



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **Viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema de transporte urbano en el cantón Riobamba**

**CARLOS DARÍO ALBÁN GUERRERO**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN TRANSPORTE Y LOGÍSTICA**

Riobamba – Ecuador

Julio 2022

**©2022, Carlos Darío Albán Guerrero**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICACIÓN:**

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado: **Viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema de transporte urbano en el cantón Riobamba**, de responsabilidad del señor **CARLOS DARÍO ALBÁN GUERRERO**, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida, Ph.D

**PRESIDENTE**

 firmado y certificado por:  
**LUIS EDUARDO  
HIDALGO  
ALMEIDA**

---

**FIRMA**

Ing. Celín Abad Padilla Padilla, Mag.

**DIRECTOR**

 firmado y certificado por:  
**CELIN ABAD  
PADILLA**

---

**FIRMA**

Ing. José Luis Llamuca Llamuca, Mag.

**MIEMBRO**

 firmado y certificado por:  
**JOSE LUIS  
LLAMUCA**

---

**FIRMA**

Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso, Mag

**MIEMBRO**

 firmado y certificado por:  
**JUAN CARLOS  
CASTELO  
VALDIVIESO**

---

**FIRMA**

Riobamba, julio 2022

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Carlos Darío Albán Guerrero, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Ing. Carlos Darío Albán Guerrero**

**C.C. 0604346775**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Carlos Darío Albán Guerrero, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

---

**Ing. Carlos Darío Albán Guerrero**

**C.C. 0604346775**

## **DEDICATORIA**

Este presente trabajo quiero dedicar en primer lugar a Dios por haberme dado vida y fortaleza para derribar los obstáculos presentados en mi vida, de igual manera dedicar a mi familia; a mi esposa Paola que ha sido un pilar fundamental para alcanzar esta meta, a mis hijos Carlitos y Paulita que fueron mi motivación, inspiración y fortaleza, mis padres Edictor y María por su apoyo incondicional en todo este proceso, a mis sobrinos Danielito, Isaac y Josecito que con sus ocurrencias me alegraban la vida en esos momentos difíciles, a mis suegros Mario y Gloria por su aprecio y apoyo incondicional, a toda mi familia muchas gracias desde el fondo de mi corazón.

*Carlos*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer a Dios por bendecirme con la vida y la salud, y así cumplir una meta profesional más, mi familia que ha sido mi apoyo en este proceso

También Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial al IPEC que por medio de sus docentes me brindaron la oportunidad de crecer como profesional y así escalar un nivel mas

*Carlos*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvii
SUMMARY .....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Situación problemática.....	3
1.1.1. <i>Planteamiento del problema</i> .....	3
1.1.2. <i>Formulación del problema</i> .....	4
1.1.3. <i>Sistematización del problema</i> .....	4
1.2. Justificación de la investigación .....	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	5
1.3.1. <i>Objetivo General</i> .....	5
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.4. Hipótesis .....	6
1.4.1. <i>Hipótesis General</i> .....	6
1.4.2. <i>Hipótesis específicas</i> .....	6
1.5. Variables.....	6
1.5.1. <i>Variable dependiente</i> .....	6
1.5.2. <i>Variable independiente</i> .....	7

### CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA.....	8
2.1. Antecedentes.....	8
2.2. Bases teóricas .....	9
2.2.1. <i>Movilidad</i> .....	9
2.2.2. <i>Transporte Público</i> .....	9
2.2.3. <i>Componentes físicos de los sistemas de transporte público</i> .....	9
2.2.4. <i>Transporte público urbano</i> .....	10
2.2.4.1. <i>Autobús</i> .....	10
2.2.4.2. <i>Dimensiones</i> .....	10
2.2.5. <i>Planificación de un sistema de transporte público urbano</i> .....	10

<b>2.2.6. Parámetros operacionales del transporte urbano</b> .....	11
2.2.6.1. <i>Numero de vehículo por hora</i> .....	11
2.2.6.2. <i>Número de pasajeros por unidad</i> .....	12
2.2.6.3. <i>Kilómetros recorridos</i> .....	12
2.2.6.4. <i>Tiempo de terminal</i> .....	12
2.2.6.5. <i>Tiempo de Recorrido</i> .....	12
2.2.6.6. <i>Velocidad de operación</i> .....	12
2.2.6.7. <i>Consumo de combustible</i> .....	13
2.2.6.8. <i>Kilómetros muertos</i> .....	13
2.2.6.9. <i>Costos Operacionales</i> .....	13
<b>2.2.7. Infraestructura para la operación del transporte público</b> .....	14
2.2.7.1. <i>Paradas</i> .....	14
2.2.7.2. <i>Estaciones y terminales</i> .....	14
2.2.7.3. <i>Infraestructura vial</i> .....	14
<b>2.2.8. Movilidad Sostenible</b> .....	15
<b>2.2.9. Movilidad eléctrica</b> .....	16
<b>2.2.10. Evolución de los buses eléctricos</b> .....	16
<b>2.2.11. Bus eléctrico</b> .....	17
<b>2.2.12. Partes Principales</b> .....	17
2.2.12.1. <i>Batería</i> .....	18
2.2.12.2. <i>Motor eléctrico</i> .....	19
2.2.12.3. <i>Controlador</i> .....	20
2.2.12.4. <i>Transformador</i> .....	21
2.2.12.5. <i>Convertor</i> .....	21
2.2.12.6. <i>Sistemas auxiliares</i> .....	21
<b>2.2.13. Funcionamiento del bus eléctrico</b> .....	21
<b>2.2.14. Demanda del autobús eléctrico</b> .....	22
<b>2.2.15. Centros de carga</b> .....	22
2.2.15.1. <i>Puntos de recarga</i> .....	23
<b>2.2.16. Formas de carga y tipos de cargadores</b> .....	23
2.2.16.1. <i>Cargador tipo plug-in</i> .....	24
2.2.16.2. <i>Cargador tipo pantógrafo</i> .....	24
2.2.16.3. <i>Cargador por inducción</i> .....	25
<b>2.2.17. Determinación de las prestaciones del vehículo eléctrico</b> .....	25
2.2.17.1. <i>Potencia del motor útil y pérdidas de tracción</i> .....	26
2.2.17.2. <i>Resistencia a la rodadura</i> .....	27
2.2.17.3. <i>Resistencia Aerodinámica</i> .....	27

2.2.17.4. Resistencia a la pendiente .....	27
2.2.17.5. Fuerza de aceleración .....	28
2.2.17.6. Fuerza total de tracción .....	28
2.2.17.7. En términos de potencia .....	28
2.2.17.8. Autonomía del vehículo eléctrico .....	28
2.2.18. <b>Bus eléctrico en el mundo</b> .....	29
2.2.18.1. Electromovilidad en Asia-China.....	29
2.2.18.2. Electromovilidad en Europa-Alemania .....	30
2.2.18.3. Electromovilidad en Latinoamérica - Bogotá .....	32
2.2.18.4. Electromovilidad en Ecuador .....	34
2.2.18.5. Incidencia de los buses eléctricos.....	36
2.2.19. Comparación y elección del mejor bus eléctrico.....	41
2.3. <b>Marco conceptual</b> .....	42
2.3.1. <b>Movilidad eléctrica</b> .....	42
2.3.2. <b>Movilidad urbana</b> .....	42
2.3.3. <b>Bus Urbano:</b> .....	42
2.3.4. <b>Congestión vehicular</b> .....	42
2.3.5. <b>Seguridad vial</b> .....	42
2.3.6. <b>Rutas</b> .....	43
2.3.7. <b>Frecuencia</b> .....	43
2.3.8. <b>Cobertura</b> .....	43

### CAPÍTULO III

3. <b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	44
3.1. <b>Modalidad</b> .....	44
3.2. <b>Tipos</b> .....	44
3.3. <b>Métodos técnicas e instrumentos</b> .....	45
3.3.1. <b>Métodos</b> .....	45
3.3.1.1. <b>Método Deductivo</b> .....	45
3.3.1.2. <b>Método Analítico</b> .....	45
3.3.1.3. <b>Método sintético</b> .....	46
3.3.2. <b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	46
3.3.3. <b>Instrumentos de recolección de datos</b> .....	46
3.3.4. <b>Metodología de recolección de datos</b> .....	47
3.4. <b>Enfoque de la investigación</b> .....	47
3.4.1. <b>Enfoque Cuantitativo</b> .....	47

3.4.2.	<i>Enfoque Cualitativo</i> .....	47
3.5.	<b>Alcance Investigativo</b> .....	48
3.6.	<b>Población y muestra</b> .....	48
3.6.1.	<i>Población de estudio</i> .....	48
3.6.2.	<i>Selección de la muestra</i> .....	48
3.6.3.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	48
3.7.	<b>Unidad de Análisis</b> .....	48

## CAPÍTULO IV

4.	<b>EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA</b> .....	49
4.1.	<b>Análisis de resultados parámetros operacionales</b> .....	49
4.1.1.	<i>Operadoras de transporte público</i> .....	49
4.1.2.	<i>Líneas del sistema de transporte público urbano</i> .....	49
4.1.3.	<i>Operación del sistema de transporte público</i> .....	50
4.1.4.	<i>Distancia recorrida, Número de ciclos diarios y pasajeros línea de transporte</i> .....	52
4.1.5.	<i>Velocidad operacional del servicio de transporte público</i> .....	53
4.1.6.	<i>Infraestructura vial</i> .....	53
4.2.	<b>Interpretación de la ficha de observación</b> .....	59
4.3.	<b>Línea 1. Santa Ana-Bellavista</b> .....	59
4.4.	<b>Línea 2. 24 de Mayo-Bellavista</b> .....	59
4.5.	<b>Línea 3. Santa Anita-Camal-Mayorista</b> .....	60
4.6.	<b>Línea 4. Licán Bellavista</b> .....	60
4.7.	<b>Línea 5. Corona Real-Bellavista</b> .....	61
4.8.	<b>Línea 6. Miraflores-Bellavista</b> .....	61
4.9.	<b>Línea 7. Inmaculada-El Rosal</b> .....	62
4.10.	<b>Línea 8. Yaruquies-las Abras</b> .....	62
4.11.	<b>Línea 9. Mercado Mayorista-Los Pinos-Lican</b> .....	63
4.12.	<b>Línea 10. Los Pinos-San Antonio</b> .....	64
4.13.	<b>Línea 11. Terminal Interparroquial-Mayorista</b> .....	64
4.14.	<b>Línea 12. San Gerardo-Batan</b> .....	65
4.15.	<b>Línea 13. Sixto Duran-San Miguel de Tapi</b> .....	65
4.16.	<b>Línea 14. Libertad-San Miguel de Tapi</b> .....	66
4.17.	<b>Línea 15. Licán-ESPOCH-UNACH</b> .....	66
4.18.	<b>Línea 16. Calpi-La Paz</b> .....	67

## CAPÍTULO V

<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA</b> .....	68
<b>5.1.</b>	<b>Viabilidad técnica del bus eléctrico</b> .....	68
<b>5.1.1.</b>	<i>Parámetros operacionales para el funcionamiento del bus eléctrico en el transporte público urbano</i> .....	68
<b>5.1.2.</b>	<i>Determinación de las características del bus eléctrico</i> .....	71
<b>5.1.3.</b>	<i>Potencia necesaria del motor eléctrico</i> .....	71
<b>5.1.3.1.</b>	<i>Autonomía y tipo de batería del bus eléctrico</i> .....	71
<b>5.1.3.2.</b>	<i>Criterios generales</i> .....	71
<b>5.2.</b>	<b>Impacto de la implementación del bus eléctrico en comparación otras ciudades</b> .74	
<b>5.2.1.</b>	<i>En Ciudades del Mundo</i> .....	74
<b>5.2.2.</b>	<i>En Ciudades del Ecuador</i> .....	75
<b>5.2.2.1.</b>	<i>Guayaquil</i> .....	75
<b>5.2.2.2.</b>	<i>Cuenca</i> .....	76
<b>5.3.</b>	<b>Impacto Económico y ambiental por la implementación de buses eléctricos en el sistema de transporte público urbano</b> .....	76
<b>5.3.1.</b>	<i>Impacto económico en la implementación de Buses eléctricos en el transporte público urbano del cantón Riobamba</i> .....	76
<b>5.3.1.1.</b>	<i>Costos de adquisición de un bus eléctrico frente a un bus a diésel</i> .....	77
<b>5.3.1.2.</b>	<i>Costos de mantenimiento de un bus eléctrico frente a un bus a diésel</i> .....	77
<b>5.3.1.3.</b>	<i>Costos de operación y consumo energético</i> .....	78
<b>5.4.</b>	<b>Impacto ambiental por la implementación de buses eléctricos en el sistema de transporte público urbano</b> .....	78
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	80
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	81
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Costos de operación .....	13
<b>Tabla 2-2:</b>	Tipo de baterías y especificaciones técnicas .....	19
<b>Tabla 3-2:</b>	Formas de carga .....	24
<b>Tabla 4-2:</b>	Ventajas y desventajas del cargador tipo plug-in.....	24
<b>Tabla 5-2:</b>	Ventajas y desventajas cargador tipo Pantógrafo .....	25
<b>Tabla 6-2:</b>	Ventajas y desventajas cargador por inducción .....	25
<b>Tabla 7-2:</b>	Historial de acciones relacionadas nuevas tecnologías en autobuses en Bogotá .	33
<b>Tabla 8-2:</b>	Resumen de resultados del escenario base de proyectos de sustitución Bogotá..	34
<b>Tabla 9-2:</b>	Tabla de exoneración al impuesto ICE para vehículos eléctricos en Ecuador.....	35
<b>Tabla 10-2:</b>	Precio de carga de vehículos 100% eléctricos .....	35
<b>Tabla 11-2:</b>	Tamaño del transformador según el tipo de carga .....	37
<b>Tabla 12-2:</b>	Consumo de energía promedio de un bus eléctrico .....	37
<b>Tabla 13-2:</b>	Emisión y ahorro (t) de CO2 en los distintos países .....	39
<b>Tabla 14-2:</b>	Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero en la implantación de autobuses eléctricos en América Latina.....	39
<b>Tabla 15-2:</b>	Resultados del proyecto de e-buses por metas en Quito .....	41
<b>Tabla 1-4:</b>	Número de Unidades por operadora de transporte público.....	49
<b>Tabla 2-4:</b>	Número de unidades por línea en base al contrato de operación .....	50
<b>Tabla 3-4:</b>	Operación por línea de transporte .....	51
<b>Tabla 4-4:</b>	Indicadores de parámetros de operación.....	52
<b>Tabla 5-4:</b>	Velocidad operacional .....	53
<b>Tabla 6-4:</b>	Agrupación de las líneas .....	54
<b>Tabla 7-4:</b>	Grupo 1, 2, 3 .....	55
<b>Tabla 8-4:</b>	Grupo 4, 5, 6 .....	56
<b>Tabla 9-4:</b>	Grupo 7, 8, 9 .....	57
<b>Tabla 10-4:</b>	Grupo 10 .....	58
<b>Tabla 1-5:</b>	Parámetros operacionales para la evaluación.....	70
<b>Tabla 2-5:</b>	Características técnicas del bus eléctrico .....	72
<b>Tabla 3-5:</b>	Cargadores individuales para buses eléctricos en el mercado ecuatoriano.....	73
<b>Tabla 4-5:</b>	Resultado del auto bus eléctrico Guayaquil.....	76
<b>Tabla 5-5:</b>	Características operacionales del bus eléctrico Cuenca.....	76
<b>Tabla 6-5:</b>	Valores de mantenimiento entre bus eléctrico y un bus a diésel.....	77
<b>Tabla 7-5:</b>	Costos de operación y consumo energético .....	78
<b>Tabla 8-5:</b>	Costos de consumo energético en las líneas de transporte por día .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Datos estadísticos de la empresa BVG .....	31
<b>Figura 2-2:</b> Rutas del sistema de transporte urbano de Berlín .....	31

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Características de los buses eléctricos .....	17
<b>Gráfico 2-2:</b>	Estructura de un bus eléctrico .....	17
<b>Gráfico 3-2:</b>	Curvas características de un motor eléctrico .....	20
<b>Gráfico 4-2:</b>	Configuración del sistema de tracción del bus eléctrico .....	22
<b>Gráfico 5-2:</b>	Demanda de los autobuses eléctricos .....	22
<b>Gráfico 6-2:</b>	Capacidad eléctrica instalada según fuente de generación de energía en América Latina.....	38

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** FICHA DE OBSERVACIÓN

**ANEXO B:** ANÁLISIS DE PORCENTAJES DE PENDIENTES MÁXIMAS EN CADA RUTA

## RESUMEN

El objetivo fue determinar la viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema del transporte urbano en el cantón Riobamba. Se realizó una investigación documental donde se revisó estudios realizados al sistema de transporte urbano del cantón Riobamba y se obtuvieron datos de ciertos parámetros operacionales, se analizó la implementación de buses eléctricos en otras ciudades del mundo en busca de una movilidad sostenible y reducción considerable de gases efecto invernadero para obtener parámetros iniciales de investigación, se realizó un estudio de campo para determinar el estado de la infraestructura vial y del sistema de transporte urbano, y la investigación descriptiva la cual representa los datos obtenidos en las investigaciones anteriores para exponer realizando una comparación entre beneficios y perjuicios. Se determina las características técnicas que debe tener el bus eléctrico para su funcionamiento óptimo en este sistema de transporte, con los parámetros operacionales determinados, considerando los valores más críticos de las 16 rutas que se identifican como población y muestra del estudio. De esta manera el bus eléctrico podrá funcionar técnicamente sin problemas. El impacto económico es alto, debido al alto precio que tiene la adquisición de un bus eléctrico que es \$419500 en comparación con bus diésel \$132000 en lo concerniente a los mantenimientos y consumos de energías es más económico el bus a diésel pero su recuperación en comparación al precio es bien amplia. El impacto ambiental es que el Ecuador no cuenta con empresas fabricantes las cuales puedan reciclar las baterías y puedan ser reutilizadas sin dejar a un lado las toneladas de gases efecto invernadero que se ahorrarán al año por la utilización de este tipo de transporte.

**Palabras clave:** <MOVILIDAD SOSTENIBLE>, <VIABILIDAD TÉCNICA>, <TRANSPORTE URBANO>, <BUS ELÉCTRICO>, <PARÁMETROS OPERACIONALES>.

**LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**

Firmado digitalmente  
por LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
DN: cn=LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
o=EC I=RIOBAMBA  
Motivo: Soy el autor de  
este documento  
Ubicación:  
Fecha: 2022-06-21  
09:05:05:00



0060-DBRA-UPT-IPEC-2022

## **SUMMARY**

The objective of this project is to conduct analysis to determine the technical feasibility of the operation of electric buses in the urban public transportation system in the canton of Riobamba. For this, documentary research was conducted where studies on the urban transport system of the canton Riobamba were reviewed and data of certain operational parameters were obtained, along with this the implementation of electric buses in other cities of the world was analyzed in search of sustainable mobility and considerable reduction of greenhouse gases to obtain initial research parameters and conducting a field study to determine the state of the road infrastructure and urban transport system, and descriptive research which represents the data obtained in previous research to expose making a comparison between benefits and detriments. The technical characteristics that the electric bus must-have for its optimal operation in this transportation system are determined, with the determined operational parameters, considering the most critical values of the 16 routes identified as population and sample of the study. In this way, the electric bus will be able to operate technically without problems. The economic impact is high, due to the high price of the acquisition of an electric bus, which is \$4,195,500 compared to a diesel bus at \$13,2000. In terms of maintenance and energy consumption, the diesel bus is more economical, but its recovery in comparison to the price is very high. The environmental impact is that Ecuador does not have manufacturing companies that can recycle the batteries and can be reused them without leaving aside the tons of greenhouse gases that will be saved per year by the use of this type of transport.

**Key words:** <SUSTAINABLE MOBILITY>, <TECHNICAL FEASIBILITY>, <URBAN TRANSPORT>, <ELECTRIC BUS>, <OPERATIONAL PARAMETERS>.

## **INTRODUCCIÓN**

La contaminación ambiental a nivel mundial, producida por los gases que emanan los vehículos de transporte particular y público que utilizan combustibles fósiles no renovables como energía para generar su movimiento, se ha convertido en una de las problemáticas más importantes en las principales ciudades del mundo, han surgido políticas ambientalistas que se caracterizan por sus metodologías en la disminución de emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, buscando fuentes alternativas para disminuir el consumo de hidrocarburos como fuente principal de energía en el transporte.

Para la presente investigación se ha realizado una viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos, determinando los parámetros operacionales a los que un bus eléctrico va a estar sometido considerando estudios precedentes de la movilidad eléctrica en otras ciudades del mundo, geometría de la ciudad y biografía técnica que aportan con un criterio confiable para el funcionamiento o no de este tipo de transporte en el sistema de transporte público considerando el impacto ambiental y económico que ustedes pueden incurrir.

El buen funcionamiento del bus eléctrico en el sistema de transporte público es un paso muy importante hacia una movilidad sostenible dentro de una ciudad, por tal razón se deben diseñar e implementar políticas que incentiven la utilización de este tipo de transporte, mejorando así el medio ambiente del sector y reduciendo de una manera considerable la emisión de gases, teniendo como referencia la inserción del bus eléctrico en otras ciudades del mundo, incluso en Ecuador que ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca ya cuentan con este tipo de vehículos en el transporte público.

La presente investigación se encuentra desarrollada a través de la siguiente estructura:

### **CAPÍTULO I: Problema de Investigación**

Es donde se presenta la problemática actual dentro de esta área de investigación del transporte público urbano, a través de la formulación del problema, justificación, objetivo general, y objetivos específicos.

### **CAPÍTULO II: Marco de referencia**

En este capítulo se desarrolla todos los antecedentes e investigaciones que tengan similitud en el tema, de igual manera el sustento teórico en donde se podrá verificar puntos muy importantes para determinar la viabilidad técnica considerando las características principales de un bus eléctrico

formas de operación, determinando su hipótesis y variables. Sin olvidar los principales conceptos que conlleva esta investigación.

### **CAPÍTULO III: Diseño de la Investigación**

Se desarrolla los métodos seleccionados para esta investigación enfocada en la obtención de resultados.

Para lo cual se realiza la recopilación de información primaria y secundaria a través de técnicas, instrumentos que permita la recolección de datos que servirán como base para el análisis e interpretación, de los temas focalizados para el desarrollo del capítulo III. Realizar un correcto proceso para un buen diagnóstico resultado de la información recopilada por observación directa en las rutas de transporte público urbano estaciones de descanso. Información y datos obtenidos por investigación bibliográfica.

### **CAPÍTULO IV: Evaluación Diagnóstica**

Se Realiza el análisis e interpretación a través de la tabulación y desarrollo de los resultados obtenidos en los procesos anteriores de la información adquirida para obtener los parámetros operacionales del transporte público urbano de la ciudad de Riobamba, y así obtener las características de operación que debe tener el bus eléctrico para operar en esta ciudad.

### **CAPÍTULO V: Marco Propositivo**

Finalmente se plantea la viabilidad técnica, esto quiere decir las características que debe tener el bus eléctrico para su buen funcionamiento en el sistema de transporte público urbano, bajo que parámetros de operación debe trabajar, una comparación con el sistema de transporte público de otras ciudades que ya han implementado este tipo de transporte con el impacto ambiental y económico que conlleva la implementación de este tipo de vehículo.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Situación problemática

##### 1.1.1. Planteamiento del problema

El cantón Riobamba al igual que otras ciudades de todo el mundo, ha crecido geográfica y demográficamente en los últimos años, según el Plan Urbano aprobado en el año 1997 donde especifica que el área urbana del cantón Riobamba es de 2.812 hectáreas, haciendo un análisis en base al acelerado crecimiento que se ha dado en los últimos 20 años se habla de que la parte urbana estaría situada en un área que bordean las 6.000 hectáreas, eso significa un crecimiento urbano del 53%, esto ha generado cambios importantes en el desarrollo tecnológico, industrial y vial, lo cual afecta e influye directamente el concepto de ciudad, urbanismo, transporte y especialmente movilidad sostenible.

