Programa Q Travel para la obtención de los datos del GPS

Para el estudio de las rutas y las características técnicas del autobús, fue necesario el uso de softwares como Excel, Matlab; por lo que en este anexo se muestra una guía para el uso del programa Q Travel.

### ■ Paso 1:

En primera instancia conectamos el GPS para extraer los datos del recorrido.

### ■ Paso 2:

Una vez extraídos los datos del GPS nos dirigimos al programa Q Travel.



### ■ Paso 3:

Abrimos la ventana de inicio del programa y nos dirigimos a buscar el archivo con los datos a del GPS.

Nombre	Fecha de Inicializac...	tipo
buslinea100	9/3/2019 14:40	QTravel Pr
linea1b	19/3/2019 21:13	QTravel Pr
linea5	20/3/2019 22:22	QTravel Pr
linea24	24/4/2019 21:08	QTravel Pr
linea100	18/3/2019 18:52	QTravel Pr
p	8/3/2019 22:04	QTravel Pr

### ■ Paso 4:

Análisis de los datos obtenidos durante el recorrido del autobús eléctrico.





## Anexo7: Código matlab para la construcción de las rutas recorridas por los autobuses

```
%TESIS
%Análisis de consumo energético del autobús eléctrico K9G
%Autores: Edison Carchi; Darwin Peñafiel
%Director: Ing. Luis González

clc;
clear;
close all;
format long;

lat=-xlsread('Ruta_100_14_02_2019.xlsx','Hoja1','H2:H47478');
long=-xlsread('Ruta_100_14_02_2019.xlsx','Hoja1','J2:J47478');
vel=xlsread('Ruta_100_14_02_2019.xlsx','Hoja1','M2:M47478');
altitud=xlsread('Ruta_100_14_02_2019.xlsx','Hoja1','L2:L47478');
hora=1.*xlsread('Ruta_100_14_02_2019.xlsx','Hoja1','G2:G47478');
api_key=['AIzaSyDCILJo8Z7vapfQlqYLPc7ql8GtNC8Rqz8'];
plot_google_map('APIKey','AIzaSyDCILJo8Z7vapfQlqYLPc7ql8GtNC8Rqz8');
figure(1)
clf
plot(long,lat,'r','MarkerSize',10);
hold on
plot_google_map
title('Ruta del Recorrido');
ylabel('Latitud [°decimales]');
xlabel('Longitud [°decimales]');

figure(2)
yyaxis right
plot(hora,altitud);
xlabel('Time [h]');
ylabel('Altitude [msnm]');
hold on;
yyaxis left
plot(hora,vel);
ylabel('Speed [km/h]');
grid on;

figure(2)
yyaxis right
plot(hora,altitud);
xlabel('Time [h]');
```



```
ylabel('Altitude [msnm]');
hold on;
yyaxis left
plot(hora,vel);
ylabel('Speed [km/h]');
len=length(hora);
SOC(1)=100;
for n=2:len

    if (altitud(n)-altitud(n-1))>0
    if (vel(n)-vel(n-1))>0
    DSOC=-((vel(n)-vel(n-1))*(altitud(n)-altitud(n-1)));
    end
    if (vel(n)-vel(n-1))<0
    DSOC=-0.1*(vel(n)-vel(n-1))*(altitud(n)-altitud(n-1));
    end
    end

    if (altitud(n)-altitud(n-1))<0
    if (vel(n)-vel(n-1))>0
    DSOC=0.8*(vel(n)-vel(n-1))*(altitud(n)-altitud(n-1));
    end
    if (vel(n)-vel(n-1))<0
    DSOC=0.6*(vel(n)-vel(n-1))*(altitud(n)-altitud(n-1))
    end
    end

    SOC(n)=SOC(n-1)+0.01233*DSOC;
end

figure(3)
plot(hora,SOC);
grid on;
figure(4)
yyaxis right
plot(hora,altitud);
xlabel('Time [h]');
ylabel('Altitude [msnm]');
hold on;
yyaxis left
plot(hora,vel);
hold on;
plot(hora,SOC,'r');
ylabel('Speed [km/h]');
grid on;
```



## Anexo8: Rutas comerciales en la Ciudad de Cuenca

<b>Rutas comerciales en la ciudad de Cuenca</b>		
<b>Línea</b>	<b>Ruta</b>	<b>Número de Paradas</b>
<b>COMTRANUTOME</b>		
15	Monay - Feria Libre	52
19	Visorrey - Tennis Club	46
22	Salesianos - UDA	45
28	Capulispamba - Feria Libre	40
	Hospital del IEES - Mall del Rio	43
	Hospital del Rio - Tejar	44
<b>SIT</b>		
100	Baños - Ricaute	52
101	Terminal - Yanaturo	13
102	Terminal - Eucaliptos	21
	El Arenal - Lirio	28
<b>UNCOMETRO</b>		
7	Los Trigales - Mall del Rio	54
26	Checa - Mercado 27 de Febrero	53
Línea 10	Paluncay - Florida	69
<b>TURISMO BAÑOS</b>		
2	Arenal Alto - Totoracocha	47
25	Santa María – Jaime Roldos	55
27	Baños - Sinincay	72
<b>URBA 10</b>		
6	Mayancela – Tomas Ordoñez	31
17	5 Esquinas – 10 de Agosto	26
18	Zhucay - Graiman	40
<b>COMCUETU</b>		
3	Sayausi - Eucaliptos	56
8	Trigales – San Jaquin	50
14	El Valle – Feria Libre	40
24	Auquilula – Cruce del Carmen	70
<b>RICAUTESA</b>		
12	Baños – Quinta Chica	58
50	Monay - Balsay	47
<b>LANCOMTRI</b>		
16	Mutualista Azuay - Monay	42
20	Mutualista Azuay - Kennedy	58
Línea 5	Los Andes – El Salado	44
NULTI	Nulti - Cuenca	30