El crecimiento del parque automotor es una de las problemáticas más relevantes de las zonas pobladas a nivel mundial y esto ocurre en el cantón Riobamba, según (GADM Riobamba., 2014) en su plan de desarrollo y ordenamiento territorial menciona, que el incremento desmedido del parque automotor en la ciudad torna cada vez más complejo el tráfico vehicular, esto se puede presenciar en vías principales, zonas de alta concentración de personas y sectores cercanos a centros comerciales y universidades.

Puesto que los problemas generados por la movilidad no es sólo la congestión son las altas las tasas de contaminación generados por los diferentes tipos de transporte, el uso del vehículo particular o comercial y sus emisiones de gases, producto de la utilización de combustibles no renovables, así también el uso de autobuses que funcionan mediante el sistema a diésel, y brindan sus servicios en el transporte público, esto hace que la ciudad no tenga un inicio hacia una movilidad sostenible, sin poder reducir los problemas medioambientales ocasionados por estos tipos de transporte.

Debido a este crecimiento desmedido del parque automotor y el aumento de la contaminación producido por los mismos, el gobierno nacional se ha visto en la necesidad de dar solución a esta gran problemática y es así que “Con apoyo externo se hará un plan de movilidad sostenible para el Ecuador, El ministro de Transporte y Obras Públicas, Aurelio Hidalgo, dijo que el sector

transporte representa el 21% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. Motivo por lo cual la iniciativa está acorde con la Ley de Eficiencia Energética de marzo de 2019 establece, que a partir del 2025 todas las unidades de transporte que entren en funcionamiento al servicio de transporte urbano e interparroquial, solo deberán ser de motor eléctrico.” Este contenido ha sido extraído originalmente de (Diario El Universo, 2019).

Debido a esta problemática, autoridades y profesionales del sector vinculados a este campo de estudio se ven cada vez más comprometidos con proyectos, donde se debe planificar, diseñar y ejecutar procesos en busca de un plan integral y sostenible para el cantón Riobamba, esto conlleva a que se deben realizar estudios de viabilidades técnicas para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el transporte público, con el fin de implementar una movilidad interna que ayude a mitigar los problemas como el tráfico vehicular y la excesiva contaminación producida por los mismos dando así un gran paso hacia una movilidad sostenible.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

¿Cuáles son los requerimientos técnicos que determinan la viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema de transporte urbano del cantón Riobamba?

### ***1.1.3. Sistematización del problema***

Con lo expuesto anteriormente es necesario realizar las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son las condiciones actuales en las que se encuentra el sistema de transporte urbano?
- ¿Qué componentes determinan la viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema de transporte urbano en el cantón Riobamba?
- ¿Cuáles son los efectos que se producirían en los años subsiguientes si se implementan los buses eléctricos o se mantienen los buses a combustión?

## **1.2. Justificación de la investigación**

Es importante mencionar que en los últimos años los temas de contaminación ambiental han sido prioridad para todos los gobiernos a nivel mundial, por lo que se han desarrollado y siguen desarrollando proyectos en medidas de prevención y control, principalmente en la contaminación generada por el transporte que utiliza energías no renovables.

La finalidad de este trabajo de investigación es, desarrollar la viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema de transporte urbano, permitiendo que el

GAD Municipal del cantón Riobamba cuenta con un análisis que permita describir los aspectos técnicos que se deben tener en cuenta para la implementación de estos tipos de vehículos, y uno de los aspectos más importantes el impacto ambiental que se generaría sin dejar a un lado el análisis costo – beneficio que generará este sistema en algunos años subsiguientes después de implementar este sistema de transporte.

El gobierno nacional tiene como proyecto implementar un plan de movilidad sostenible en el país, motivo por lo cual la iniciativa está acorde con la Ley de Eficiencia Energética de marzo de 2019, que establece, por ejemplo, que a partir del año 2025 todas las unidades de transporte que entren en funcionamiento al servicio de transporte urbano, solo utilizaran motor eléctrico (Diario El Universo, 2019).

Desde el punto de vista teórico, este análisis de viabilidad técnica proporcionará indicadores significativos a considerar para la inserción de vehículos eléctricos en el transporte urbano, como son: las condiciones en las que se encuentra la movilidad en la ciudad, el conocimiento que tienen los conductores de buses urbanos sobre movilidad eléctrica ventajas y desventajas y la infraestructura con la que cuenta la ciudad para este tipo de transporte.

Este proyecto de investigación incentivará y abrirá las puertas al GAD Municipal del cantón Riobamba y empresas privadas a realizar más estudios o elaborar proyectos para mejorar la movilidad sostenible de la ciudad, pensando siempre en el buen vivir de la ciudadanía en un ambiente sano y saludable, libre de contaminación y con la utilización de energías renovables.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

- Determinar la viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema del transporte urbano en el cantón Riobamba.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Determinar los parámetros operacionales actuales del sistema de transporte urbano, mediante información recabada, con el fin de establecer los requerimientos para el uso de buses eléctricos.
- Analizar el impacto de la implementación de buses eléctricos en la movilidad sostenible del cantón Riobamba, realizando una comparación con los beneficios de la implementación de

buses 100% eléctricos en otras ciudades del mundo, para poder tener parámetros iniciales en la investigación.

- Establecer los aspectos de la viabilidad técnica mediante los resultados del análisis realizado, para que aporten con un criterio confiable y viable para el estudio.
- Argumentar el impacto económico al implementar la movilidad eléctrica en el sistema de transporte en el cantón Riobamba, mediante el análisis del uso de estos vehículos y las posibles remediaciones ambientales obtenidas en los años próximos, con el fin de conocer si es viable el proyecto.

## **1.4. Hipótesis**

### ***1.4.1. Hipótesis General***

- ¿la viabilidad técnica, identificará los parámetros técnicos para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el transporte urbano del canto Riobamba?

### ***1.4.2. Hipótesis específicas***

- Existen parámetros operacionales del sistema de transporte urbano, para analizarlos con el fin de establecer los requerimientos para el uso de buses eléctricos.
- Se pueden obtener parámetros iniciales en la investigación mediante una comparación con la implementación de buses 100% eléctricos en otras ciudades del mundo.
- Los aspectos de la viabilidad técnica aportan con un criterio confiable y viable para el estudio.
- Es favorable el impacto económico al implementar la movilidad eléctrica en el sistema de transporte en el cantón Riobamba.

## **1.5. Variables**

### ***1.5.1. Variable dependiente***

- Funcionamiento de vehículos eléctricos

El funcionamiento de los buses eléctricos en el sistema de transporte público urbano, dependerá del estudio de la viabilidad técnica, puesto que ahí se analizarán los parámetros operacionales del sistema de transporte, las características principales que debe tener un bus eléctrico para laborar bajo esas condiciones, y el impacto ambiental y económico que incurre la inserción de este tipo de transporte.

### ***1.5.2. Variable independiente***

- Viabilidad técnica

Es el estudio que se realiza considerando parámetros muy importantes que determinan el funcionamiento o no funcionamiento de una nueva aplicación, o a su vez si es viable o no el cambio de un modelo teniendo en cuenta que la nueva aplicación debe cumplir con las exigencias que presenta este sector, en este caso sería el funcionamiento de buses eléctricos en el sistema de transporte público urbano

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1. Antecedentes

La población mundial, cada vez se ve enfrentado a problemas ambientales más críticos, debido al nivel de cifras alarmantes de la degradación progresiva del medio ambiente, viendo en la perspectiva de la contaminación del aire, la utilización de energía y recursos no renovables, esto va dejando secuelas en la salud de la población urbana y rural, y con el incremento del campo automotor una constante saturación en las vías de transporte al interior de las ciudades.

CAF –Banco de Desarrollo de América– está participando de manera activa e integral en la agenda global en materia de transporte, contribuyendo a los objetivos globales que propenden, entre otras finalidades, a fortalecer las políticas de transporte sostenible y la descarbonización del sector. Las actividades para el desarrollo de esta agenda en América Latina son diversas y entre ellas se cuenta la participación activa en la Fundación de Transporte Sostenible de Bajo Carbono de la que CAF es miembro. Asimismo, CAF forma parte del Grupo de Transporte Sostenible de los Bancos de Desarrollo y del Grupo Consultivo de Alto Nivel del Secretario General de las Naciones Unidas sobre el Transporte Sostenible. Con estos aportes, la institución busca fortalecer una agenda global sectorial muy relacionada con los temas ambientales de la movilidad (Ardanuy Ingeniería, 2019).

Anteriormente ya se han realizado análisis, estudios y evaluaciones, con el fin de implementar flotas eléctricas en el transporte urbano en otras ciudades del Ecuador y sobre todo en otros países, esto se debe al exceso de contaminación que producen los vehículos propulsados por combustibles fósiles y, en busca de mejorar la movilidad sostenible en cada una de las ciudades y países (Sánchez, 2017).

Según (Miranda & Iglesias, 2016) la tendencia proyectada de los vehículos eléctricos y las estaciones de carga es necesario estudiar cómo es la interacción entre estos nuevos elementos y la red eléctrica de cada país. Para esto, se realizó una revisión de la literatura sobre el impacto de vehículos eléctricos en las redes de distribución, con referencia a países como España, Chile y Colombia. Donde se determinaron los posibles circuitos que pueden verse afectados por los vehículos eléctricos y el impacto de los diferentes modos de transporte en la calidad de la energía eléctrica (Miranda & Iglesias, 2016).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Movilidad**

La movilidad, en términos del transporte, se puede considerar una variable cuantitativa que se encarga de medir el número de desplazamientos, que realizan las personas o mercancías en un explícito sistema o espacio socioeconómico. Entonces se considera movilidad al conjunto de desplazamientos que se generan en un contexto físico los mismos que son realizados con un determinado objetivo y salvar la distancia que separa personas o mercancías de su lugar de destino (Ecologistas en Acción, 2017).

### **2.2.2. Transporte Público**

Se considera a un servicio con una estrategia establecida, que utilizan una infraestructura y un equipamiento auxiliar para la prestación de un servicio, donde el estado es el único dueño a nivel nacional de las rutas y frecuencias, las mismas que son autorizadas mediante contratos de operación a cooperativas de transporte legalmente autorizadas. (Agencia Nacional de Tránsito, 2014)

### **2.2.3. Componentes físicos de los sistemas de transporte público**

El sistema de transporte está conformado de tres elementos que son. (Molinero & Sanchez, 1997).

- Vehículo

Es el medio de transporte y al conjunto de estos se denomina parque vehicular o flota vehicular en el caso de autobuses, cuando se habla de manera individual se lo considera como unidad de transporte.

- Infraestructura

Se la considera al sistema compuesto por: derechos de vía en la que funcionan los sistemas de transporte, paradas, terminales, talleres de mantenimiento y reparación, sistemas de control ya sean estos de comunicación o señalización y los lugares de recarga de energía ya sea esta energía química o eléctrica.

- Red de transporte

Son las rutas de autobuses, los ramales del sistema de transporte urbano que operan en la ciudad.

#### **2.2.4. Transporte público urbano**

En Ley Orgánica de Transporte Tránsito y Seguridad Vial, se considera una parte del conjunto de la movilidad urbana puesto que opera en las cabeceras cantonales y en base a esto se le define como; un sistema de medios conformado por una infraestructura y vehículos cuya función (autobús) es llevar personas de un sector a otro de la ciudad con estándares de servicio establecidos (Agencia Nacional de Tránsito, 2014).

##### **2.2.4.1. Autobús**

Son vehículos prácticos y eficientes y en el transporte urbano los más importantes en América latina y el Caribe en rutas de corta y mediana distancia por su baja capacidad de transporte de pasajeros, siendo el más utilizado en el transporte público; debido a su importancia social se constituye una opción económica para los viajes relacionados a la educación, trabajo, salud y turismo. Este tipo de transporte opera en el sector público urbano en rutas establecidas, con número aproximados de pasajeros a ser transportados y con una infraestructura planificada y organizada la misma que consta de paradas para dejar y recoger pasajeros y estacionamientos o lugares de descanso al finalizar una ruta (Sant' Anna, 2002).

Hay que tener en cuenta que, este tipo de vehículos no son muy eficientes en rutas donde la demanda de pasajeros es mayor por su baja capacidad de pasajeros, en estas rutas para satisfacer esa demanda se necesita un mayor número de autobuses, por tal razón se va tener una mayor contaminación.

##### **2.2.4.2. Dimensiones**

Según el Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 038, el bus urbano debe cumplir con las siguientes dimensiones externas para su funcionamiento.

- Largo total mínimo 10300mm y largo máximo 12 900mm
- El ancho total de la carrocería debe cubrir la trocha posterior del chasis con un mínimo de 2500mm y un máximo de 2600mm

#### **2.2.5. Planificación de un sistema de transporte público urbano**

Para la planificación de un sistema de transporte público, se debe diseñar e implementar planes óptimos en las áreas de recorridos, frecuencias, horarios, flota y personal. Esto es un proceso el cual se conforma de las siguientes etapas: (Mauttone et al., 2003).

- Diseño de rutas: Cantidad de líneas y trazado de sus recorridos
- Determinación de frecuencias: Número de pasadas para cada línea, siendo esta variable en el tiempo, Considera aspectos de cubrimiento de demanda no considerados en la primera etapa.
- Determinación de horarios: Planificación de horarios de cada línea y sincronización de despachos en aquellos con comparten transbordos entre unidades de transporte público.
- Asignación de flota: Se considera tener presente los vehículos disponibles para llevar a cabo los recorridos.
- Asignación de personas y recursos: Son los que están disponibles para los viajes planificados por línea.

Teniendo en cuenta que las dos primeras etapas son realizadas por entidades reguladoras, como son el estado o los gobiernos autónomos descentralizados, y las 3 etapas restantes son aplicadas por los operadores de servicio, que en este caso son las empresas de transporte (Mauttone et al., 2003).

#### ***2.2.6. Parámetros operacionales del transporte urbano***

En el sistema de transporte público urbano se emplean recursos, los mismos que deben ser utilizados al 100% de su capacidad, para este propósito se establece los parámetros operacionales del sistema de transporte urbano, y evaluar su rendimiento.

Los parámetros operacionales son aquellas características del sistema de transporte público urbano que influyen de una manera positiva o negativa al usuario o a una sociedad establecida. Los cuales son aspectos muy relativos que proporcionan información para determinar el estado actual de dicho sistema (Oviedo Moncayo, 2017).

Los resultados obtenidos en los diferentes indicadores que se plantean como parámetros operacionales, reflejan los cambios en las tendencias de operación y esto a su vez dan la iniciativa para mejoras, y buscar estrategias para seleccionar la mejor decisión, También indicar que estos índices recopilados influyen directamente con la determinación de los requerimientos para el uso de buses eléctricos en el transporte público urbano.

##### ***2.2.6.1. Numero de vehículo por hora***

Cantidad de unidades que prestan el servicio de transporte durante un periodo de tiempo, en este caso el tiempo será de una hora, teniendo en cuenta que una empresa de transporte público que

tenga un gran número de unidades en su flota, no mejorará este indicador. Se considera que una excesiva cantidad de vehículos conlleva a un desperdicio de recursos, como es el tiempo de espera en el andén.

#### *2.2.6.2. Número de pasajeros por unidad*

Se refiere a la productividad, entonces se considera el número de pasajeros que utilizan este medio de transporte considerando un intervalo de tiempo. Una empresa de transporte urbano que tiene unidades con capacidad de 80 pasajeros, esta llegaría a cumplir entre 1000 a 1200 pas/bus/día.(Oviedo Moncayo, 2017)

#### *2.2.6.3. Kilómetros recorridos*

Representa al promedio de kilómetros en los que circula cada unidad de servicio de transporte.

#### *2.2.6.4. Tiempo de terminal*

Se considera al periodo de tiempo que una unidad de transporte pasa en un andén, desde que llega cumpliendo un recorrido establecido y el inicio del siguiente. Este valor se expresa en minutos y conlleva a determinar el número de unidades en ese recorrido.

#### *2.2.6.5. Tiempo de Recorrido*

Es el tiempo que una unidad de transporte público necesita para realizar un recorrido, y generalmente se lo expresa en minutos.

#### *2.2.6.6. Velocidad de operación*

Se determina entre la longitud total de un recorrido y el Tiempo de recorrido necesario para realizarla. Se expresa en km/h. Y se considera a la velocidad promedio de una unidad de transporte, donde se incluye se incluye el tiempo de parada en estaciones o paradas así como las demoras esperadas por razones de tránsito (Alexandra, 2017).

$$V_c = \frac{60+L}{Tr} \quad (1)$$

Dónde:

L= longitud de tramo

Tr= Tiempo total de recorrido que tarda la unidad en recorrer L

### 2.2.6.7. Consumo de combustible

El consumo de combustible es un factor muy determinante para especificar la tarifa del transporte público urbano, y esto depende del tamaño y carga del vehículo, las características del combustible, motor, la calidad de mantenimientos realizados, la mala conducción y las condiciones de tráfico en los puntos críticos de la ciudad, se establece que el consumo de combustible debe ser de 1 galón para recorrer una distancia de 6km a 8 km. (Oviedo Moncayo, 2017)

### 2.2.6.8. Kilómetros muertos

Son aquellos kilómetros que el bus recorre fuera de servicio, sin percibir ningún pasaje, en ciertos casos este recorrido se realiza para trasladar la unidad a un taller de mantenimiento o realizar una actividad extra.

### 2.2.6.9. Costos Operacionales

Son los valores monetarios que las empresas, compañías de transporte público o dueños de las unidades tienen que asumir, para mantener funcional su unidad dentro de un sistema de transporte público prestando sus servicios.

**Tabla 1-2:** Costos de operación

Costos Directos	Costos Fijos	Depreciación del vehículo
		Seguros
		Impuestos
		Estacionamiento y bodegaje
	Costos variables	Combustibles
		Lubricantes
		Llantas
		Mantenimiento del Vehículo
		Costos de conducción u operario del vehículo
Costos Indirectos	Costos de administración	
	Costos de Imprevistos	
Costos de Capital	Vida útil del vehículo	
	Rentabilidad	

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

### ***2.2.7. Infraestructura para la operación del transporte público***

El transporte público para su correcto funcionamiento necesita de una infraestructura y esta a su vez, contener diversos elementos físicos para obtener un adecuado servicio de transporte público como son: (Molinero & Sanchez, 1997)

#### *2.2.7.1. Paradas*

Puntos públicos delimitados, que tienen gran importancia en un sistema de transporte público, puesto que influyen en aspectos como:

- Limitar el número de unidades que pueden operar.
- Su punto de ubicación y espacio debe ser el indicado.
- Un recorrido debe tener un número adecuado de paradas.

El factor determinante para la capacidad de línea en un recorrido, es el tiempo que se necesita para el ascenso y descenso de pasajeros en las paradas.

#### *2.2.7.2. Estaciones y terminales*

Son espacios que se encuentran fuera de la circulación, es prácticamente donde cierra un circuito una unidad de transporte, y cuenta con una infraestructura adecuada y bahías para el alojamiento de las unidades de transporte.

Los elementos principales que debe poseer una estación de transporte público urbano son:

- Talleres de mantenimiento
- Andenes
- Oficinas

#### *2.2.7.3. Infraestructura vial*

Es el espacio de libre acceso destinado para que transiten vehículos motorizados y no motorizados de un lugar a otro, pero estos deben cumplir con parámetros que estipulan leyes nacionales e internacionales, por consiguiente es el conjunto de dispositivos de control, señalización vial, calzadas, aceras, intersecciones y redondeles. Teniendo en cuenta la red vial en el ámbito urbano, se pueden clasificar en tres secciones:

- Sistema de arterias urbanas: Este tipo de vías se encuentran en el interior de la zona urbana y son las que concentran mayor volumen de tráfico vehicular y conecta de forma rápida varios sectores de la ciudad.
- Sistema de colectores urbanos: Son las vías que permiten el acceso directo a la red vial primaria, por su geometría son calles más angostas, pero conectan diversos sectores con la red vial principal y la red vial terciaria.
- Sistemas de calles urbanas: Son vías construidas para la libre movilidad de peatones ubicadas en sectores donde existe gran demanda peatonal.

### ***2.2.8. Movilidad Sostenible***

Se dice que “Una movilidad sostenible es aquella que reduce las necesidades de desplazamiento de personas y mercancías a los límites físicos y ambientales del territorio, a la vez que privilegia el uso de los modos de transporte más eficientes (sostenibilidad)”(Guillamón & Hoyos, 2005, p.12).

El desarrollo sostenible se considera aquel que cumple ciertas necesidades del presente sin afectar las situaciones del futuro cumpliendo las mismas necesidades, considerando este enunciado se dice que el transporte sostenible es un sistema que tendrá costos más accesibles y una operación eficiente debido a la posibilidad de elegir diferentes alternativas de transporte, teniendo en cuenta que una de las características de este sistema es la reducción de emisiones contaminantes(Morency, 2013)

El mayor número de problemas que se desglosa del modelo de movilidad actual, se generan y se sustentan dentro de las mismas ciudades, una movilidad sostenible reduce necesidades de movilidad e influye de manera positiva en conflictos relacionados al desarrollo económico y social, calidad de vida, medio ambiente y especialmente la salud de las personas. (C. Gonzalez, 2010)

Se debe tener en cuenta que las políticas o principios que se implementen para una movilidad sostenible se deben enfocar en la disminución en la congestión vial, por tal motivo se debe buscar tecnologías que sean impulsadas por combustibles o energías alternativas o renovables.

### **2.2.9. Movilidad eléctrica**

Se entiende a todo desplazamiento de personas o bienes que hayan sido realizados por un vehículo alimentado por electricidad y que no tengan dependencia del petróleo o fuentes de energía fósiles (ONU Medio Ambiente, 2018).

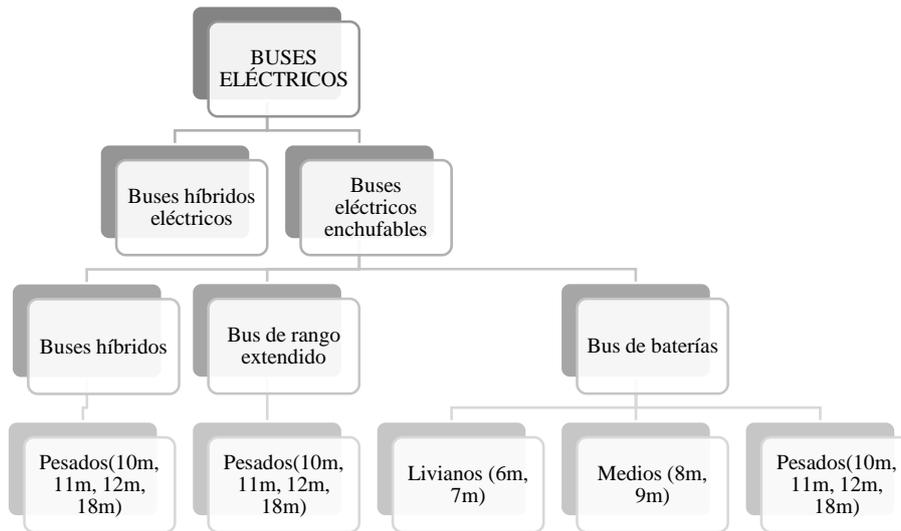
### **2.2.10. Evolución de los buses eléctricos**

La idea de los buses eléctricos se genera en China a causa de seguridad energética y la contaminación ambiental en el sector urbano. En base a estos factores los primeros buses que surgieron fueron los Híbridos (HEB) que tienen un motor de combustión interna y un motor eléctrico, la batería de estos vehículos se carga con un generador o con el motor eléctrico, ya que no tiene para realizar una carga eléctrica externa. (Alejandro & Barrero, 2021) Esta batería tiene autonomía para recorrer distancias pequeñas sin necesidad de utilizar el motor de combustión interna.

La evolución de la tecnología de los buses híbridos inspiró a la creación de los buses eléctricos híbridos enchufables (PHEB) La batería de estos vehículos ya permite realizar una carga eléctrica externa aumentando su autonomía para recorrer distancias más largas en el estado 100% eléctrico. Esto contribuye a que se utilice menos combustible fósil y se reduzca menos emisiones de gases y efecto invernadero.

La tecnología de los buses PHEB permitió mejorar la eficiencia de las baterías, llegando así al bus eléctrico (BEB), los cuales disponen de un solo motor y este es eléctrico por su buena autonomía que brinda la batería, esta permite recorrer largas distancias.

La dependencia del petróleo en el transporte, obliga a gobiernos como el de China a tomar decisiones de inversión en modelos de transporte que utilicen energías renovables como son los BEB, Al considerarse esta dependencia un problema a nivel mundial, esta tecnología empezó a ser exportada hacia otros países aplicándolos en diferentes tamaños de transporte como lo indica la grafico 1-1.



**Gráfico 1-2:** Características de los buses eléctricos

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

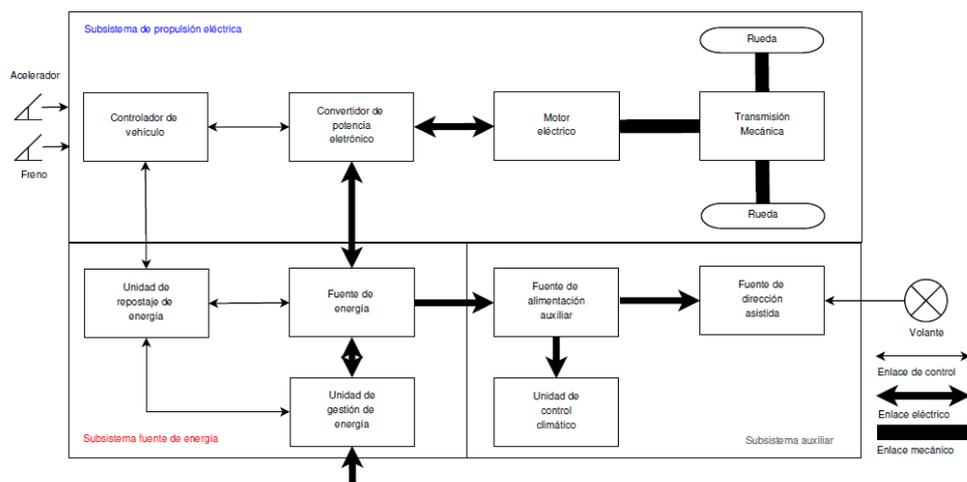
Fuente: (Du et al., 2019)

### 2.2.11. Bus eléctrico

Es un vehículo propulsado por uno o más motores eléctricos, y se diferencian de los buses convencionales en su tren de potencia, pues es ahí donde se encuentran todos los componentes necesarios para que se pueda desplazar (Alejandro & Barrero, 2021).

### 2.2.12. Partes Principales

En el gráfico 2-2 Se representa las partes principales que conforma un bus eléctrico



**Gráfico 2-2:** Estructura de un bus eléctrico

Fuente: (Alejandro & Barrero, 2021).

### 2.2.12.1. *Batería*

Es un dispositivo que su funcionamiento se basa en procesos reversibles de conversión de energía eléctrica en energía química, y viceversa que dan lugar a su carga y descarga, estas reacciones se da en cada una de sus celdas, las mismas que están compuestas por un electrodo positivo, un negativo y el electrolito por el cual se realiza la conducción iónica entre electrodos de la misma celda.

La batería es el componente más importante del sistema de un bus eléctrico, además de ser un acumulador de energía, determina la potencia del motor, autonomía y el diseño del mismo. La ubicación de la batería debe ser muy estratégica debido a su gran contextura, y la temperatura a la que debe ser expuesta puesto que puede afectar de manera significativa el rendimiento de la misma.

De acuerdo al funcionamiento las baterías se clasifican en:

- **Batería primaria:** El proceso de descarga es irreversible, no puede restaurarse por medios eléctricos, debe desecharse.
- **Batería secundaria:** Se puede recargar suministrándole energía eléctrica hasta restablecer su condición química original.

Las baterías secundarias son las que se utilizan en los autobuses eléctricos, son de los siguientes tipos:

#### a) **Batería de Níquel-hidruros metálicos**

La batería Níquel-hidruros metálicos (NiMH) es una versión mejorada de la batería Níquel-Cadmio, es una aleación de metales y tierras raras que sustituyen al Cadmio además: Tiene una energía específica de 70-80 Wh/Kg, superando a las de Plomo-Ácido y a sus antecesoras las alcalinas de Níquel-Cadmio y admite recargas rápidas con una duración de 1-3 horas, pero no tiene un funcionamiento óptimo en climas a bajas temperaturas.

#### b) **Batería de Ion-Litio**

En la actualidad, esta tecnología es la más avanzada, se aplica en: teléfonos móviles, ordenadores portátiles, equipo militar, aeronaves, vehículos espaciales, satélites y vehículos eléctricos o híbridos.

La batería de Litio-ferrofosfato (LiFePO<sub>4</sub> o LFP) es la más utilizada para los autobuses eléctricos, debido a su capacidad de carga, descarga, ciclos de vida, tiempo de vida útil mayor a 10 años, con una capacidad de tensión 538 V y corriente 160 Ah, rango de tensión para operación 420 V - 613.2 V y potencia total 86 KWh.

En la siguiente tabla se presenta un resumen con las características técnicas principales de las baterías más utilizadas en vehículos eléctricos.

**Tabla 2-2:** Tipo de baterías y especificaciones técnicas

TIPO	PLOMO-ACIDO Pb/ácido	NIQUEL-CADMIO Ni/Cd	NIQUEL-METAL HIDRURO Ni/MH	ION-LITIO	POLÍMETRO DE LITIO Li/PO
<b>VOLTAJE NOMINAL (VOLTIOS)</b>	2	1,2	1,2	3,3-3,7	3,7
<b>ENERGÍA ESPECIFICA (Wh/Kg.)</b>	33-42	40 - 60	30 - 80	115	130 - 200
<b>DENSIDAD ENERGÉTICA (Wh/l)</b>	180	50 - 150	140 - 300	300	300
<b>POTENCIA ESPECIFICA (W/Kg.)</b>	250 - 1000	150	250 - 1000	250 - 340	7100
<b>CICLOS DE VIDA</b>	500 - 800	2000	300 -500	800	1000
<b>AUTO-DESCARGA (% AL MES)</b>	3 -20%	10%	30%	10%	5%
<b>TIEMPO DE RECARGA (HORAS)</b>	8 - 16	1	2 - 4	2	1 – 1,5

Fuente: (Cordova & Montero, 2017).

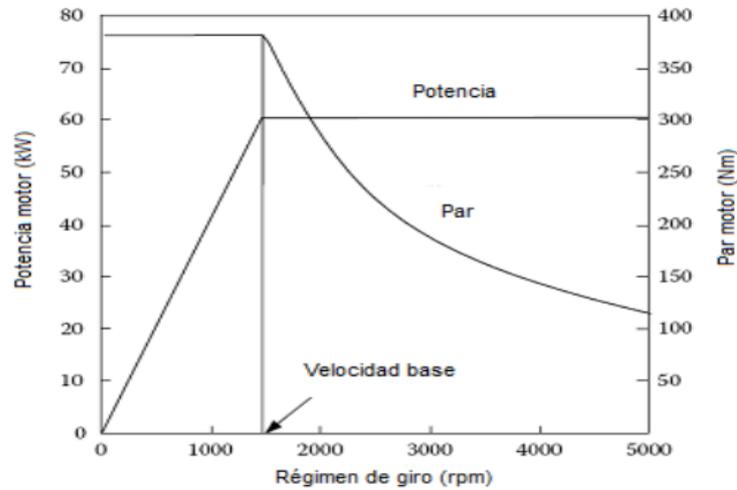
Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

### 2.2.12.2. Motor eléctrico

Es el elemento encargado de convertir la energía eléctrica en energía mecánica para que se genere el desplazamiento del bus. Un bus eléctrico puede tener más de uno de estos componentes en su sistema, dependiendo de su diseño y sus prestaciones, en base a su funcionamiento este tipo de motores no necesita de una caja de cambios.

En el funcionamiento a baja velocidad, la tensión suministrada al motor se incrementa cuando aumenta la velocidad a través del convertidor electrónico mientras el flujo permanece constante. En el punto de velocidad base, la tensión del motor alcanza la tensión de la fuente. Más allá de

la velocidad base, la tensión permanece constante y el flujo se debilita, cayendo hiperbólicamente con la velocidad. (Calderón, 2020)



**Gráfico 3-2:** Curvas características de un motor eléctrico

**Realizado por:** Albán, Carlos, 2022.  
**Fuente:**(Calderón, 2020)

### 2.2.12.3. Controlador

Se denomina a la central electrónica, encargada de administrar los controladores del sistema y verificar el funcionamiento del sistema por eficiencia y seguridad, además controla la energía que recibe o entrega el motor a la batería, controlando en todo momento el estado de carga de la batería.

El sistema de gestión de la batería (BMS) es el encargado de controlar algunas funciones importantes para el buen funcionamiento del sistema eléctrico en el campo de almacenamiento de energías en vehículos eléctricos, esto indica que se tendrá monitorizado ciertos indicadores como temperaturas, voltajes, corrientes, etc...hasta la recolección de datos para un posterior análisis(Calderón, 2020).

### Inversor

Es el tercer componente fundamental en el sistema de un bus eléctrico, una de sus funciones es realizar las conversiones necesarias para suministrar de energía al motor proveniente de la batería, proporcionando de esta manera una corriente continua y una tensión constante, porque la demanda de energía que provoca el motor es debido al grado de aceleración del conductor, por tal motivo el inversor debe entregar la suficiente energía al motor para que este trabaje a las

revoluciones correctas. La otra función es transferir la energía que se logra obtener por la frenada regenerativa hacia la batería para un uso posterior(Calderón, 2020).

#### *2.2.12.4. Transformador*

Este dispositivo está encargado de absorber la energía de la red y regularlas de tal manera que se encuentren la tensión y corriente a niveles adecuados para que se genere la carga de la batería, del mismo modo realiza la refrigeración evitando riesgos por explosión o derrames.

#### *2.2.12.5. Conversor*

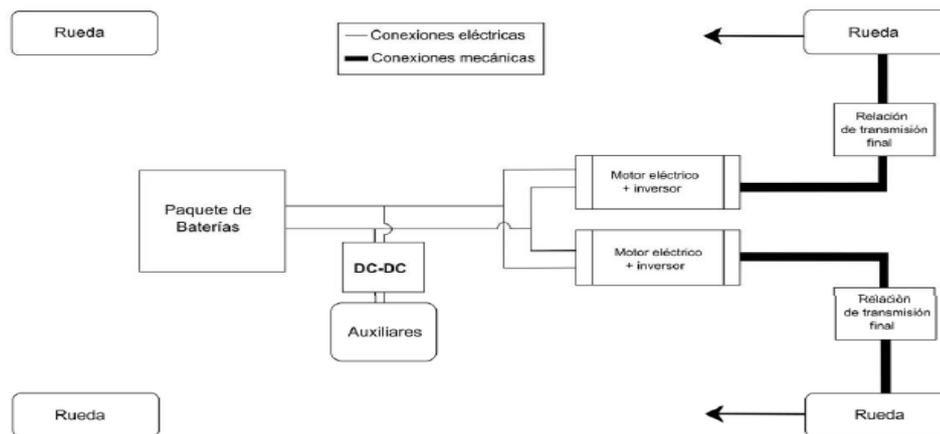
Es aquel que trabaja en corriente continua que aporta la batería principal, transformando la alta tensión en baja tensión, indicando que esta corriente es la que se utiliza para suministrar de energía a las baterías auxiliares de 12v, y esta a su vez alimentan a los componentes auxiliares del sistema eléctrico.

#### *2.2.12.6. Sistemas auxiliares*

Los sistemas auxiliares en los vehículos eléctricos son muy importantes por las funciones que aquellos cumplen, como el aire acondicionado, dirección asistida, bombas de agua y bombas de vacío, siendo estos alimentados por la energía que la batería aporta.

### ***2.2.13. Funcionamiento del bus eléctrico***

Los buses eléctricos para su desplazamiento cuentan con motores independientes en cada una de las ruedas para generar movimiento en las mismas, además de convertir la energía cinética en energía eléctrica y así retroalimentando a la batería con el freno regenerativo, indicando que el bus eléctrico simplemente es propulsado por baterías como lo indica la figura 4(Torres, 2015).



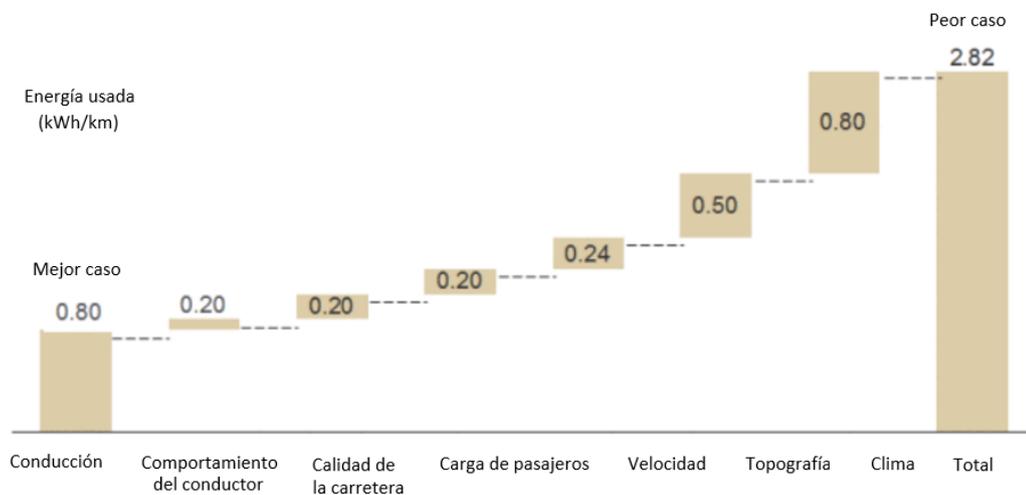
**Gráfico 4-2:** Configuración del sistema de tracción del bus eléctrico

Fuente: (Grijalva Campana, 2019).

#### 2.2.14. Demanda del autobús eléctrico.

La demanda se considera a la potencia promedio en kilo vatios hora (kWh) que requieren las baterías de un autobús eléctrico en un tiempo delimitado, la demanda energética para un autobús eléctrico depende de la velocidad, distancia de la ruta, número de pasajeros, temperatura, topografía, calidad de la vía y comportamiento del conductor.

La Figura 6 muestra la demanda para los autobuses eléctricos, el consumo es de 0,8 kWh/km en el mejor caso y 2.82 kWh/km en el peor(Alvear, 2019).



**Gráfico 5-2:** Demanda de los autobuses eléctricos

Fuente: (Alvear, 2019)

#### 2.2.15. Centros de carga

En todo sistema de transporte se requiere un lugar donde el vehículo tenga acceso a una fuente de energía que alimente su motor, en el caso de los buses eléctricos la electricidad,

convirtiéndose así en un principal reto la creación de una infraestructura que tenga fiabilidad, accesibilidad y comodidad.

Los centros de carga son un conjunto de equipos que se utilizan para conectar el bus eléctrico a una red de suministro de energía de baja tensión, y estos centros pueden ser: SAVE (puntos de carga inteligentes que se comunican directamente con un sistema de gestión) o configuraciones se considera al lugar donde se encuentran varios centros de carga con un sistema de control que se comunica con el sistema de gestión (Alvear, 2019).

Los centros de cargas se ubican en estacionamientos o terminales de buses eléctricos y cuales deben estar conformados de:

- Instalación de enlace
- Acometida
- Caja general de protección y media
- Una o varias tomas de corriente
- Indicadores luminosos de señalización
- Botones de inicio y detección de carga inmediatos
- Regulador electrónico de carga del autobús.
- Comunicaciones
- Puntos de recarga

#### *2.2.15.1. Puntos de recarga*

El bus eléctrico para su recarga necesita una fuente de energía, la potencia que se necesita en cada punto de recarga dependerá de varios parámetros como son: Horario de recarga, incidencias en la red, potencia de la acometida. Teniendo en cuenta la cantidad de energía que se debe suministrar a la batería de un bus eléctrico los puntos de recarga deben ser concentrados en un solo lugar a los cuales se les denomina electrolíneas o estaciones de servicio eléctricas (Cordova & Montero, 2017).

#### *2.2.16. Formas de carga y tipos de cargadores*

Para la carga de buses eléctricos se utiliza tecnologías conductivas, esto es realizar la transferencia eléctrica mediante el contacto con un conductor, pero se están realizando proyectos de tecnología inductiva, en la figura 5 se representa los tres tipos de forma de carga.

**Tabla 3-2:** Formas de carga

	Carga lenta	Carga Semi-rápida	Carga rápida
Tipo de corriente	CA 230 V 16 A	CA 400 V 63 A	CA 400 V 600 A
Potencia	3 kW	7-43 kW	50-250 kW
Tiempo de recarga	8-10 horas	1 hora	15-30 minutos
Tipo de batería	Plomo-ácido, Ni-MH, Ion-lítio	Ni-MH, Ion-lítio	Ion-lítio
Ubicaciones	Doméstica	Empresas, flotas de vehículos, estaciones de servicio	Estaciones de servicio

Fuente: (Cordova & Montero, 2017).

Para los cargadores de carga rápida se necesita implementar una infraestructura en paraderos, estaciones o en las vías, puesto que la carga se la dará mientras los pasajeros suben o bajan del autobús. Los cargadores de carga lenta son instalados en estaciones o terminales de los buses, y estos son cargados mientras el bus espera para el inicio de su nuevo ciclo o en algún tiempo donde no sean requeridos.

#### 2.2.16.1. Cargador tipo plug-in

Es el cargador más conocido por que permite mayor autonomía en los buses, y su instalación es más fácil que los de carga rápida, su tecnología ha permitido que se llegue a ser estándar siendo compatible con cualquier fabricante de bus, llegando a cargar un 80% de cualquier batería en un tiempo de 30min.

**Tabla 4-2:** Ventajas y desventajas del cargador tipo plug-in

Tipo de carga: Lenta y Rápida	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesible por cantidad o precio</li> <li>• Posibilidad de uso domestico</li> <li>• Puede cargar todo tipo de batería</li> <li>• Obra civil y eléctrica simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempos de cargas extensos comparados con otras tecnologías</li> <li>• Múltiples conectores distintos</li> <li>• Buses más costosos</li> </ul>

Fuente: (Alejandro & Barrero, 2021).

#### 2.2.16.2. Cargador tipo pantógrafo

Es un cargador de carga rápida, el poco avance en tecnologías de baterías lo hace que no sea muy considerado y que no esté presente de forma masiva como tipo de cargador para los buses eléctricos. El pantógrafo puede realizar una carga completa en tan solo 5 min, lo que otro cargador puede llevarse 30 min.

**Tabla 5-2:** Ventajas y desventajas cargador tipo Pantógrafo

Tipo de carga: Lenta y Rápida	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Utiliza los tiempos de las paradas los buses para cargar</li><li>• Poseen menos baterías, por consiguiente buses con menores costos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Necesitan mucho espacio para su instalación</li><li>• Requiere obra civil y eléctrica en vía pública</li><li>• Requiere que el bus tenga la misma tecnología</li></ul>

Fuente: (Alejandro & Barrero, 2021)

### 2.2.16.3. Cargador por inducción

Esta tecnología presenta los mismos problemas que los cargadores de tipo pantógrafo, se necesita realizar ciertas modificaciones a los buses que no tienen la misma tecnología para poder realizar la carga, puesto que existen pocos fabricantes de buses que utilicen esta tecnología. En Corea del Sur se está desarrollando un aplicativo esta tecnología consiste en cargar el bus mientras este se encuentra en circulación utilizando inducción magnética no tienen que detenerse para ser cargado.

**Tabla 6-2:** Ventajas y desventajas cargador por inducción

Tipo de carga: Lenta y Rápida	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Utiliza los tiempos de las paradas los buses para cargar</li><li>• Poseen menos baterías, por consiguiente buses con menores costos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Necesitan mucho espacio para su instalación</li><li>• Requiere obra civil y eléctrica en vía pública<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere que el bus tenga la misma tecnología</li></ul></li></ul>

Fuente: (Alejandro & Barrero, 2021).

### 2.2.17. Determinación de las prestaciones del vehículo eléctrico

En este punto se representa las prestaciones que se requieren para que el vehículo cumpla con las funciones para las que va a ser utilizado, entre los principales criterios están la velocidad máxima, la aceleración y pendiente máxima que puede superar un vehículo.

Para el bus urbano objeto de estudio, los indicadores mínimos que debe cumplir, se basa en los límites de velocidad permitidos por Agencia nacional de tránsito y los datos obtenidos en el proyecto de titulación denominado “Propuesta de mejoramiento de rutas y frecuencias del transporte público urbano para la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo” definieron para que el vehículo sea capaz de acelerar de 0 — 50 km/h en un tiempo de 20 segundos, en condiciones de vía sin pendiente; la pendiente máxima a superar a una velocidad de 10 km/h de 15%.

- Energía específica.- se denomina a la cantidad de energía eléctrica almacenada por cada kg. de batería.
- Densidad de energía.- Es la cantidad de energía eléctrica almacenada por volumen en metros cúbicos.
- Potencia específica.- cantidad de potencia por kg. Rapidez con la que se puede extraer la energía de la batería.

Para el diseño y construcción de un vehículo eléctrico se debe considerar la potencia que este necesita en función de sus características como la aceleración y la velocidad. Por tal motivo se debe diseñar o seleccionar un vehículo que al menos cumpla las necesidades de circulación en la ciudad.

#### 2.2.17.1. *Potencia del motor útil y pérdidas de tracción*

$$\text{Pot} = (\text{Mt} \cdot \text{rpm} \cdot 2\pi) / 60000 \quad (2)$$

Dónde:

Pot = Potencia útil en (Kw).

Mt= Par en (Nm).

Rpm= Revoluciones por minuto del motor.

Esta potencia sale del motor y pasa por la cadena cinemática de tracción hasta llegar a las ruedas, en la cual se producen pérdidas por rozamiento. De aquí sale el rendimiento total de la cadena de tracción (Cordova & Montero, 2017).

$$\text{Nt} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \dots \quad (3)$$

Dónde:

Nt= Rendimiento total de la cadena de tracción.

$\eta_i$ = Rendimiento de cada uno de los elementos de la cadena de tracción.

En pruebas realizadas sobre el rendimiento en los elementos de la cadena de tracción ha determinado los siguientes porcentajes:

Caja de velocidad  $\eta=95\%-98\%$

Diferencial  $\eta=98\%-99\%$

Articulaciones  $\eta=97\%-99\%$

Entonces el rendimiento total aproximado de la cadena de tracción será entre el 90% y el 96%. Para conocer la potencia útil final(Cordova & Montero, 2017).

$$Potf = Pot \cdot \eta_t \quad (4)$$

#### 2.2.17.2. Resistencia a la rodadura

$$F_{rr} = \mu_{rr} mg \quad (5)$$

$\mu_{rr}$  = El coeficiente de rodadura

**Nota:** Valores típicos de  $\mu_{rr}$  son desde 0.0015 para neumáticos radiales hasta 0.005 para neumáticos desarrollados especialmente para vehículos eléctricos (Cordova & Montero, 2017).

#### 2.2.17.3. Resistencia Aerodinámica

$$F_{ad} = (1/2) \rho A C_d v^2 \quad (6)$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad del aire.

A = Superficie frontal.

$C_d$  = Es una constante llamada coeficiente aerodinámico.

V = Velocidad del vehículo.

**Nota:**  $C_d$ , es un valor aproximado para los automóviles de calle es de 0.3, teniendo en cuenta que el diseño de vehículos eléctricos han conseguido bajarlo hasta 0.19.

El valor de la densidad del aire se debe considera dependiendo de la temperatura, altitud o humedad, sin embargo se considera que 1.225 Kg.m<sup>-3</sup> es un valor razonable para el cálculo de la mayoría de los casos.

#### 2.2.17.4. Resistencia a la pendiente

$$F_{as} = mg \sin(\alpha) \quad (7)$$

Dónde:

mg = Peso del vehículo

$\alpha$  = ángulo de pendiente

2.2.17.5. *Fuerza de aceleración*

$$F_a = m \cdot a \quad (8)$$

Dónde:

m = masa del vehículo.

a = aceleración instantánea.

2.2.17.6. *Fuerza total de tracción*

Es la fuerza que el vehículo debe realizar para poder vencer a la sumatoria de las fuerzas resistentes y así obtener una aceleración “a”.

$$F_t = F_{rr} + F_{ad} + F_{as} + F_a \quad (9)$$

2.2.17.7. *En términos de potencia*

$$Pot = F_t \cdot V \quad (10)$$

Dónde:

Pot= Potencia necesaria en (W).

F<sub>t</sub>= Fuerza total resistente en (N).

V= Velocidad lineal instantánea del vehículo en (m/s).

2.2.17.8. *Autonomía del vehículo eléctrico*

$$R = (E \cdot S) / P \quad (11)$$

Dónde:

R = autonomía (km), (Range en inglés).

E = energía, contenido de energía (Wh).

S = velocidad máxima del vehículo (km/h).

P = potencia máxima del motor (Kw).

### **2.2.18. Bus eléctrico en el mundo**

La cantidad de buses eléctricos en el mundo ha ido incrementado significativamente, debido a que todos los países están adoptando nuevas políticas para acercarse a una movilidad sostenible esto se hace notar más en el continente Asiático específicamente en China.

Con el fin de desglosar de manera oportuna se lo hará de la siguiente manera, por Asia se analizara a China, Europa a Alemania, Latinoamérica a Chile y Ecuador.

#### **2.2.18.1. Electromovilidad en Asia-China**

China es el país líder a nivel mundial en la fabricación de vehículos eléctricos, siendo estos en taxis, automóviles y buses, la producción de este tipo de vehículos se ha expandido por todo el continente Asiático y alrededor del mundo.

- **Políticas públicas para impulsar la electromovilidad en China**

La iniciativa de este país para promover la electromovilidad en su parque automotor en especial sus sistemas de transporte público, fueron elaborar alianzas público privadas, donde el gobierno incentiva proyectos destinados al diseño y construcción de vehículos eléctricos.

Entre las políticas públicas que ha expedido son el impulso a la electrificación del transporte particular y transporte público en las ciudades más importantes de este país, para esto ha invertido 48 mil millones de dólares en el subsidio a esta industria(Cueva, 2019).

En este país existen 487 empresas que se dedican a la producción de vehículos 100% eléctricos. Casi 770 000 vehículos de estas características fueron vendidos en China en el último año, esto representa la mitad de las ventas de vehículos 100% eléctricos a nivel mundial. Estos fabricantes en China, reciben un subsidio de hasta USD 25 900 por vehículo vendido(Cueva, 2019).

En las ciudades que gestionan estas políticas públicas tratan de electrificar completamente los sistemas de transporte público, como es la ciudad de Dalián, en donde para el 2020 solo se venderán taxis y buses 100% eléctricos, estas restricciones se extenderán a los sectores suburbanos.

- **Producción de buses eléctricos en China**

Desde la parte económica haciendo un análisis, hasta el cierre del año fiscal en 2018, las empresas chinas fabricantes de buses eléctricos prácticamente no enfrentaban competencia

extranjera en el mercado internacional pues son los líderes en este mercado, pero esto a su vez no se puede decir en la fabricación de buses a diésel.

En algunas ciudades importantes de China se realizan importantes inversiones en ingeniería del transporte, específicamente en el ámbito sustentable y de electromovilidad, por decir en 2018, en la ciudad de Guangzhou, localizada al sur del país, se invirtieron 795 millones de dólares en la compra de 4810 buses eléctricos, siendo la mayoría provistos por la compañía china BYD(Cueva, 2019).

Estas inversiones y los incentivos por parte del gobierno ha hecho que las empresas privadas con grandes flotas como la empresa Grupo Estatal de Correrros de China, anunció que a partir de 2020 adquirirá solamente vehículos 100% eléctricos. La empresa más sobresaliente en la fabricación de buses con estas características es la empresa China de automóviles 100% eléctricos BYD(Cueva, 2019).

#### 2.2.18.2. *Electromovilidad en Europa-Alemania*

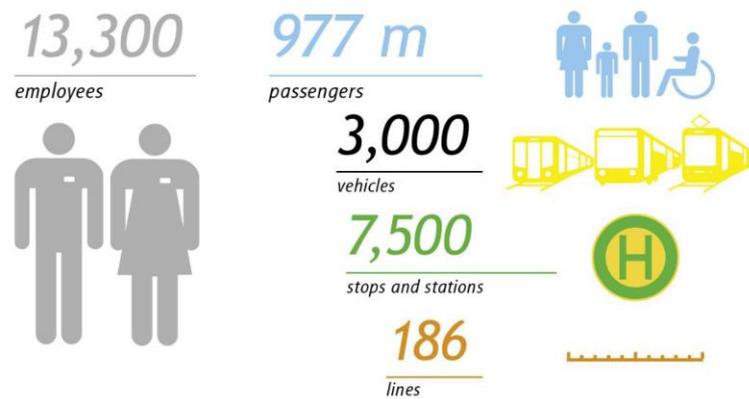
- Políticas públicas para la electromovilidad en Alemania

El gobierno federal cuenta con una política urbana sostenible que es un programa de financiamiento para la inversión en electromovilidad, donde trabajan directamente cuatro ministerios federales, junto a ello el gobierno impulsa un asesoramiento científico integral tanto de las universidades como de los centros privados de investigación. Llegando a una inversión de 300 millones de euros, donde el 60% es financiado por el gobierno federal alemán(Cueva, 2019).

Dado que la mayor parte del financiamiento es para el automóvil particular. Son algunos los proyectos que se manejan para potenciar el uso de autobuses 100% eléctricos, y estos van en aumento. En la actualidad 5 de 18 estados federales cuentan con electromovilidad.

- Sistema de transporte público de Berlín

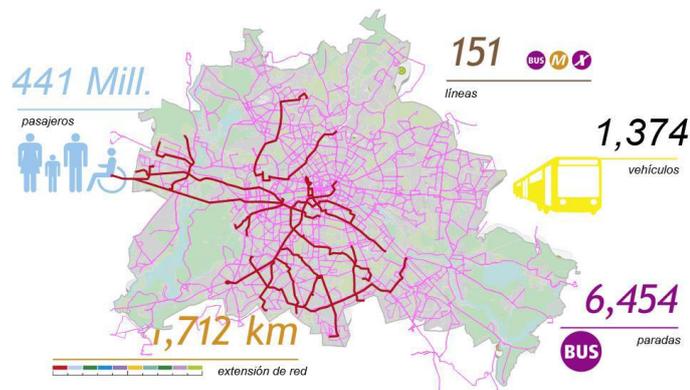
El sistema de transporte urbano de Berlín es gestionado por la empresa BVG, este sistema de transporte dispone con más de 3 000 unidades, el número de pasajeros que lo utiliza anualmente es de un aproximado de 977 millones (Cueva, 2019).



**Figura 1-2:** Datos estadísticos de la empresa BVG

Fuente: (Cueva, 2019)

El sistema de transporte de Berlín cuenta con cerca de 6 500 paradas. Por tal razón es la red de autobuses urbanos más grande de Alemania.



**Figura 2-2:** Rutas del sistema de transporte urbano de Berlín

Fuente: (Cueva, 2019)

- Políticas para la electrificación del sistema de transporte urbano de Berlín

La ciudad de Berlín pertenece a los acuerdos europeos, para que en el 2050 sea libre de emisiones de carbono producidos por los vehículos que utilizan combustibles fósiles, por tal razón se han implementado políticas urbanas en la ciudad que aporten a lograr los objetivos planteados, como es a partir del 2020 solo se deberá adquirir autobuses eléctricos para el sistema de transporte público urbano.

El transporte público eléctrico en Alemania cuenta con:

- 48 Sistemas de tranvía
- Metros
- Sistemas de trolebús

- Características técnicas del bus eléctrico de Berlín

A partir del 2018, Berlín empezó a contar con cuatro buses 100% eléctricos, con las siguientes características: 12 m de largo, un sistema de carga inductiva de baterías, los mismos que tienen dos estaciones de carga en la cabecera y una en el depósito.

El tiempo de carga en las cabeceras es de 4 a 7 minutos. Además cuenta con un sistema de recuperación de energía de frenado, es decir que cuando el vehículo frena parte de su energía cinética se convierte en energía eléctrica y se almacena para utilizarse posteriormente (Cueva, 2019).

#### 2.2.18.3. *Electromovilidad en Latinoamérica - Bogotá*

A partir del 2006, la Secretaría Distrital de Movilidad de la Alcaldía Mayor de Bogotá empezó el proyecto de el Plan Maestro de Movilidad (PMM) mediante el Decreto 319 de 2006, este plan contempla el ordenamiento de estacionamientos, entre otras disposiciones (Ardanuy Ingeniería, 2019).

El PMM establece que el sistema de movilidad debe estar planteado desde el sistema de transporte masivo y sus componentes. Por esta razón, uno de los proyectos más importantes del PMM ha sido el diseño y ejecución del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), que es organizado y gestionado por Transmilenio S.A.

En la actualidad, el SITP es organizado y gestionado por Transmilenio S.A., que es la empresa operadora del sistema BRT de Bogotá.

De 16.029 unidades de autobús:

- 9.717 unidades se integran en el SITP, que supone el 60,6 % de la flota.
- 6.312 unidades son transporte colectivo tradicional, que supone el 39,4 % de la flota.

En 2017, se hace un análisis donde se determina que la inserción de la electromovilidad en el sistema de transporte en autobús en Bogotá era de 436 unidades, esto quiere decir el 2,72 % del total de la flota. En su mayor cantidad de unidades eran autobuses híbridos diésel-eléctricos y tan solo una unidad era eléctrica a baterías (Ardanuy Ingeniería, 2019).

- Políticas en materia de electromovilidad

Bogotá, las acciones que esta ciudad ha emprendido son las que se indica en la tabla 6

**Tabla 7-2:** Historial de acciones relacionadas con nuevas tecnologías en autobuses en Bogotá

AÑO	TIPO DE VEHICULO	MODELO	CAPACIDAD (PAX)	NECESIDAD DE NUEVA INFRAESTRUCTURA	Nº UNIDADES	OPERADOR
2013-2014	Bus híbrido diésel-eléctrico	VOLVO B215RH	80	NO	1 unidad en pruebas *	Express del Futuro
2013	Eléctrico baterías	BUS K 9 ANDINO BYD V1	80	SI		Express del Futuro
2013	Eléctrico baterías	BUS K 9 ANDINO BYD V2	80	SI		Express del Futuro
2014	GNV	Euro VI SCANIA K340	120	SI		Masivo Capital
2015	Bus híbrido diésel-eléctrico	HIGER-SIEMENS	80	NO	1 unidad en pruebas	Empresas de Energía de Bogotá
2015	Bus híbrido diésel-eléctrico	VOLVO B215RH	80	NO	350 unidades en servicio	Gmovil, Summa, Este Es Mi Bus, Consorcio Express
2015	GNV	SCANIA K280 GNV Euro 6	80	SI	27 unidades en servicio	Masivo Capital
2017	Eléctrico baterías	EBUS ANDINO 18 BYD	160	SI	1 unidad en pruebas en troncal	Transmasivo

Fuente: (Ardanuy Ingeniería, 2019)

Se identifica que se ha iniciado acciones de pruebas y sustitución de flotas en buses híbridos diésel-eléctricos, por otro lado los buses eléctricos todavía están en pruebas y ningún operador ha efectuado aún sustituciones de flota solo por unidades.

Desde abril de 2014, la estrategia que se tomó en la Carrera Séptima se fundamenta en la operación de 200 autobuses híbridos diésel-eléctricos, avanzando hasta 2017 donde en Bogotá ya circulaban 435 autobuses híbridos diésel eléctricos, que suponían el 2,71 % de los autobuses totales de esa ciudad y el 4,48 % de la flota del SITP(Ardanuy Ingeniería, 2019).

El modelo VOLVO B215RH participó en las pruebas piloto del “Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos”. Este programa permitió medir las emisiones y el consumo energético de 17 buses híbridos y eléctricos en las ciudades de Bogotá, São Paulo, Río de Janeiro y Santiago, que permanecieron por 30 horas de pruebas bajo el mismo régimen de conducción, establecidos por las autoridades de control de sus ciudades. Los resultados obtenidos en base a los buses híbridos fueron:

- Reducción de emisiones de CO2 hasta en un 35 %
- Las reducciones promedio de emisiones contaminantes locales estuvieron entre el 60% y el 80%.
- Disminución del 30 % en consumo de combustible.
- Un costo inicial de compra superior al de los buses tradicionales en aproximadamente 50-60 %.

- La batería de fosfato de hierro con iones litio tienen una vida útil estimada en 5.000 ciclos de carga- descarga.

El proyecto energético de Bogotá consiste en la introducción de autobuses híbridos de 12 metros y en analizar la operación durante los 15 años de vida útil. El tiempo de evaluación del proyecto es de 20 años. El escenario base de este proyecto establece un punto de partida que son los costos de adquisición incrementales del precio del bus híbrido frente al de diésel Euro V como lo indica en la tabla 7:

**Tabla 8-2:** Resumen de resultados del escenario base de los proyectos de sustitución en Bogotá

LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA ACTUAL	RESULTADOS ESCENARIO BASE				
		ECONÓMICOS		AMBIENTALES		
		VPN (USD)	TIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO <sub>2</sub> (T)	VALORACIÓN DEL AHORRO DE CO <sub>2</sub> (USD)
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	-289.707.253	-	200.675	547.111	4.568.373
	20 %	-580.319.381	-	401.977	1.095.931	9.151.022
	40 %	-1.160.639.684	-	803.955	2.191.862	18.302.044
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	-210.892.786	-	668.917	1.574.375	13.146.031
	20 %	-422.444.612	-	1.339.925	3.153.670	26.333.144
	40 %	-844.889.224	-	2.679.850	6.307.340	52.666.288

Fuente: (Ardanuy Ingeniería, 2019)

#### 2.2.18.4. Electromovilidad en Ecuador

- Políticas públicas para impulsar la movilidad sostenible

Ecuador apuesta la utilización de vehículos eléctricos tanto en el sector público como en el privado en el marco del cambio de la matriz energética, el gobierno nacional tiene focalizado este proyecto como base para contribuir el cuidado del medio ambiente, y así se considere este tipo de vehículo como la solución a diversos problemas existentes principalmente en las grandes ciudades como: económicos, medioambientales y salud. Adicional a lo antes mencionado se necesita establecer un plan estratégico bien diseñado previo a la adquisición de vehículos eléctricos en áreas como: incentivos, aceptación costes, infraestructura y esto conlleva temas alternos como puntos de recarga, conexión, kilometrajes recorridos que son aspectos que influyen en el desempeño de este tipo de transporte(Santana, 2016).

Por tal razón Ecuador ha realizado avances importantes en el tema de electromovilidad ya que ha dispuesto varios beneficios tributarios y fiscales a la importación de vehículos eléctricos para facilitar su entrada al mercado nacional.

En el país actualmente no existen empresas que se dediquen a la producción o ensamblaje de este tipo de transporte, el gobierno para fomentar e incentivar este sector dio apertura a la importación de vehículos 100% eléctricos con la exoneración de varios impuestos como se indica en la tabla 8-2 la reducción del pago del ICE según el valor del vehículo a importar

**Tabla 9-2:** Tabla de exoneración al impuesto ICE para vehículos eléctricos en Ecuador

Vehículo (tecnología)	Precio del vehículo	ICE%
Híbrido o eléctrico	Hasta \$35000	0%
	\$35000 - \$40000	8%
	\$40000 - \$50000	14%
	\$50000 - \$60000	20%
	\$60000 - \$70000	26%
	Mayores a \$70000	32%

Fuente: <https://www.sri.gob.ec/o/sri-portlet-biblioteca-alfresco-internet/descargar/32f6f48d-426a-4a84-80b4>

2395550d9bbf/Tarifas+ICE.pdf

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

Con lo referente al impuesto verde, el cual se aplica en función de la antigüedad y cilindraje de todo vehículo, los vehículos eléctricos están libres de este impuesto, en referencia del Impuesto del Valor Agregado (IVA), los vehículos 100% eléctricos o híbridos con una tasa imponible menor a \$35 000 dólares estadounidenses, no gravan IVA (Cueva, 2019).

- Tarifa diferenciada para la recarga de vehículos 100% eléctricos

Otro incentivo que el gobierno proyecta para fomentar la electromovilidad es en el sistema de carga de las unidades, puesto que diseñó una tarifa diferenciada que se representa en la tabla 10-2.

**Tabla 10-2:** Precio de carga de vehículos 100% eléctricos

Horario	Precio del Kw/h en USD
22h00-04h00	0,08
04h00-18h00	0,05
18h00-22h00	0,10

Fuente: (Cueva, 2019)

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

- Buses eléctricos en Guayaquil

Guayaquil es la ciudad que posee actualmente la flota de buses eléctricos con más unidades en el Ecuador con un total de 20 vehículos propias, este tipo de transporte pertenece a la línea 89 del cantón Guayaquil, el fabricante de estos buses es la marca china BYD. Para la obtención de estas unidades y puestas a funcionamiento se hizo una inversión de \$8.4 millones de dólares

estadounidenses, donde casi en su totalidad se obtuvieron de un crédito de la Corporación Financiera Nacional (J. Gonzalez, 2018).

Las pruebas realizadas con los buses eléctricos por la empresa de transporte fueron en el año 2017, identificando la conformidad por parte de los usuarios con el servicio, haciendo énfasis que estos tipos de transporte cuentan con aire acondicionado y no generan ruido en su desplazamiento y lo más importante el movimiento lo generan 32 módulos de baterías hechas con hierro de fosfato, que pueden recorrer 240 kilómetros al día en promedio, según las previsiones. La empresa de transporte dueña de esta flota de vehículos aprovecho las políticas públicas para impulsar la movilidad sostenible en el país expresadas en la tabla 10-2 (J. Gonzalez, 2018).

- Buses eléctricos en Quito

En la ciudad de Quito a partir del mes de Julio se empezaron a realizar las pruebas de operación con tres buses eléctricos de la marca China BYD, estas pruebas estuvieron a cargo de una empresa privada con rutas diferentes y están unidades eran de dos tipos, uno de estos vehículos era articulado con capacidad para 160 personas, y los otros dos vehículos de 12 metros de largo con una capacidad para 80 personas. Estos vehículos poseen un centro de control 100% electrónico, sistema de automatizado el cual no permite el exceso de velocidad y un sistema de control de las puertas el mismo que no permite abrirlas mientras se encuentra en movimiento y se desplaza sin generar ruidos (Bravo, 2018).

El propósito de realizar las pruebas en rutas diferentes fue con el objetivo de recorrer la variada geografía de la ciudad de Quito, y a la vez recolectar datos como el consumo de energía, ahorro económico en combustible y mantenimiento de las unidades, esta operación es un trabajo mancomunado entre la empresa privada junto con las autoridades locales y nacionales, ejecutando así acciones concretas que llevan hacia una electromovilidad en el transporte público urbano, y a una reducción de las emisiones de gases contaminantes y contaminación auditiva generada por el sistema de transporte público (Bravo, 2018).

#### 2.2.18.5. *Incidencia de los buses eléctricos*

La inclusión del bus eléctrico en el sistema de transporte público van adoptando cada vez más ciudades a nivel mundial, por el compromiso que van adquiriendo en el cuidado del medio ambiente, pero la utilización de ese tipo de transporte genera impactos como se detalla a continuación.

- Impacto sobre las redes de distribución

La carga de flotas de buses eléctricos generan impactos en las redes de distribución, en los cuales son 5 los aspectos principales que el autor opina que degradan la calidad de energía del sector e incluso de la ciudad como son: Caídas de tensión, pérdida de energía, aumento de la carga máxima, distorsión armónica y pérdida de energía (Alejandro & Barrero, 2021).

Los impactos en la tensión de las redes en formas de caída son más graves si la carga se lo realiza mediante un cargador de carga rápida, esto quiere decir que el cargador que el cargador entre más capacidad tenga produce una caída de tensión peor, adicional a esto están los transformadores que presentan problemas de tensión. Estos problemas elevan la temperatura en los conductores más cercanos a los alimentadores ya que deben alimentar a todos los usuarios y aparece nuevamente el cargador con más capacidad de potencia debido a que la red de distribución deberá ser remplazada hasta 2km del punto de carga debido al impacto sobre la red de distribución (Alejandro & Barrero, 2021).

La potencia de un cargador de carga rápida es mayor que los de carga lenta por consiguiente los transformadores para carga rápida suelen ser 5 o 6 veces el tamaño de uno de carga lenta estos valores se representan en la tabla 8.4 (Alejandro & Barrero, 2021).

**Tabla 11-2:** Tamaño del transformador según el tipo de carga

Tipo de carga	Rápida	Rápida	Rápida	Lenta	Lenta
Poder del cargador (kw)	500	250	250	80	200
Tamaño del transformador (kVA)	1500	1250	1250	250	400
Demanda promedio (kVA)	173,612	164,93	197,92	144,17	145,84

Fuente: (Alejandro & Barrero, 2021)

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

Ciertos autores lograron de terminar cuanto es el consumo promedio por Km de un bus eléctrico de 12m que es el vehículo más utilizado en el sistema de transporte público en el mundo en la tabla 11-2 se detallan los datos

**Tabla 12-2:** Consumo de energía promedio de un bus eléctrico

Autor	Energía (kWh/km)
Barrero	1,42
Gallet	1,75
Zhou	1,62
Gao	1,24

Fuente: (Alejandro & Barrero, 2021)

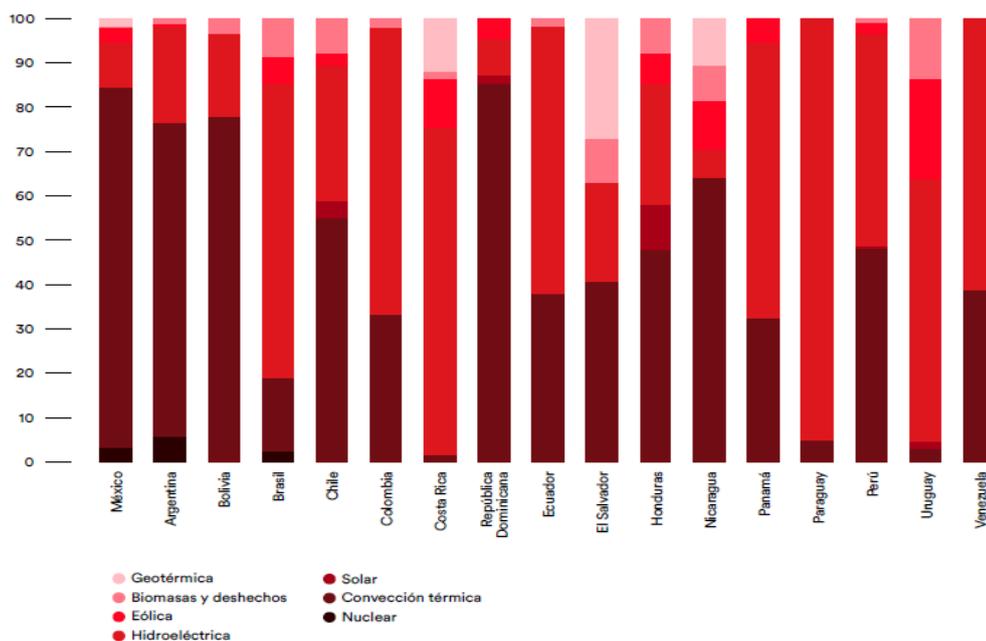
Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

- Impacto sobre el medio ambiente

Las emisiones de gases de efecto invernadero están relacionadas en mayor porcentaje con el sector del transporte, y se considera un factor clave al realizar proyectos sobre electromovilidad debido a que conlleva un beneficio social que es la reducción de los efectos en la salud específicamente en enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Los indicadores ambientales que están asociados al sistema de transporte son las denominadas “tank to wheel” (del depósito a la rueda) y emisiones del sistema, conocidas como “well to tank” (del pozo al depósito) son las emisiones causadas directamente por el consumo de carburante por el vehículo, también incluyen las emisiones previas asociadas a la extracción, refinación y transporte del combustible, causadas por los combustibles fósiles utilizados en esos procesos o en la generación del sistema eléctrico (Ardanuy Ingeniería, 2019).

Para combustibles fósiles, se estima que la emisión WTT está un 20 % y 30 % mayor que la emisión TTW, a diferencia las emisiones directas TTW generadas por el autobús eléctrico a baterías son cero, pues el motor eléctrico no genera gases contaminantes. Estas emisiones pueden ser cercanas a cero si la generación proviene de fuentes bajas en carbono, como la hidroelectricidad, la energía solar o la energía eólica, específicamente del porcentaje de energía eléctrica obtenida de fuentes renovables y limpias (Ardanuy Ingeniería, 2019).

La producción de energía eléctrica puede tener origen de generación limpia (energías renovables) o generación emisora de CO<sub>2</sub> (termoeléctricas)



**Gráfico 6-2:** Capacidad eléctrica instalada según fuente de generación de energía en América Latina  
**Fuente:** (Ardanuy Ingeniería, 2019)

**Tabla 13-2:** Emisión y ahorro (t) de CO2 en los distintos países

LUGAR Y TECNOLOGÍA	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA	Nº DE AUTOBUSES A SUSTITUIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO <sub>2</sub> (T)
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	1.600	200.675	547.111
	20 %	3.205	401.977	1.095.931
	40 %	6.410	803.955	2.191.862
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	1.600	668.917	1.574.375
	20 %	3.205	1.339.925	3.153.670
	40 %	6.410	2.679.850	6.307.340
QUITO (eléctrico)	10 %	300	119.450	191.921
	20 %	600	238.899	383.842
	40 %	1.205	479.789	770.884
MONTEVIDEO (eléctrico)	10 %	150	252.934	756.733
	20 %	300	125.422	375.239
	40 %	605	62.711	187.620
SANTIAGO (eléctrico)	10 %	660	1.434.442	605.131
	20 %	1.325	715.870	1.214.846
	40 %	2.655	356.584	2.434.277

Fuente: (Ardanuy Ingeniería, 2019)

De tal manera, en función del número de unidades de la flota a sustituir, y considerando los kilómetros recorridos en cada ciudad durante los 20 años de estudio y el ratio de emisión, se obtiene la cantidad de óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión emitidas en cada caso y, por tanto, el ahorro de los contaminantes emitidos al introducir autobuses eléctricos o híbridos.

**Tabla 14-2:** Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero en la implantación de autobuses eléctricos en América Latina

LUGAR DEL PROYECTO	SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA	AHORRO DE EMISIONES (T)							
		CO <sub>2</sub>	NOX	PM	CO	NMCOV	N2O	NH3	CH4
BOGOTÁ (híbrido)	1.600-10 %	2.395.530	1.735	26	125	12	18	16	98
	3.205-20 %	1.197.765	3.476	52	251	25	36	33	197
	6.410-40 %	597.948	6.952	104	502	50	72	65	394
BOGOTÁ (eléctrico)	1.600-10 %	1.574.375	5.784	86	417	41	60	54	328
	3.205-20 %	3.153.670	11.587	173	836	82	120	109	656
	6.410-40 %	6.307.340	23.174	346	1.672	165	240	217	1.312
QUITO (eléctrico)	300-10 %	807.347	1.085	16	78	8	11	10	61
	600-20 %	401.999	2.169	32	157	15	22	20	123
	1.205-40 %	200.999	4.356	65	314	31	45	41	247
MONTEVIDEO (eléctrico)	150-10 %	756.733	542	8	39	4	6	5	31
	300-20 %	375.239	1.085	16	78	8	11	10	61
	605-40 %	187.620	2.187	33	158	16	23	21	124
SANTIAGO (eléctrico)	660-10 %	2.543.295	3.084	46	223	22	32	29	175
	1.325-20 %	1.269.252	6.191	93	447	44	64	58	351
	2.655-40 %	632.231	12.404	185	895	88	128	116	703

Fuente: (Ardanuy Ingeniería, 2019)

En el tema de las baterías de los vehículos eléctricos las de ion-litio están en continuo desarrollo específicamente en el área de transporte. Según el estudio “Electric Buses in Cities. Driving towards Cleaner Air and Lower CO2”, realizado por Bloomberg New Energy Finance (2018), Existe una legislación estructurada para reducir la liberación de mercurio y cadmio por tal razón se deben contemplar leyes que obliguen al usuario a devolver las baterías al fabricante para su reciclaje(Ardanuy Ingeniería, 2019).

En la actualidad los métodos de reciclaje utilizados para las baterías de ion-litio se basan en un proceso pirometalúrgico. Esto implica fundir los componentes de la batería en sustancias o en materia prima pero no produce material con la pureza suficiente como para ser reutilizado en la fabricación de baterías.

- Impacto socioeconómico

Los elevados costos que conlleva la inversión inicial para la adquisición de este tipo de vehículos y la construcción de la infraestructura constituyen una de las principales barreras para el remplazo de las tradicionales flotas de autobuses con motores diésel por tecnologías más limpias, en particular la eléctrica.

Por otra parte, las operadoras de transporte tienen conocimiento que algunos costos de operación de vehículos eléctricos son más bajos que los costos de operación en diésel, especialmente el consumo, que es uno de los principales costos de operación, la determinación de los costos de operación, el comportamiento y la duración de los motores eléctricos y las baterías es una incógnita que puede hacer los modelos financieros poco confiables(Ardanuy Ingeniería, 2019).

Los buses eléctricos se empezarán a retirar a partir del año 15, debido a que ese es su tiempo de vida útil por tal razón se plantea una reducción del costo hasta de un 40% mejorando el VPN. Detallando que la infraestructura vial es la misma para ambos tipos de energía (combustibles fósiles y energía eléctrica) pero si se considera la implantación de una red privada de puntos de recarga en las estaciones, estimando una inversión media de USD 3.000 por punto de recarga privada, para un cargador rápido de 40 minutos(Ardanuy Ingeniería, 2019).

El escenario base considera un punto de partida donde se representan los costos de adquisición entre el bus eléctrico y el diésel euro V.

Precio actual del autobús eléctrico BYD K9 (100 % eléctrico): USD 419500.

Precio actual del autobús diésel Volvo B7R Euro V: USD 132000

Costo de adquisición incremental respecto del diésel de USD 240.000.

$$\text{USD } 419500 - \text{USD } 132000 = \text{USD } 287000$$

Costo de adquisición incremental respecto del diésel a los 15 años de USD 67.200, considerando una reducción del precio en el e-bus por competencia de mercado del 40%. Se considera una tasa de descuento del 12 %.

$$(\text{USD } 419500 \times 0,60) - \text{USD } 132.000 = \text{USD } 119700$$

**Tabla 15-2:** Resultados del proyecto de e-buses por metas en Quito

LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA ACTUAL	RESULTADOS ESCENARIO BASE				
		ECONÓMICOS		AMBIENTALES		
		VPN (\$)	TIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO <sub>2</sub> (T)	VALORACIÓN DEL AHORRO DE CO <sub>2</sub> (\$)
QUITO (eléctrico)	10 %	-57.139.841	-	119.450	191.921	1.602.542
	20 %	-114.279.682	-	238.899	383.899	3.205.084
	40 %	-229.511.695	-	479.789	770.884	6.436.878

Fuente: (Ardanuy Ingeniería, 2019).

### 2.2.19. Comparación y elección del mejor bus eléctrico

Para Realizar una comparación entre buses de diferente marca y seleccionar el más conveniente se deben considerar los aspectos más relevantes que considera el fabricante para que se pueda adaptar a los parámetros operacionales de un sistema de transporte y las características del medio donde se desenvuelve, los aspectos que considera el fabricante en base a los parámetros operacionales son:

- Autonomía
- Tiempo de carga
- Capacidad de la batería
- Capacidad de pasajeros
- Potencia del motor eléctrico, en base al porcentaje de pendiente máxima a la que tiene que vencer
- Velocidad máxima
- Tipo de batería

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Movilidad eléctrica**

Se entiende a todo desplazamiento de personas o bienes que hayan sido realizados por un vehículo alimentado por electricidad y que no tengan dependencia del petróleo o fuentes de energía fósiles (ONU Medio Ambiente, 2018).

### **2.3.2. Movilidad urbana**

Engloba los distintos traslados de personas que ocurren en el interior de la ciudad mediante redes de conexión, usando los diferentes tipos de transporte colectivo especialmente los que tienen como referencia la calidad de vida, movilidad y el uso del espacio público (Jans B., 2009).

### **2.3.3. Bus Urbano:**

Automóvil de transporte público con capacidad determinada de pasajeros que realiza un trayecto fijo dentro de una población con ciertos recorridos.

### **2.3.4. Congestión vehicular**

La palabra “congestionamiento” es aplicada en el ámbito del tránsito vehicular, es usada en el lenguaje de técnicos y por ciudadanos en general. El Diccionario de (Asociación de academias de la lengua española, 2014) la define como “embotellamiento de automóviles”, en tanto que “congestionar” significa “obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento de algo” que, en nuestro tema de estudio, es el tránsito vehicular. De esta manera se considera como el estado en el que muchos vehículos circulan o avanzan, ya sea lenta o irregularmente (Thomson & Bull, 2001).

### **2.3.5. Seguridad vial**

conjunto de acciones, medidas y estrategias orientadas a la prevención de siniestros de tránsito, anular o disminuir el riesgo de muerte o lesión de las personas en sus desplazamientos, ya sea en medios motorizados o no motorizados, y proteger la vida de los usuarios de las vías (Ley 1503 de 2011).

### **2.3.6. *Rutas***

Se le conoce a las carreteras, un camino de dos manos, generalmente asfaltado, para el tránsito vehicular interurbano.

### **2.3.7. *Frecuencia***

Se considera al número de unidades que brindan un servicio de transporte público durante un periodo de tiempo.

### **2.3.8. *Cobertura***

Extensión territorial que alcanza u ofrece un servicio, especialmente en el transporte.

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Modalidad

El presente trabajo de investigación es de tipo cuantitativo, ya que se usa varios métodos de análisis sobre cada una de sus variables. Esto permitirá cuantificar la situación actual de las variables que intervienen en la movilidad de parte del transporte público urbano como lo son los parámetros operacionales.

Para la obtención de datos cuantitativos se realizaron análisis técnicos de las características de los buses eléctricos como autonomía, potencia, y los parámetros operacionales en las que funciona el transporte público urbano realizando un análisis del impacto ambiental, a redes de distribución y económico.

Cualitativo, para la obtención de datos cualitativos se realizó una ficha de observación de la infraestructura del transporte público urbano, las condiciones en las que se desenvuelve su forma de operar especialmente en las líneas que presenta mayor novedades de operación, como distancia, geografía del suelo por donde circula, estado de la vía.

La Ficha de observación se realizó con interrogantes basadas en los objetivos de investigación de la presente tesis, así como en los temas abarcados en el marco teórico. Realizando un trabajo de campo permite al investigador realizar conclusiones y estructurar la propuesta de la presente investigación, presentadas en el capítulo 4 de la presente tesis.

#### 3.2. Tipos

El presente trabajo de investigación será de tipo descriptivo porque observará a detalle la movilidad actual y apreciara cuál es su capacidad de cobertura y sus características principales, siempre considerando al transporte de personas como objetivo principal.

Se tendrá presente la investigación de campo por la recolección de información que se obtendrá a partir de fichas de observación, análisis de parámetros recolectados tanto en las vías e infraestructura de la ciudad de Riobamba y otros puntos de referencia, para contrastar los conocimientos adquiridos con la realidad social, a fin de estudiar la situación actual para el diagnóstico de las necesidades y los problemas, se utilizará como técnicas la observación.

Será de tipo exploratoria se lo realizará en el lugar de estudio donde permite obtener nuevos conocimientos de campo como realidad social en el cual se identifica necesidades y problemas existentes.

La investigación documental y bibliográfica: Por este medio se logró adquirir conocimientos teórico-conceptuales con la información necesaria y precisa para entender de mejor manera el tema, para lo cual se analizaron libros, documentos, tesis, páginas web, normativas, artículos científicos, entre otros que contribuyeron a la realización de este proyecto, para posteriormente a partir de esto recolectar información en campo.

### **3.3. Métodos técnicas e instrumentos**

#### **3.3.1. Métodos**

Los métodos que se utilizaron para realizar la presente investigación son:

##### *3.3.1.1. Método Deductivo*

Este método va de lo particular a lo general, por consiguiente, el razonamiento deductivo se considera la principal característica del enfoque cuantitativo, por tal razón se aplicará en el desarrollo del marco teórico y así plantear estrategias, aplicando el razonamiento inductivo en el cual se fundamenta el enfoque cualitativo de la investigación (Kerlinger & Lee, 2002).

Se realizará un análisis de las condiciones técnicas que debe tener un bus eléctrico, para su funcionamiento en el transporte público urbano, realizando una comparación con los beneficios en otras ciudades y el impacto que la inserción de este tipo de transporte puede generar en la sociedad.

##### *3.3.1.2. Método Analítico*

El trabajo de investigación se inicia con un análisis identificando las variables del problema, analizándolas por separado, realizando una síntesis a los objetivos planteados y poder dar una descripción integra mediante información recabada por fichas de observación y la revisión documental sobre el posible comportamiento de los buses eléctricos en el transporte público.

### *3.3.1.3. Método sintético*

Este método aplica la síntesis, en base a la unión de los elementos estudiados para formar un todo para la elaboración del informe del estudio realizado. En este proyecto se procede a la estructuración y se agrupa los datos obtenidos para finalmente elaborar el informe con las respectivas conclusiones.

### *3.3.2. Técnicas de recolección de datos*

En el transcurso de la realización del estudio se aplicaron dos técnicas de investigación.

- **Revisión documental:** Conllevó a obtener información relacionada al tema a desarrollar como es la inserción de vehículos eléctricos en el transporte urbano en otras ciudades del mundo y los aspectos a considerar para implementar en la ciudad de Riobamba.
- **Observación directa:** Es donde el investigador se pone en contacto con el hecho o fenómeno que es objeto de investigación, la cual aporta con información de campo, obteniendo el estado actual de los parámetros operacionales del transporte urbano, como es: la infraestructura, señalética y la gestión del tráfico, como la forma de operar del transporte.

### *3.3.3. Instrumentos de recolección de datos*

Para recolectar la información durante el desarrollo de la investigación se utilizó los siguientes instrumentos.

- **FICHA:** Es el documento que contiene el levantamiento de la información de campo el cual consistió en una guía con 12 preguntas a determinar el estado de ciertos parámetros, que nos aportarían información para sustentar el objetivo 1 planteado en este proyecto de investigación, este instrumento se lo aplicó en campo de manera física donde el investigador se dirigió a las rutas que tienen las diferentes líneas y verificar los puntos planteados (Anexo A).
- **FUENTES BIBLIOGRAFICAS:** Corresponde a la información y datos que se obtuvieron de estudios, informes, libros, revistas y sitios web que aportan de manera significativa para el análisis de los parámetros operacionales y los aspectos del impacto que genera el funcionamiento de este tipo de transporte, sin dejar a un lado la recopilación de información secundaria que ayuda a mejorar los conceptos y propuestas de las variables estudiadas.

### **3.3.4. Metodología de recolección de datos**

Recopilación de información primaria en las vías de la ciudad:

- Con la ficha de observación se levantará la información de las rutas, parámetros operacionales, condiciones de la infraestructura y redes de distribución. Para lo cual se requirió la colaboración de los transportistas, empresas municipales y ciudadanía para obtener datos confiables y seguros para el análisis.
- El procedimiento de recolección de datos se realizará en días típicos y atípicos con la finalidad de obtener datos reales, para lo cual en un periodo de 14 días consecutivos se eligieron los días de acuerdo a la necesidad para este levantamiento.

### **3.4. Enfoque de la investigación**

La investigación tiene un enfoque Cualitativo y cuantitativo, puesto que, en el levantamiento o recolección de la información estas se combinan a lo largo de la investigación, desde el inicio del planteamiento del problema, la metodología para la recolección de datos y con el análisis e interpretación de resultados.

#### **3.4.1. Enfoque Cuantitativo**

Para la obtención de datos cuantitativos se realizaron análisis técnicos de las características de los buses eléctricos como autonomía, potencia, y los parámetros operacionales en las que funciona el transporte público urbano realizando una comparación con datos de las empresas fabricantes para determinar si es viable o no el funcionamiento de ese tipo de vehículos en la ciudad de Riobamba.

#### **3.4.2. Enfoque Cualitativo**

Para la obtención de datos cualitativos se realizó una ficha de observación de la infraestructura del transporte público urbano, las condiciones en las que se desenvuelve su forma de operar especialmente en las líneas que presenta mayor novedades de operación, como distancia, geografía del suelo por donde circula, estado de la vía.

La Ficha de observación se realizó con interrogantes basadas en los objetivos de investigación de la presente tesis, así como en los temas abarcados en el marco teórico. Realizando un trabajo de campo permite al investigador realizar conclusiones y estructurar la propuesta de la presente investigación, presentadas en el capítulo 4 de la presente tesis.

### **3.5. Alcance Investigativo**

La investigación tiene como propósito realizar un análisis donde se determinará la viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el transporte urbano en el cantón Riobamba teniendo un alcance observacional, descriptivo y explicativo, donde se explicarán los parámetros en los diferentes sectores analizados como: operacional, técnico y comparativo con modelos ya establecidos que se debe considerar para la inserción de este tipo de vehículos.

### **3.6. Población y muestra**

#### ***3.6.1. Población de estudio***

La población de estudio va a estar conformada por todas las posibles rutas infinitas que realizan las unidades del transporte urbano del cantón Riobamba, puesto que ahí se van a obtener los indicadores que van a brindar información sobre los parámetros operacionales, estado de infraestructura y el estado del sistema actual del transporte urbano.

#### ***3.6.2. Selección de la muestra***

El proyecto se enfoca en la viabilidad técnica para el funcionamiento de buses eléctricos en el sistema de transporte público por tal razón se deben analizar los parámetros operacionales en cada ruta por tal razón la población y muestra serán las 16 rutas que tiene el sistema de transporte público del cantón Riobamba.

#### ***3.6.3. Tamaño de la muestra***

Al considerarse en la población un número infinito de rutas la muestra que se tomara para el análisis son las 16 rutas de transporte público urbano del cantón Riobamba

### **3.7. Unidad de Análisis**

En la viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema de transporte urbano en el cantón Riobamba. Se tendrán en cuenta los parámetros de funcionamiento de este tipo de transporte y la influencia con el medio ambiente y la sociedad.

## CAPÍTULO IV

### 4. EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA

#### 4.1. Análisis de resultados parámetros operacionales

En base a una revisión documental y bibliográfica junto con la información que nos proporciona la ficha de observación, se obtiene los siguientes los resultados que se presenta a continuación y así, se lograra evidenciar la situación actual del sistema de transporte público.

##### 4.1.1. Operadoras de transporte público

El cantón de Riobamba tiene 7 operadoras de transporte, donde 3 de ellas son cooperativas y 4 compañías, distribuyéndose en 16 líneas de transporte, donde la Cooperativa Puruha es la de mayor porcentaje en cuanto a flota vehicular se refiere con 56 unidades.

**Tabla 1-4:** Número de Unidades por operadora de transporte público

Operadora	Número de unidades
Cooperativa Puruha	56
Cooperativa Liribamba	41
Cooperativa Sagrario	31
Compañía Bustrap S.A.	13
Compañía Unitraseer	28
Compañía Ecoturisa	9
Compañía Urbesp	6
<b>TOTAL</b>	<b>184</b>

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

##### 4.1.2. Líneas del sistema de transporte público urbano

En base al contrato de operación vigente en el cantón Riobamba, existen 16 líneas que operan brindando el servicio de transporte público las líneas que disponen con más unidades de transporte son la 13 Sixto Duran - San Miguel de Tapi con 15 unidades y la 14 Libertad - San Miguel de Tapi con 15 unidades.

**Tabla 2-4:** Número de unidades por línea en base al contrato de operación

Nº	Nombre de la línea	Nº de unidades
1	Santa Ana – Bellavista	12
2	24 de Mayo – Bellavista	12
3	Santa Anita - Camal – Mayorista	12
4	Lican – Bellavista	8
5	Corona Real – Bellavista	8
6	Miraflores – Bellavista	8
7	Inmaculada - El Rosal	14
8	Yaruquies - Las Abras	14
9	Mercado Mayorista - Los Pinos – Lican	12
10	Los Pinos - San Antonio	10
11	Terminal Interparroquial – Mayorista	10
12	San Gerardo – Batan	12
13	Sixto Duran - San Miguel de Tapi	15
14	Libertad - San Miguel de Tapi	15
15	Lican - Espoch – Unach	10
16	Calpi - La Paz	6
<b>TOTAL</b>		<b>178</b>

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

#### **4.1.3. Operación del sistema de transporte público**

En la siguiente tabla se muestra cómo opera cada una de las 16 líneas en su frecuencia de lanzamiento, donde se identifica que las líneas que tienen menor tiempo en su frecuencia de lanzamiento son: Santa Ana – Bellavista, 24 de Mayo – Bellavista y Yaruquies - Las Abras ya sea en hora pico o en el resto del día.

**Tabla 3-4:** Operación por línea de transporte

N°	Nombre de la línea	Tipo de recorrido	Frecuencia de lanzamiento		Periodo de trabajo
			Hora pico (min)	Resto del día (min)	
1	Santa Ana – Bellavista	Circuito cerrado	6	8	06:10 a 21:30
2	24 de Mayo – Bellavista	Circuito cerrado	6	8	06:10 a 21:30
3	Santa Anita - Camal – Mayorista	Circuito cerrado	6	10	
4	Lican – Bellavista	Circuito cerrado	12	12	06:10 a 21:30
5	Corona Real – Bellavista	Circuito cerrado	12	12	06:10 a 21:30
6	Miraflores – Bellavista	Circuito cerrado	12	12	06:10 a 21:30
7	Inmaculada - El Rosal	Circuito cerrado	7	9	06:15 a 19:00
8	Yaruquies - Las Abras	Circuito cerrado	5	7	06:15 a 20:00
9	Mercado Mayorista - Los Pinos – Lican	Circuito cerrado	10	13	06:10 a 19:30
10	Los Pinos - San Antonio	Circuito cerrado	15	15	06:15 a 17:00
11	Terminal Interparroquial – Mayorista	Circuito cerrado	20	20	06:20 a 12:00
12	San Gerardo – Batan	Circuito cerrado	6	10	06:15 a 19:00
13	Sixto Duran - San Miguel de Tapi	Circuito cerrado	6	8	06:00 a 21:00
14	Libertad - San Miguel de Tapi	Circuito cerrado	6	8	06:00 a 21:00
15	Lican - Espoch – Unach	Circuito cerrado	6	10	06:15 a 19:00
16	Calpi - La Paz	Circuito cerrado	12	12	06:20 a 21:30

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

#### 4.1.4. Distancia recorrida, Número de ciclos diarios y pasajeros por cada línea de transporte

En la siguiente tabla se representa un resumen de los indicadores ante mencionados.

**Tabla 4-4:** Indicadores de parámetros de operación

N°	Nombre de la línea	Recorrido por vuelta Km	N° de ciclos diarios promedio	Tiempo recorrido (Minutos)	Velocidad operacional (Km/h)	Pasajeros diarios promedio por unidad	Distancia total recorrida
1	Santa Ana – Bellavista	22,60	7	83	16,34	716	158,2
2	24 de Mayo – Bellavista	20,40	7	83	14,75		142,8
3	Santa Anita - Camal – Mayorista	25,00	6	92	16,30		150
4	Lican – Bellavista	22,10	8	89	14,90		176,8
5	Corona Real – Bellavista	31,60	7	105	18,06		221,2
6	Miraflores – Bellavista	23,00	8	91	15,16		184
7	Inmaculada - El Rosal	33,10	6	115	17,27		198,6
8	Yaruquies - Las Abras	19,50	8	92	12,72		156
9	Mercado Mayorista - Los Pinos – Lican	27,20	7	105	15,54		190,4
10	Los Pinos - San Antonio	26,50	7	96	16,56		185,5
11	Terminal Interparroquial – Mayorista	18,50	3	80	13,88		55,5
12	San Gerardo – Batan	21,90	7	90	14,60		153,3
13	Sixto Duran - San Miguel de Tapi	24,50	8	106	13,87		196
14	Libertad - San Miguel de Tapi	31,20	7	121	15,47		218,4
15	Lican - Espoch – Unach	20,50	7	86	14,30		143,5
16	Calpi - La Paz	22,30	7	90	14,87		156,1
	<b>Total/promedio</b>			<b>95,25</b>	<b>15,29</b>		<b>11463</b>

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

#### 4.1.5. Velocidad operacional del servicio de transporte público

**Tabla 5-4:** Velocidad operacional

N°	Nombre de la línea	Distancia recorrida (Km)	Tiempo recorrido (Minutos)	Velocidad operacional (Km/h)
1	Santa Ana – Bellavista	22,60	83	16,34
2	24 de Mayo – Bellavista	20,40	83	14,75
3	Santa Anita - Camal – Mayorista	25,00	92	16,30
4	Lican – Bellavista	22,10	89	14,90
5	Corona Real – Bellavista	31,60	105	18,06
6	Miraflores – Bellavista	23,00	91	15,16
7	Inmaculada - El Rosal	33,10	115	17,27
8	Yaruquies - Las Abras	19,50	92	12,72
9	Mercado Mayorista - los Pinos – Lican	27,20	105	15,54
10	Los Pinos - San Antonio	26,50	96	16,56
11	Terminal Interparroquial – Mayorista	18,50	80	13,88
12	San Gerardo – Batan	21,90	90	14,60
13	Sixto Duran - San Miguel de Tapi	24,50	106	13,87
14	Libertad - San Miguel de Tapi	31,20	121	15,47
15	Lican - Espoch – Unach	20,50	86	14,30
16	Calpi - La Paz	22,30	90	14,87
	<b>Promedio</b>	<b>24,37</b>	<b>95,25</b>	<b>15,29</b>

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

#### 4.1.6. Infraestructura vial

Para la operación del transporte público una de las características a considerar es el elemento físico que participa en la provisión de un adecuado servicio de transporte, por tal razón para el análisis de la infraestructura vial se dividió a las líneas dependiendo de la similitud de las paradas:

**Tabla 6-4:** Agrupación de las líneas

<b>Nº DE GRUPO</b>	<b>Nº DE LINEA</b>
1	1, 2, 3
2	4, 5, 6
3	7, 11
4	8
5	9
6	10
7	12
8	13, 14
9	15
10	16

**Fuente:** (Paucar Cujilema, 2019)

**Realizado por:** Albán, Carlos, 2022.

**Tabla 7-4:** Grupo 1, 2, 3

		Tipo de superficie			Tipo de señalización		Estructura parada		Señalización de parada	
		Lastre	Asfalto	Hormigón	Vertical	Horizontal	Existe	No Existe	Vertical	Horizontal
<b>GRUPO 1</b>	LÍNEA 1, 2 Y 3	1%	81%	18%	81%	66%	29%	71%	45%	32%
	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			Las vías de las rutas cuentan con un mayor porcentaje de señalización esperamos se complete el 100% de la señalización		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de señalización en varias paradas de las rutas por las que se cree necesario implementar el 100% de las señales.	
	LÍNEA 4,5 Y 6	5%	60%	35%	88%	74%	43%	57%	33%	19%
<b>GRUPO 2</b>	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			Las vías de las rutas cuentan con un mayor porcentaje de señalización vertical esperamos se complete el 100% de la señalización		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de mantenimiento de la señalización en varias paradas realizar su respectivo mantenimiento.	
	LÍNEA 7,11	0%	73%	27%	58%	48%	39%	61%	15%	16%
<b>GRUPO 3</b>	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			Las vías de las rutas cuentan con un mayor porcentaje de señalización vertical esperamos se complete el 100% de la señalización		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de señalización en varias paradas realizar su respectivo mejoramiento	

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

**Tabla 8-4:** Grupo 4, 5, 6

		Tipo de superficie			Tipo de señalización		Estructura parada		Señalización de parada	
		Lastre	Asfalto	Hormigón	Vertical	Horizontal	Existe	No Existe	Vertical	Horizontal
<b>GRUPO 4</b>	LÍNEA 8	11%	89%	0%	23%	29%	17%	83%	23%	9%
	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			La señalización de estas rutas necesitan un estudio de mejoramiento		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de señalización en varias paradas de las rutas por las que se cree necesario implementar el 100% de las señales y la mejora de la misma.	
<b>GRUPO 5</b>	LÍNEA 9	8%	69%	9%	67%	67%	21%	79%	67%	67%
	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			Las vías de las rutas cuenta con un mayor porcentaje de señalización vertical esperamos se complete el 100% de la señalización		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de mantenimiento de la señalización en varias paradas realizar su respectivo mantenimiento.	
<b>GRUPO 6</b>	LÍNEA 10	0%	91%	9%	76%	70%	21%	79%	76%	42%
	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			Las vías de las rutas cuenta con un mayor porcentaje de señalización vertical esperamos se complete el 100% de la señalización		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de señalización en varias paradas realizar su respectivo mejoramiento	

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

**Tabla 9-4:** Grupo 7, 8, 9

	LINEA	Tipo de superficie			Tipo de señalización		Estructura parada		Señalización de parada	
		Lastre	Asfalto	Hormigón	Vertical	Horizontal	Existe	No Existe	Vertical	Horizontal
<b>GRUPO 7</b>	12	0%	85%	15%	48%	30%	33%	67%	48%	30%
	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			La señalización de estas rutas necesitan un estudio de mejoramiento		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de señalización en varias paradas de las rutas por las que se cree necesario implementar el 100% de las señales y la mejora de la misma.	
<b>GRUPO 8</b>	LÍNEA 13, 14	0%	56%	44%	82%	85%	33%	67%	38%	41%
	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			Las vías de las rutas cuenta con un mayor porcentaje de señalización vertical esperamos se complete el 100% de la señalización		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de mantenimiento de la señalización en varias paradas realizar su respectivo mantenimiento.	
<b>GRUPO 9</b>	LÍNEA 15	0%	49%	57%	54%	54%	26%	74%	23%	21%
	Criterio	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			La señalización es regular por lo que se recomienda realizar trabajos preventivos		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de señalización en varias paradas realizar su respectivo mejoramiento y un estudio del mismo.	

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

**Tabla 10-4:** Grupo 10

LINEA	Tipo de superficie			Tipo de señalización		Estructura parada		Señalización de parada	
	Lastre	Asfalto	Hormigón	Vertical	Horizontal	Existe	No Existe	Vertical	Horizontal
16	0%	72%	28%	48%	30%	33%	67%	34%	35%
<b>GRUPO 10</b>	El mayor porcentaje del tipo de superficie es asfaltado por lo que se cree que el desplazamiento es óptimo			La señalización de estas rutas necesitan un estudio de mejoramiento		Se recomienda realizar un plan de mejora debido a que la estructura de paradas no son adecuadas		Se evidencia la falta de señalización en varias paradas de las rutas por las que se cree necesario implementar el 100% de las señales y la mejora de la misma.	

Fuente: (Paucar Cujilema, 2019)

## **4.2. Interpretación de la ficha de observación**

A continuación, se presenta la información obtenida por cada una de las rutas operativas del transporte público urbano.

### **4.3. Línea 1. Santa Ana-Bellavista**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 1, recorre una distancia de 22,60km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 158,2km en un circuito cerrado con un total de 52 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en el barrio Santa Ana, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos
- Respeto las paradas establecidas
- Respeto la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

### **4.4. Línea 2. 24 de Mayo-Bellavista**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 2, recorre una distancia de 20,40km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 148,2km en un circuito cerrado con un total de 49 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en la cooperativa de vivienda 24 de mayo, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respeto las paradas establecidas
- Respeto la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4

- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.5. Línea 3. Santa Anita-Camal-Mayorista**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 3, recorre una distancia de 25km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 150km en un circuito cerrado con un total de 47 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en el barrio Santa Anita, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respetar las paradas establecidas
- Respetar la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.6. Línea 4. Licán Bellavista**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 4, recorre una distancia de 22,10km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 176,8km en un circuito cerrado con un total de 54 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto la plazoleta de Lican, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respetar las paradas establecidas

- Respetar la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.7. Línea 5. Corona Real-Bellavista**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 5, recorre una distancia de 31,60km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 221,2km en un circuito cerrado con un total de 52 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en la plazoleta de Corona Real, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respetar las paradas establecidas
- Respetar la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.8. Línea 6. Miraflores-Bellavista**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 6, recorre una distancia de 23km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 184km en un circuito cerrado con un total de 40 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en la plazoleta de Licán, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas

- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respetar las paradas establecidas
- Respetar la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.9. Línea 7. Inmaculada-El Rosal**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 7, recorre una distancia de 33,10km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 198,6km en un circuito cerrado con un total de 33 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en el barrio la Inmaculada, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respetar las paradas establecidas
- Respetar la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.10. Línea 8. Yaruquies-las Abras**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 8, recorre una distancia de 19,50km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 156km en un circuito cerrado con un total de 25 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en el parque de Yaruquies, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respetar las paradas establecidas
- Respetar la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.11. Línea 9. Mercado Mayorista-Los Pinos-Lican**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 9, recorre una distancia de 27,20km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 190,4km en un circuito cerrado con un total de 41 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en la plaza de Licán, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respetar las paradas establecidas
- Respetar la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.12. Línea 10. Los Pinos-San Antonio**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 10, recorre una distancia de 26,5km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 185,5km en un circuito cerrado con un total de 28 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en el sector del terminal de los buses interparroquial, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respeta las paradas establecidas
- Respeta la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.13. Línea 11. Terminal Interparroquial-Mayorista**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 11, recorre una distancia de 18,50km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 55,5km en un circuito cerrado con un total de 28 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en el barrio el Retamal, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respeta las paradas establecidas
- Respeta la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento

- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.14. Línea 12. San Gerardo-Batan**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 12, recorre una distancia de 21,90km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 153,3km en un circuito cerrado con un total de 16 paradas establecidas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en el sector de San José del Batán , no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respeta las paradas establecidas
- Respeta la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.15. Línea 13. Sixto Duran-San Miguel de Tapi**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 13, recorre una distancia de 24,5km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 196km en un circuito cerrado con un total de 50 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en la cdla Sixto Durán, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respeta las paradas establecidas
- Respeta la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común

- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.16. Línea 14. Libertad-San Miguel de Tapi**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 14, recorre una distancia de 31,20km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 218,4km en un circuito cerrado con un total de 50 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en el parque central de San Luis, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respeta las paradas establecidas
- Respeta la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.17. Línea 15. Licán-ESPOCH-UNACH**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 15, recorre una distancia de 20,5km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 143,5km en un circuito cerrado con un total de 37 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en la iglesia de Licán, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respeta las paradas establecidas
- Respeta la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4

- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

#### **4.18. Línea 16. Calpi-La Paz**

De acuerdo a los resultados obtenidos la unidad de transporte línea 16, recorre una distancia de 22,30km por ciclo cumpliendo con una distancia total diaria de 156,1km en un circuito cerrado con un total de 48 paradas con las siguientes características:

- Su lugar de partida y de llegada es el mismo punto en la plazoleta de Calpi, no dispone de parqueaderos, andenes ni oficinas
- No dispone de parqueaderos alternos,
- Respetar las paradas establecidas
- Respetar la velocidad establecida por la ANT que es de 40km/h
- Cumple con los tiempos de recorrido indicados en la tabla 3-4 y 4-4
- La capacidad máxima de pasajeros es de 80 personas
- No dispone del sistema caja común
- Al no disponer de una infraestructura de estacionamientos, solo presenta transformadores de uso domestico
- El cableado del sistema eléctrico, por el recorrido de esta ruta no afecta a su funcionamiento
- No dispone de suministro de energía en los puntos de partida y llegada

## CAPÍTULO V

### 5. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA

En este capítulo se determinara la viabilidad técnica para la implementación de vehículos eléctricos en el sistema de transporte público urbano en el cantón Riobamba, considerando en primer lugar los datos obtenidos con los instrumentos y técnicas de recolección antes mencionada para determinar los parámetros operacionales del sistema de transporte público del cantón y así determinar las características que debe tener el bus eléctrico para el buen desenvolvimiento en las rutas establecidas. En segundo lugar se hará énfasis en un análisis comparativo con la implementación de este tipo de transporte en otras ciudades del mundo para determinar el inicio del proceso de electromovilidad en el transporte público. Por último, se considera un análisis económico, en el que se comparan costos de adquisición, incidencias en las redes de distribución para determinar la rentabilidad y verificar si es viable económicamente, sin dejar a un lado el escenario ambientalista.

#### 5.1. Viabilidad técnica del bus eléctrico

Se representa los parámetros y condiciones a las cuales están expuestas las diferentes rutas para su funcionamiento dentro del sistema de transporte público urbano y así determinar las características que debe tener el bus para su operación.

##### *5.1.1. Parámetros operacionales para el funcionamiento del bus eléctrico en el transporte público urbano*

En los siguientes ítems se considera los parámetros operacionales que se deben tener en cuenta para determinar las características que un bus eléctrico debe poseer para su funcionamiento en sistema de transporte público en Riobamba.

- Kilómetros máximos recorridos en un día
- Cantidad máxima de pasajeros por parada
- Cantidad máxima de pasajeros por línea en un ciclo
- Angulo máximo de pendiente
- Velocidad máxima
- Parqueadero central definidos
- Frecuencias de rutas

- Tiempos de paradas
- Parquaderos alternos (1 por lo menos)
- Velocidad operacional

Considerando estos parámetros se realiza la tabla 1-5 con los valores obtenidos en la recolección de datos en el capítulo IV, donde se representan la información de las 16 rutas.

Los datos representados en el porcentaje del ángulo máximo de pendiente se obtuvieron mediante una plataforma virtual libre como es el google earth, la cual nos permite tener la información geográfica virtual del planeta tierra, en la obtención de dicha información se graficó las 16 rutas en esta plataforma de manera individual para poder analizar y determinar cuáles son los puntos más relevantes en el tema del porcentaje de pendiente máximo, estas graficas se las pueden visualizar en ANEXO B.

La velocidad máxima según la Agencia Nacional de Transito es de 40km/h y la velocidad moderada es de 40 a 50km/h, por tal razón se ha especificado como velocidad máxima a la que puede operar un bus de transporte público es de 50km/h

**Tabla 1-5:** Parámetros operacionales para la evaluación

N°	Nombre de la línea	Distancia total recorrida diario Km	Ángulo máximo de pendiente %	Velocidad máxima de recorrido (km/hora)	Parqueaderos centrales definidos	Velocidad Operacional (Km/h)	Parqueaderos alternos
1	Santa Ana – Bellavista	158,2	6,1	50	1	16,34	-
2	24 de Mayo – Bellavista	142,8	9,5	50	1	14,75	-
3	Santa Anita - Camal – Mayorista	150	9,1	50	1	16,30	-
4	Lican – Bellavista	176,8	7,7	50	1	14,90	-
5	Corona Real – Bellavista	221,2	8,1	50	1	18,06	-
6	Miraflores – Bellavista	184	9,3	50	1	15,16	-
7	Inmaculada - El Rosal	198,6	10,2	50	1	17,27	-
8	Yaruquies - Las Abras	156	8,7	50	1	12,72	-
9	Mercado Mayorista - Los Pinos – Lican	190,4	9,2	50	1	15,54	-
10	Los Pinos - San Antonio	185,5	6,5	50	1	16,56	-
11	Terminal Interparroquial – Mayorista	55,5	9,8	50	1	13,88	-
12	San Gerardo – Batan	153,3	7,7	50	1	14,60	-
13	Sixto Duran - San Miguel de Tapi	196	7,2	50	1	13,87	-
14	Libertad - San Miguel de Tapi	218,4	10,4	50	1	15,47	-
15	Lican - Espoch – Unach	143,5	8,5	50	1	14,30	-
16	Calpi - La Paz	156,1	11,7	50	1	14,87	-

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

### **5.1.2. Determinación de las características del bus eléctrico**

En base a los parámetros operacionales representados en la tabla 1-5 se determinan las características técnicas que debe tener el bus eléctrico para su buen desempeño, y así realizar un estudio comparativo con los buses ofertados en el mercado y seleccionar el idóneo.

### **5.1.3. Potencia necesaria del motor eléctrico**

Aplicando la formula número (10) que se encuentra en el capítulo II y los parámetros operacionales donde se considera el peso del vehículo, capacidad máxima de pasajeros que es de 80 y un peso promedio por pasajero que sería de 70kg, la potencia que debe tener el bus eléctrico es de:  $Pot = 288,85kw$  para que funcione en las condiciones más extremas de todas las rutas, en este caso el porcentaje de pendiente máxima se encuentra en el recorrido de la ruta 16.

#### **5.1.3.1. Autonomía y tipo de batería del bus eléctrico**

En base a la distancia total en kilómetros que recorren las diferentes rutas de transporte público y el número de ciclos diarios que realizan, se considera la de mayor recorrido que es la línea 5 con nombre Corona Real – Bellavista con una distancia de recorrido de 221km sumándole a esto 15 km por kilómetros muertos dando un total de 236 km.

Con los datos obtenidos, se considera que el bus eléctrico a considerar para el funcionamiento dentro del transporte público urbano debe tener una autonomía de 236km, o a su vez el tiempo de terminal o parada al finalizar un ciclo sea mínimo de una hora para que pueda realizar 1 recargas al día, la misma que debe ser semi-rápida según lo indica la tabla 2-1.

En la tabla 2-1 indica las características de la batería que debe tener el bus eléctrico según el tipo de carga que se va a implementar, la indicada para el sistema de transporte público es la carga semi-rápida por su ubicación, tiempo de recarga y rendimiento de la misma.

#### **5.1.3.2. Criterios generales**

Entre los criterios generales más importantes para determinar el bus eléctrico óptimo para el funcionamiento dentro del sistema de transporte público urbano son:

- Capacidad: Según la Normativa Técnica Ecuatoriana 2205, indica la capacidad de pasajeros para un bus urbano, esto implica que este tipo de transporte debe estar diseñado y equipado

para su uso en zonas urbanas, con una capacidad igual o superior a 60 pasajeros y disponer de espacios para usuarios que se encuentren de pie

- Velocidad: De acuerdo al Reglamento Técnico Ecuatoriano 038 la velocidad máxima del bus urbano no será mayor a 60km/h
- Dimensiones: Según el Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 038, el bus urbano debe cumplir con las siguientes dimensiones externas para su funcionamiento: Largo total mínimo 10300mm y largo máximo 12 900mm: El ancho total de la carrocería debe cubrir la trocha posterior del chasis con un mínimo de 2500mm y un máximo de 2600mm
- Orografía: Riobamba es una ciudad que no cuenta con pendientes muy pronunciadas debido a su ubicación Geográfica, y como lo demuestra el análisis de pendientes máximas en el recorrido que realizan las 16 rutas, donde se refleja que la pendiente máxima es de 11,4 que se presenta en el recorrido de la línea 16.

**Tabla 2-5:** Características técnicas del bus eléctrico

Características	Valores
Potencia del motor	288,85kw
Autonomía de la batería	233km
Velocidad máxima	50km/h
Capacidad máxima de pasajeros	80
Dimensiones del bus	Largo total mínimo 10300mm y largo máximo 12 900mm: El ancho total de la carrocería debe cubrir la trocha posterior del chasis con un mínimo de 2500mm y un máximo de 2600mm
Ángulo máximo de pendiente	% 11,4

**Realizado por:** Albán, Carlos, 2022.

De las características del bus eléctrico depende si se tiene o no que modificar ciertos parámetros operacionales como: distancia total recorrida que va a depender de la autonomía de la batería la infraestructura de carga y tipos de cargadores, y el aspecto más sobresaliente relacionando a lo antes mencionado son los tiempos de carga, por que debido a esto se pueden aumentar los tiempos de terminal y los números de ciclos pueden variar, el número de estacionamientos deben ser mínimo dos uno principal y una alterno, los principales deben disponer de infraestructura adecuada como se menciona más adelante.

### 5.1.3.3. Requerimientos técnicos de infraestructura y red eléctrica

Son los requerimientos técnicos a considerar para que el bus eléctrico tenga un buen desempeño en su recorrido, los cuales son:

- **Infraestructura:** aquí se considera paradas bien establecidas, terminales o parqueaderos bien estructurados los cuales deben tener lugares específicos y adecuados para la recarga de energía. Según la información recabada con la ficha de observación, todos los lugares de estacionamiento donde inicia y termina un recorrido una línea de transporte, son espacios físicos improvisados, como: gasolineras, alrededor de parques y vías de un sector específico que no cuentan con la infraestructura adecuada ni espacios establecidos para el estacionamiento ni recarga de energía.

Lo antes mencionado no garantiza la inserción de buses eléctricos en el transporte urbano, debido a que para este tipo de transporte se debe disponer de espacios para estacionamiento, una infraestructura adecuada y con lugares específicos para la recarga de energía cumpliendo con las características de puntos de recarga que se establece.

Los puntos a considerar para una recarga son:

**Interoperabilidad:** Los cargadores existentes deben abastecer el número de unidades

**Escalabilidad:** es la capacidad que tiene el sistema de ir creciendo progresivamente la capacidad de trabajo y el tamaño de la flota, pero sin que esto afecte el comportamiento del sistema y nivel del sistema.

**Compatibilidad:** debe existir un estudio de ingeniería eléctrica para poder adaptar los requerimientos de los buses eléctricos al sistema de transporte público urbano del cantón Riobamba

Se representa el precio de dos tipos de cargadores que existe en el mercado ecuatoriano, que en un promedio de 5 horas de carga, brindan un promedio de 400km de recorrido esto depende del tipo de batería y autonomía del bus eléctrico(Cueva, 2019).

**Tabla 3-5:** Cargadores individuales para buses eléctricos en el mercado ecuatoriano

Cargadores individuales para buses eléctricos en el mercado ecuatoriano		
	Capacidad	precio (USD)
Cargador con transformador de corriente dentro del cargador	40 kw	35000
Cargador con transformador de corriente dentro del carro	40 kw	7000

**Fuente:** (Cueva, 2019)

Otra solución para el aspecto de los puntos de recarga, es la creación de una electrolinera, donde se podría adaptar para que se carguen un número considerado de buses eléctricos, pero hay que considerar el costo de esta construcción, en la ciudad de Guayaquil la implementación de una electrolinera con capacidad de alimentar a 20 unidades fue aproximadamente de 700000 dólares americanos.

- Red eléctrica: Se realiza un análisis entre la información de la tabla 10-2 sobre el tamaño del transformador según el tipo de carga, y la de la ficha de observación donde la Empresa Eléctrica Riobamba S.A nos proporciona información de los tipos de transformadores que se encuentra en los postes de la ciudad de Riobamba. Se determina que los transformadores que se encuentra en los postes de la ciudad de Riobamba el de mayor tamaño es de 30KVA y el transformador más pequeño que se necesita para un tipo de carga lenta es de 400KVA teniendo en cuenta que para una carga rápida se debe disponer de un transformador de 1500KVA.

Utilizar el transformador adecuado evita que se presente aspectos que degradan la calidad de la energía, esto indica que la red de distribución de energía de la ciudad de Riobamba no está diseñada para para la adopción de este tipo de transporte.

## **5.2. Impacto de la implementación del bus eléctrico en comparación con otras ciudades**

### **5.2.1. En Ciudades del Mundo**

En Europa el transporte público urbano ocupa el 21% del número de viajes en una ciudad, esto conlleva a que es el responsable del 10% de la emisión de gases de gases efecto invernadero, esto indica que este medio de transporte utiliza 3,4 veces menos energía por pasajero que un medio de transporte privado. El transporte público urbano mediante autobuses es esencial para el sistema de movilidad en las ciudades y si utilizan energías renovables sería mejor.

Los estudios sobre los buses eléctricos en la implementación del transporte público urbano en las ciudades que han adoptado y otras que están implementando se enfocan en 4 campos:

- Aspectos económicos: es el costo de la inversión tanto del bus eléctrico como el de la infraestructura de recarga, incluyendo los costos de operación y mantenimiento
- Aspectos operacionales: se refiere al ciclo de conducción esto incluye la distancia, aceleraciones, número de paradas tiempos de recarga porcentajes de pendiente, autonomía del bus eléctrico y tiempo de recarga
- Aspectos medio ambientales: es el análisis a los gases de efecto invernadero, ruido y calidad del aire, este es el punto más importante porque es el que incentiva gobiernos nacionales,

seccionales e instituciones no gubernamentales para la electrificación del sistema de transporte público urbano, sin dejar a un lado al medio de transporte privado que tiene mayor tasas de contaminación.

- Aspectos energéticos: Hace referencia a la fuente de energía, consumo energético y la eficiencia del combustible, teniendo presente que la fuente de energía del bus eléctrico es la electricidad y para esto se debe determinar la eficiencia energética que se requiere para desplazarse un kilometro

El país que lidera los índices de electrificación de vehículos es China con un 98% del total de buses eléctricos, esto es el resultado a sus políticas en materia de electromovilidad, el incentivo hacia las empresas fabricantes por el diseño y fabricación de este tipo de transporte, por lo que las proyecciones de ventas para este país son del 50% para el año 2025. En el caso de Europa, está en el segundo después de China, y en tercer lugar Estados Unidos.

El compromiso y participación de los gobiernos y entidades no gubernamentales enfocados en la electromovilidad, son la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el transporte público urbano, las proyecciones de las autoridades de estas ciudades indican que el crecimiento del campo automotor que utiliza combustibles fósiles llegara a su punto máximo en el 2030, y para el 2040 esperan que las emisiones bajen a niveles que se presentaban en el 2018.

### ***5.2.2. En Ciudades del Ecuador***

A nivel de Ecuador Ciudades como Quito, Guayaquil, Cuenca y Loja han desarrollado y siguen desarrollando estrategias que les convierta en ciudades sostenibles, con el propósito de mejorar el sistema de transporte público incorporando vehículos 100% eléctricos y así reducir una cantidad considerable en la emisión de CO<sub>2</sub>, a continuación se detallan las características con las que operan cada ciudad.

#### ***5.2.2.1. Guayaquil***

Dispone de 20 buses eléctricos, una electrolinera con capacidad de suministrar energía a todas las unidades el proceso de carga será de 7 horas por unidad en la tabla 2-5 se representa las características operacionales de este tipo de transporte realizado en 90 días de prueba y la diferencia en costos con un bus que funciona con diésel.

**Tabla 4-5:** Resultado del auto bus eléctrico Guayaquil

Características	Valores
Días de prueba	90
Número de pasajeros por día	500
Total de pasajeros	41690
Km recorridos	16676
Kw consumidos	20939 kw
Gases efecto invernadero	25 toneladas
Costo de la energía	\$ 1611
Diesel consumido	2570 galones
Costo diésel	\$2688

**Fuente:** (Alvear, 2019)

#### 5.2.2.2. Cuenca

En la ciudad de Cuenca, la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte está limitando el uso del automóvil, con el fin de priorizar el transporte público, con un nuevo modelo de transporte público que es el sistema de tranvía usando autobuses 100% eléctricos en la tabla 3-5 se representa las características operacionales del bus eléctrico.

**Tabla 5-5:** Características operacionales del bus eléctrico Cuenca

Características operacionales	Valores
Consumo de energía	1016.05km/kWh
Capacidad de almacenamiento nominal	2765.5kwh
Autonomía	250km
Velocidad promedio	18-20km/h

**Fuente:** (Alvear, 2019)

Las características operacionales del bus eléctrico representados en la tabla 3-5, se basan de acuerdo a las rutas, paradas y tiempos de recorrido según el modelo de gestión de rutas y frecuencias de su sistema de transporte público urbano

### **5.3. Impacto Económico y ambiental por la implementación de buses eléctricos en el sistema de transporte público urbano**

#### **5.3.1. Impacto económico en la implementación de Buses eléctricos en el transporte público urbano del cantón Riobamba**

Este análisis permitirá determinar si el bus eléctrico llegaría a ser sustentable en comparación con los buses convencionales que utilizan combustibles fósiles para su funcionamiento, por tal

razón es importante verificar independientemente de las ventajas y beneficios que presta este tipo de transporte, si no es rentable económicamente no sería un proyecto viable. El enfoque de este análisis financiero es el tiempo en el que el bus eléctrico presentará características apreciables para su adquisición ya sea a: corto, mediano o largo plazo.

Los buses eléctricos estarán designados para el uso exclusivo en el sistema de transporte público urbano, en este apartado se detallarán dos tablas que contienen los rubros más destacados referentes a adquisición, operación y mantenimiento de buses en el mercado ecuatoriano de buses eléctricos y buses convencionales.

### 5.3.1.1. Costos de adquisición de un bus eléctrico frente a un bus a diésel

Para este análisis se tomará en como referencia la información de un estudio sobre el proceso de implementación de electromovilidad en Quito, la cual indica que el escenario base donde se considera los siguientes costos de adquisición del precio del bus eléctrico frente al bus convencional.

- Precio actual promedio del bus eléctrico \$419500
- Precio actual del autobús diésel Hino Ak el más utilizado en el sistema de transporte público urbano del cantón Riobamba \$132000
- Costo de adquisición incremental del bus a diésel \$287500
- Costo de adquisición incremental respecto del bus a diésel en los 15 años  
 $(\$419500 \times 0,60) - \$132000 = \$119700$

### 5.3.1.2. Costos de mantenimiento de un bus eléctrico frente a un bus a diésel

Los costos de mantenimiento hace referencia a los planes de mantenimiento a los que son sometidos los buses tanto eléctricos como a diésel, obteniendo un valor promedio de mantenimiento para los dos tipos de transporte antes mencionados:

**Tabla 6-5:** Valores de mantenimiento entre bus eléctrico y un bus a diésel

Áreas	Bus eléctrico	Otros a diésel
Costo mantenimiento	\$0,05 / km	\$0,30 / km
Frecuencia mantenimiento	Cada 10.000 km	Cada 5.000 km

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

### 5.3.1.3. Costos de operación y consumo energético

Teniendo en cuenta que para realizar el recorrido diario un bus eléctrico o un bus a diésel en la ruta con la mayor distancia y los números de ciclos establecidos recorrerá 221km, y aclarando que un bus a diésel para recorrer esa distancia necesita de 23 galones de combustible y un bus eléctrico según su autonomía y tipo de batería realizara una sola recarga al día y según la tabla 11-2 Gallet estipula que el consumo de energía por kilómetro que realiza un bus eléctrico es de 1,75 kwh. En la tabla 7-5 se especifican los valores por kilómetro de cada tipo de transporte.

**Tabla 7-5:** Costos de operación y consumo energético

Tipos de bus	Consumo de energía	Precio de energía	Distancia a recorrer(aprox.)
Bus eléctrico	1,75 kwh	\$ 0,11	1 km
Bus a diésel	1 galón	\$1,90	7 km

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

**Tabla 8-5:** Costos de consumo energético en las líneas de transporte por día

N°	Nombre de la línea	Distancia recorrida (Km)	Precio de energía en bus eléctrico	Precio de energía en bus a diésel
1	Santa Ana – Bellavista	158,2	\$17,402	\$42,9
2	24 de Mayo – Bellavista	142,8	\$15,708	\$38,8
3	Santa Anita - Camal – Mayorista	150	\$16,5	\$40,7
4	Lican – Bellavista	176,8	\$19,448	\$48,0
5	Corona Real – Bellavista	221,2	\$24,332	\$60,0
6	Miraflores – Bellavista	184	\$20,24	\$49,9
7	Inmaculada - El Rosal	198,6	\$21,846	\$53,9
8	Yaruquies - Las Abras	156	\$17,16	\$42,3
9	Mercado Mayorista - los Pinos – Lican	190,4	\$20,944	\$51,7
10	Los Pinos - San Antonio	185,5	\$20,405	\$50,4
11	Terminal Interparroquial – Mayorista	55,5	\$6,105	\$15,1
12	San Gerardo – Batan	153,3	\$16,863	\$41,6
13	Sixto Duran - San Miguel de Tapi	196	\$21,56	\$53,2
14	Libertad - San Miguel de Tapi	218,4	\$24,024	\$59,3
15	Lican - Espoch – Unach	143,5	\$15,785	\$39,0
16	Calpi - La Paz	156,1	\$17,171	\$42,4

Realizado por: Albán, Carlos, 2022.

## 5.4. Impacto ambiental por la implementación de buses eléctricos en el sistema de transporte público urbano

Las emisiones de gases efecto invernadero, y las enfermedades de tipo respiratorio están altamente relacionadas con el sector del transporte, y es el motivo principal por el cual se generan proyectos relacionados a la electromovilidad, ya que esto conlleva a un gran beneficio social,

disminuyendo de manera considerada los efectos que provoca los gases provocados por los vehículos que utilizan combustibles fósiles.

Según las tablas 7-2, 8-2, 9-2 se puede identificar beneficios notables por la utilización de este tipo de transporte, y estas son:

- Haciendo una comparación con la ciudad de Quito según la tabla 12-2, con la sustitución del 40% de la flota actual, se ahorraría la emisión de 770884 toneladas de  $\text{CO}_2$ , y un ahorro de \$6436878 en valoración a la emisión de  $\text{CO}_2$ . Estos valores dicen mucho en la importancia de la electromovilidad en el transporte urbano, no solo en la ciudad de Quito, es en todas las ciudades del país la reducción de gases efecto invernadero es alta. Y esto produce menos contaminación ambiental, porque los vehículos eléctricos no generan ni un porcentaje de gases efecto invernadero
- Mejor calidad de vida para los ciudadanos que utilizan este tipo de transporte
- Menos contaminación auditiva debido al ruido que generan los motores de combustión interna
- La ciudad daría un paso muy importante hacia una movilidad sostenible

Sin dejar a un lado los grandes beneficios que brinda un bus eléctrico hay que tener en cuenta los perjuicios que también acarrea este tipo de transporte como son:

- No existe en Latinoamérica empresas fabricantes de baterías para buses eléctricos, con el fin de que se cree políticas de reutilización de estos componentes debido a su composición son agentes muy contaminantes para el medio ambiente. En Europa y China existen políticas de reutilización de baterías donde los dueños de estos vehículos tienen la obligación de regresar a la empresa fabricante o comercializadora la batería que ya ha cumplido su vida útil para su reutilización.
- El alto precio que tiene la adquisición de estos vehículos, puede generar alza en los pasajes para la utilización de los mismos, debido a que el transportista debe recuperar el dinero invertido antes de que se cumpla la vida útil del mismo o de la batería, ya que esto incurriría a más gastos y esto provocaría un desfase económico en las cooperativas de transporte público

## CONCLUSIONES

- Los parámetros operacionales de las distintas rutas del transporte público urbano, permite establecer las condiciones a las que un bus eléctrico va a estar expuesto, y en base a estos parámetros se determina las características técnicas como la potencia, autonomía, capacidad máxima de pasajeros, tipo de baterías, tiempo de recarga, velocidad máxima, fuerza de pendiente máxima a vencer que debe tener este tipo de transporte para que su funcionamiento sea el más óptimo y se adapte a las rutas establecidas.
- La implementación de buses eléctricos en el transporte público urbano en las ciudades más importantes del mundo e incluso del Ecuador, ha sido en base a las políticas de electromovilidad que se han venido diseñando y creando, en busca de reducir la utilización de combustibles fósiles en el transporte público, Donde los gobiernos nacionales son los encargados de incentivar a la empresa pública y privada al diseño, creación y aplicación de este tipo de transporte obteniendo así beneficios en común hacia la sociedad como son: mejorar la calidad del transporte, acercarse hacia una movilidad sostenible, reducción a un alto nivel de los gases efecto invernadero puesto que los buses eléctricos generan 0% estos gases.
- Como resultado del análisis de la viabilidad técnica se determina que los aspectos a considerar para determinar el funcionamiento o no del bus eléctrico en el transporte público urbano son: parámetros operacionales actuales del transporte público urbano, las características técnicas del bus eléctrico en base a los parámetros operacionales para seleccionar el bus adecuado, los requerimientos técnicos que deben tener la infraestructura y la red eléctrica, el impacto económico y ambiental que genera la utilización de estos buses.
- El implementar un bus eléctrico en el sistema de transporte público urbano conlleva gastos considerables en lo que concierne a la adquisición de la unidad, infraestructura para las recargas y en la red eléctrica, el precio de un bus eléctrico como se indica en la tabla es de \$419000, y un bus a diésel cuesta aproximadamente \$13200 dólares esto indica que la relación de costo es de 3 a 1, pero por otro lado en mantenimiento es más económico el de un transporte eléctrico debido a que los mantenimientos a diésel se los realiza cada 5000km y de una unidad eléctrica cada 10000km el ahorro que se consigue es casi del 50%. El ahorro en términos de emisiones se calcula en base al porcentaje de vehículos que se va a implementar por ejemplo en Quito con un 40% de buses eléctricos en el transporte público urbano se pretende ahorrar en 20 años 770.884t deCO<sub>2</sub>.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el gobierno nacional elabore proyectos de electromovilidad donde incentive a gobiernos locales, cooperativas y compañías de transporte a la utilización de buses eléctricos en el transporte público urbano, de una manera progresiva debido al alto precio que conlleva esta implementación, para lo cual se deben generar políticas públicas urbanas y fiscales en busca de una movilidad sostenible y reducción total de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Realizar un estudio de rutas y frecuencias al sistema de transporte público urbano con la implementación del bus eléctrico, debido a que se debe aprovechar y darle el uso adecuado a este de transporte, debido a las distancias de las diferentes rutas y la autonomía del bus, en algunos casos se deberá realizar una recarga al día y debe tener el tiempo suficiente para realizarlo sin olvidar el estado de las vías por donde realiza el recorrido.
- Debido al alto precio que conlleva la adquisición de un bus eléctrico en comparación con un bus a diésel, se recomienda que el gobierno nacional mantenga y promueva políticas de incentivo para que los transportistas adquieran buses eléctricos con la aplicación de tarifas diferenciadas como: las tarifas eléctricas para el sistema de carga de las baterías, políticas para reducir o eliminar los aranceles a la importación de buses eléctricos y tarifas diferenciales en los precios del pasaje este tipo de transporte
- Se recomienda a los gobiernos nacionales, locales y empresas eléctricas incluir en las futuras expansiones de los sistemas eléctricos el incremento de la demanda energética que conlleva la utilización de buses eléctricos.
- El bus eléctrico presenta un estándar de conectores que realiza el proceso de recarga, debido a que presenta dos tipos principales de carga la lenta y la rápida, en el caso de que se dé la implementación de este tipo de transporte se debe diseñar y crear un plan o cronograma de recargas para mantener y prolongar la vida útil de las baterías.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Tránsito. (2014). Ley organica de transporte terrestre transito y seguridad vial. *Registro oficial*, 398, 1–79. [Www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Alvear, W. (2019). *Diseño del sistema eléctrico en baja tensión para estaciones de carga de autobuses eléctricos*. Universidad de cuenca.
- Ardanuy Ingeniería, s. A. (2019). *La electromovilidad en el transporte público de américa latina*. Caf. [Https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1466](https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1466)
- Asociación de Academias de la Lengua Española. (2014). *Diccionario de la lengua española edición del tricentenario / rae - asale*. [Https://dle.rae.es/congestion?m=form](https://dle.rae.es/congestion?m=form)
- Barrero, Alejandro, D., & N. (2021). *Efectos del transporte eléctrico público sobre las redes de distribución*.
- Bravo, D. (2018, July 19). Las pruebas de buses eléctricos comenzarán la próxima semana. *El comercio*. [Https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/pruebas-buses-electricos-quito-transporte.html](https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/pruebas-buses-electricos-quito-transporte.html)
- Calderón, F. (2020). *Desarrollo de un modelo de configuración eléctrica de autobús urbano con baterías - archivo digital upm* [universidadpolitécnica de mdrd]. [Https://oa.upm.es/58758/](https://oa.upm.es/58758/)
- Cordova, S., & Montero, D. (2017). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en el recorrido interno de la universidad internacional del ecuador*. Universidad internacional del ecuador.
- Cueva, G. (2019). *Análisis de factibilidad de implementación de buses 100% eléctricos (e-buses) para impulsar la movilidad sostenible en el sistema de transporte urbano del distrito metropolitano de quito*. Pontificia universidad catolica del ecuador.
- Diario El Universo. (2019, July 22). Con apoyo externo se hará plan de movilidad sostenible para ecuador. *El universo*. [Https://www.eluniverso.com/noticias/2019/07/22/nota/7437801/apoyo-externo-se-hara-plan-movilidad-sostenible](https://www.eluniverso.com/noticias/2019/07/22/nota/7437801/apoyo-externo-se-hara-plan-movilidad-sostenible)
- Du, J., Li, F., Li, J., Wu, X., Song, Z., Zou, Y., & Ouyang, M. (2019). Evaluating the technological evolution of battery electric buses: china as a case. *Energy*, 176, 309–319. [Https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.084](https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.084)
- Ecologistas en Acción. (2017). Ideas y buenas prácticas para la movilidad sostenible. In *espacio tiempo y forma. Serie v, historia contemporánea* (issue 28). [Www.ecologistasenaccion.org](http://www.ecologistasenaccion.org)
- Gadm Riobamba. (2014). *Pdot canton riobamba 2015-2030*. [Http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/descarga](http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/descarga)

- Gonzalez, C. (2010). *Movilidad urbana sostenible: un reto energético ambiental*.  
<https://www.upv.es/contenidos/camuniso/info/u0536159.pdf>
- Gonzalez, J. (2018, december 4). Primeros buses eléctricos para guayaquil - el comercio. *El comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/buses-electricos-guayaquil-transporte-pasajeros.html>
- Grijalva Campana, E. R. (2019). *Gestión energética para flotas de vehículos eléctricos e híbridos con pila de combustible* [universidad politécnica de madrid].  
<https://doi.org/10.20868/upm.thesis.55800>
- Guillamón, D., & Hoyos, D. (2005). Movilidad sostenible de la teoría a la práctica “ la lucha del movimiento ecologista por poner límites a. *Manu robles-arangiz institutua*.
- Jans B., M. (2009). Movilidad urbana: en camino a sistemas de transporte colectivo integrados. *Aus*, 6, 6–11. <https://doi.org/10.4206/aus.2009.n6-02>
- Kerlinger, F., & Lee, H. (n.d.). *Investigación del comportamiento*. Retrieved march 16, 2021, from <https://padron.entretemas.com.ve/inicc2018-2/lecturas/u2/kerlinger-investigacion.pdf>
- Mauttone, A., Cancela, H., & Urquhart, M. (2003). Diseño y optimización de rutas y frecuencias en el transporte colectivo urbano, modelos y algoritmos. *Xi congreso chileno de ingeniería de transporte, rt 03-07*, 299–310.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/3494>
- Miranda, J., & Iglesias, N. (2016). Una propuesta metodológica para dimensionar el impacto de los vehículos eléctricos sobre la red eléctrica. *Ingeniería*, 21(2), 154–175.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2016.2.a03>
- Molinero, A., & Sanchez, L. (1997). *Transporte publico planeacion diseno operacion y administracion* (primera). <https://ilide.info/doc-viewer>
- Morency, C. (2013). *Sustainable mobility: definitions, concepts and indicators | mobile lives forum*. Mobile lives forum.  
<https://en.forumviesmobiles.org/video/2013/02/12/sustainable-mobility-definitions-concepts-and-indicators-622>
- ONU Medio Ambiente. (2018). *Movilidad eléctrica: avances en américa latina y el caribe y oportunidades para la colaboración regional*. <http://movelatam.org/transicion/>
- Oviedo Moncayo, (2017). *Análisis de rutas y frecuencias de transporte público urbano y su relación con la calidad de servicio para la ciudad de riobamba provincia de chimborazo*.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6766>
- Paucar Cujilema, g. A. (2019). *Propuesta de mejoramiento de rutas y frecuencias del transporte público urbano para la ciudad de riobamba, provincia de chimborazo* [escuela superior politécnica de chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11484>
- Sánchez, J. (2017). *"análisis y estimación de la demanda eléctrica con la implementación de*

*vehículos eléctricos conectados a una red de distribución en cuenca tesis previa a la obtención del título de ingeniero eléctrico.*  
[Http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27353](http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27353)

- Sant'anna, J. A. (2002). *Autobuses urbanos sistemas modernos y traccionales en el mercosur ampliado.* Idb bookstore.  
[Https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tkfgs\\_sybbuc&oi=fnd&pg=pr7&dq=autobuses+urbanos&ots=ah5zdn1oe0&sig=jyqrsu01\\_av3qkijlfg058md0#v=onepage&q=autobusesurbanos&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tkfgs_sybbuc&oi=fnd&pg=pr7&dq=autobuses+urbanos&ots=ah5zdn1oe0&sig=jyqrsu01_av3qkijlfg058md0#v=onepage&q=autobusesurbanos&f=false)
- Santana, V. (2016). *Análisis de la implantación del uso de vehículos eléctricos como aporte al cambio de la matriz productiva y su impacto en la no utilización de combustibles fósiles en el ecuador.* Universidad de guayaquil.
- Thomson, I., & Bull, A. (2001). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales recursos naturales e infraestructura. *Recursos naturales e infraestructura de la cepal.*
- Torres, J. (2015). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de cuenca.* Universidad politécnica salesiana.

## ANEXOS

### ANEXO A: FICHA DE OBSERVACIÓN

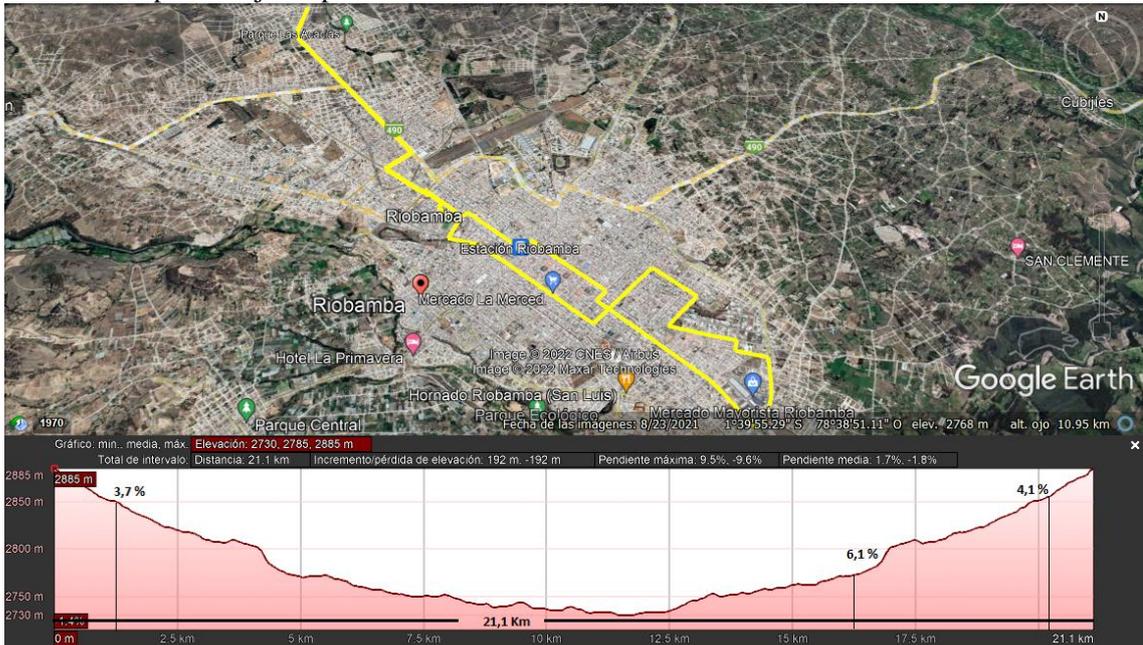
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**MAESTRÍA EN TRANSPORTE Y LOGÍSTICA 2**  
 FICHA DE OBSERVACIÓN- CARACTERÍSTICAS DE  
 OPERACIÓN E INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE PÚBLICO  
 URBANO



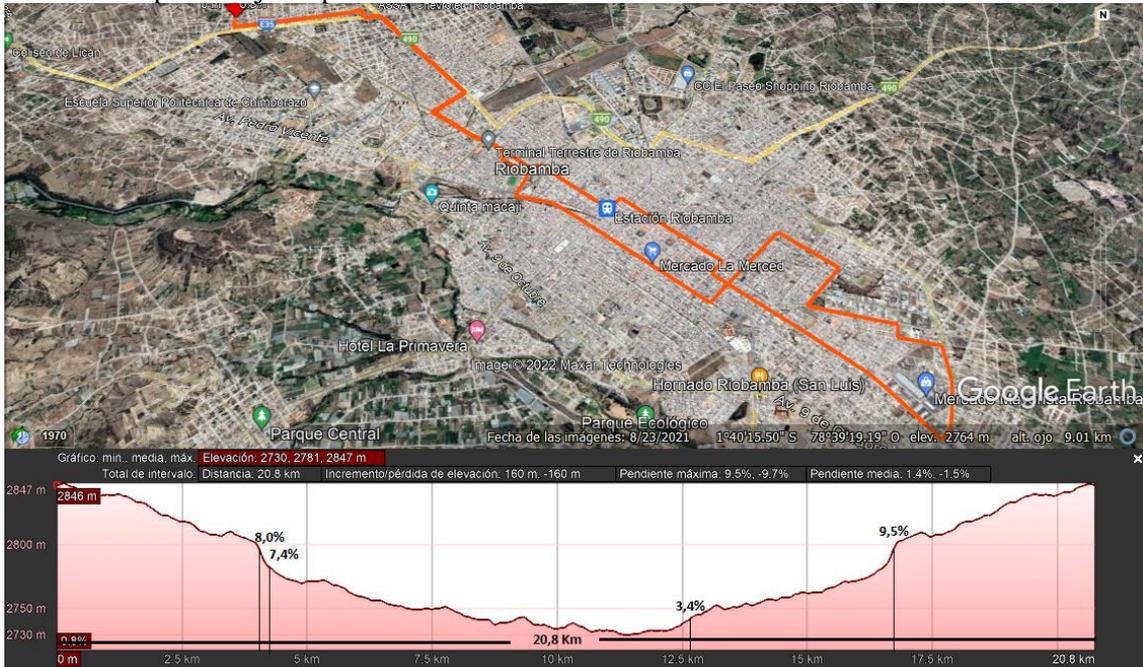
Objetivo: Establecer las condiciones en las cuales funciona el sistema de transporte público así como ciertos parámetros de operación.					
FECHA:	PROVINCIA:	CANTÓN:			
RUTA:					
OPERADORA:					
CAPACIDAD SENTADOS:		CAPACIDAD PARADOS:			
LUGAR DE SALIDA:		LUGAR DE LLEGADA:			
KM RECORRIDOS:		TIPO DE CIRCUITO:			
		Si	NO	Datos	Observaciones
CARACTERÍSTICAS Y PARAMETROS OPERACIONALES DEL TRANSPORTE PÚBLICO	¿Existe una estación establecida para esta ruta con sus elementos principales: Talleres, andenes y oficinas?				
	¿Tiene parqueaderos alternos?				
	¿Existen carriles exclusivos para buses de transporte urbano en el sistema de arterias urbanas?				
	¿Respetan el transporte urbano las paradas establecidas?				
	¿El transporte urbano respeta la velocidad permitida?				
	¿El transporte urbano respeta los tiempos de recorrido?				
	¿El transporte urbano respeta la capacidad máxima de pasajeros?				
	¿El transporte urbano cuenta con el sistema de caja común?				
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	¿Dispone de transformadores los estacionamientos o parqueaderos?				
	¿Qué tipo de transformadores se encuentran en los estacionamientos o parqueaderos?				
	¿El cableado del sistema eléctrico en los recorridos del transporte urbano se encuentra en buenas condiciones? En caso de ser negativo ¿Por qué?				
	¿Dispone los estacionamientos o parqueaderos de corriente eléctrica?				

## ANEXO B: ANÁLISIS DE PORCENTAJES DE PENDIENTES MÁXIMAS EN CADA RUTA

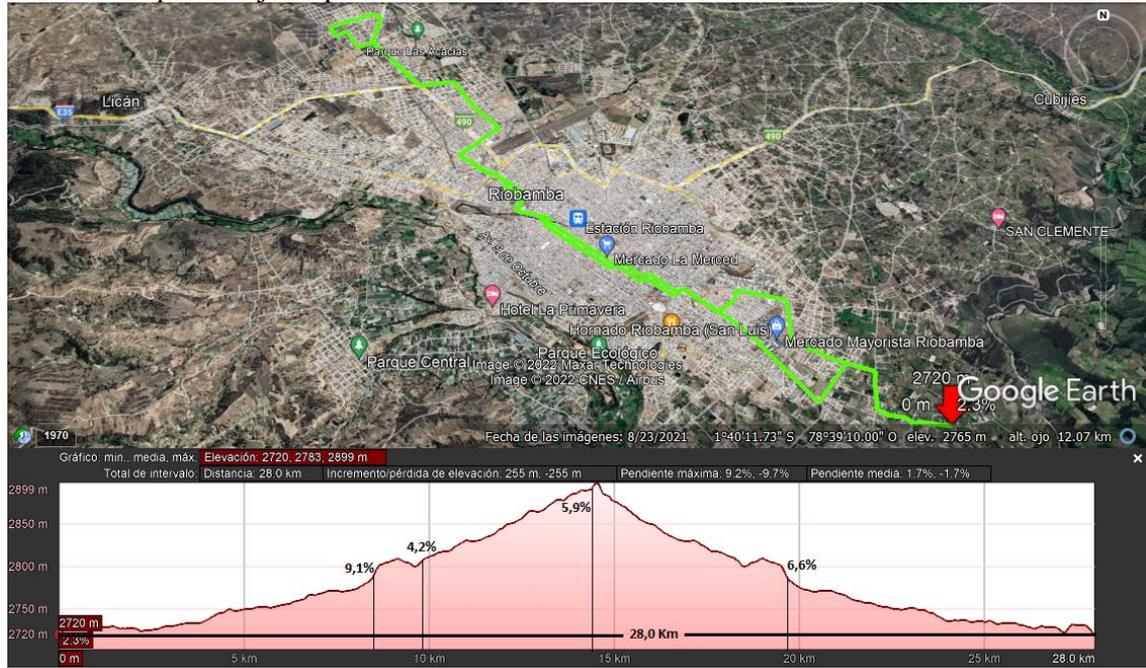
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 1.



### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 2.



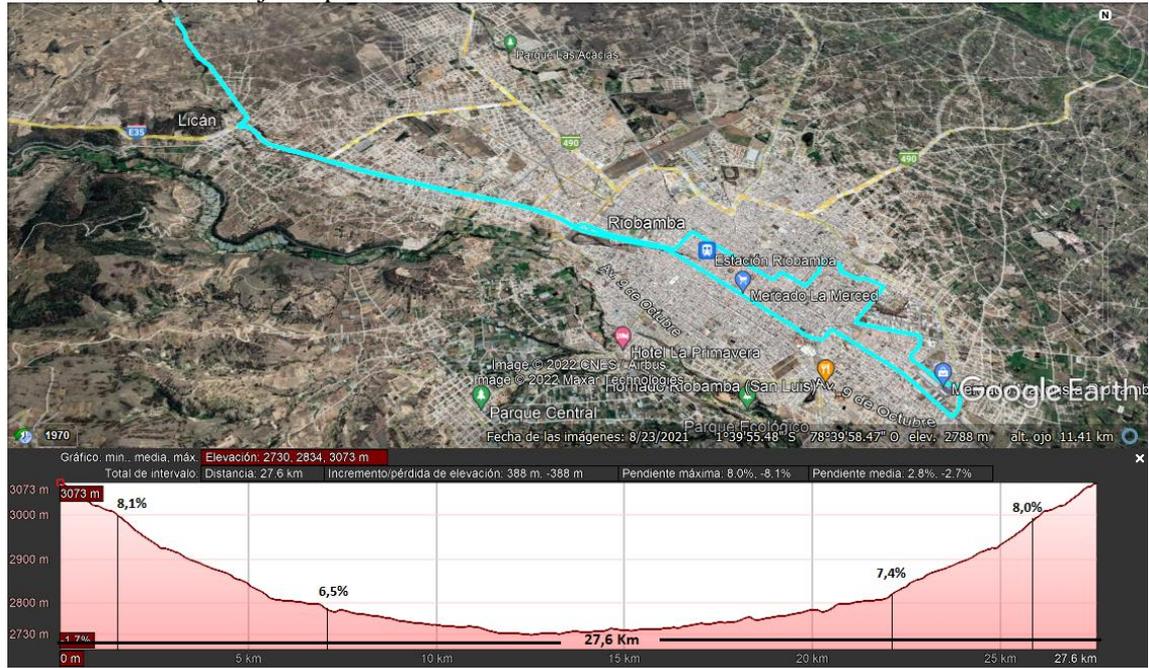
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 3.



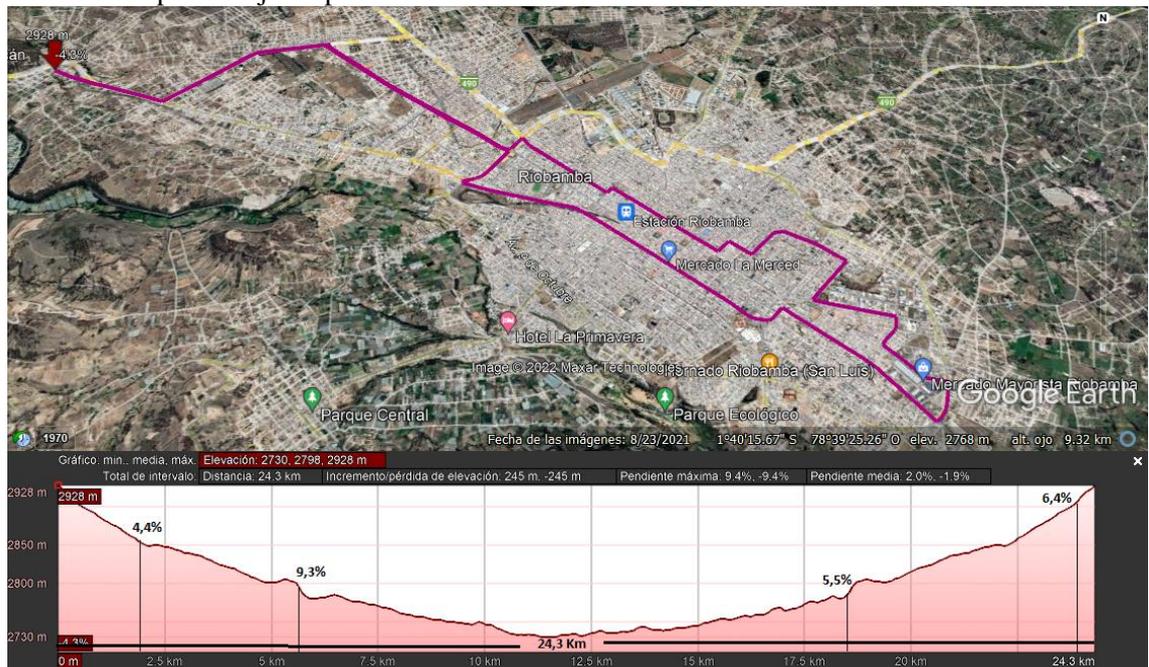
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 4.



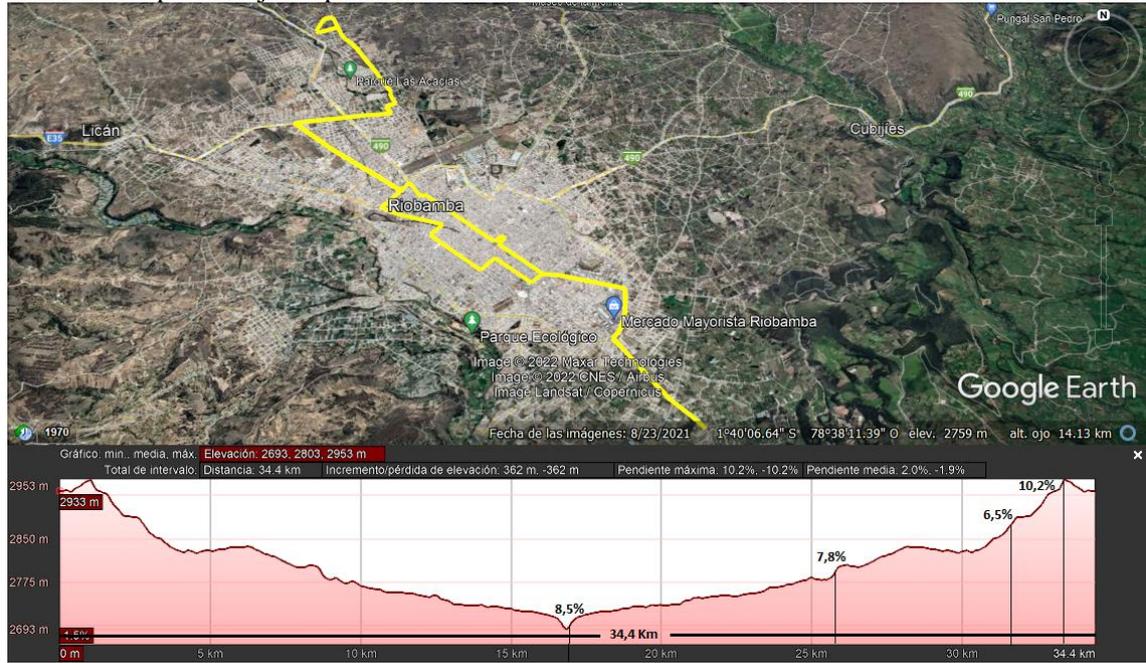
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 5.



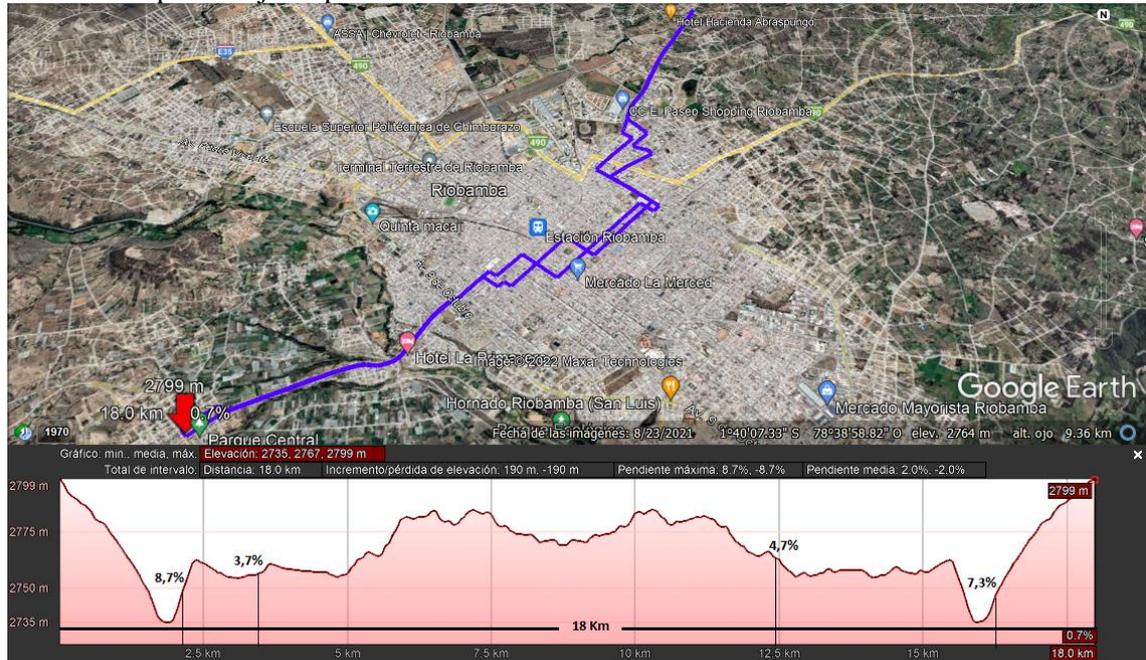
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 6.



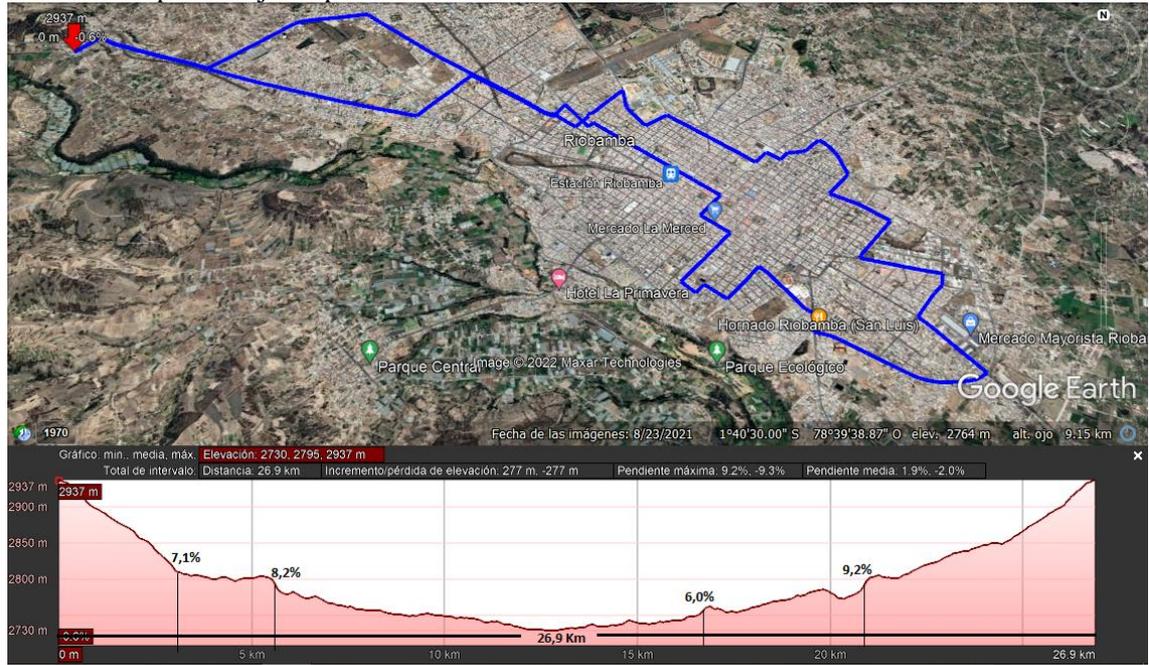
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 7.



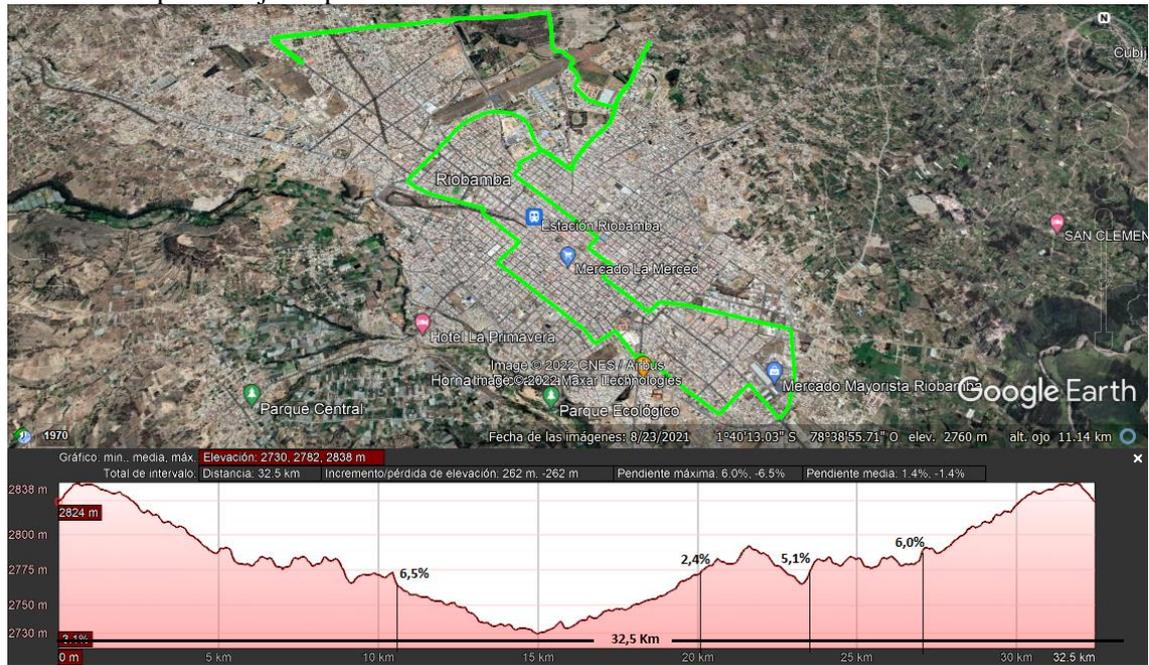
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 8.



### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 9.



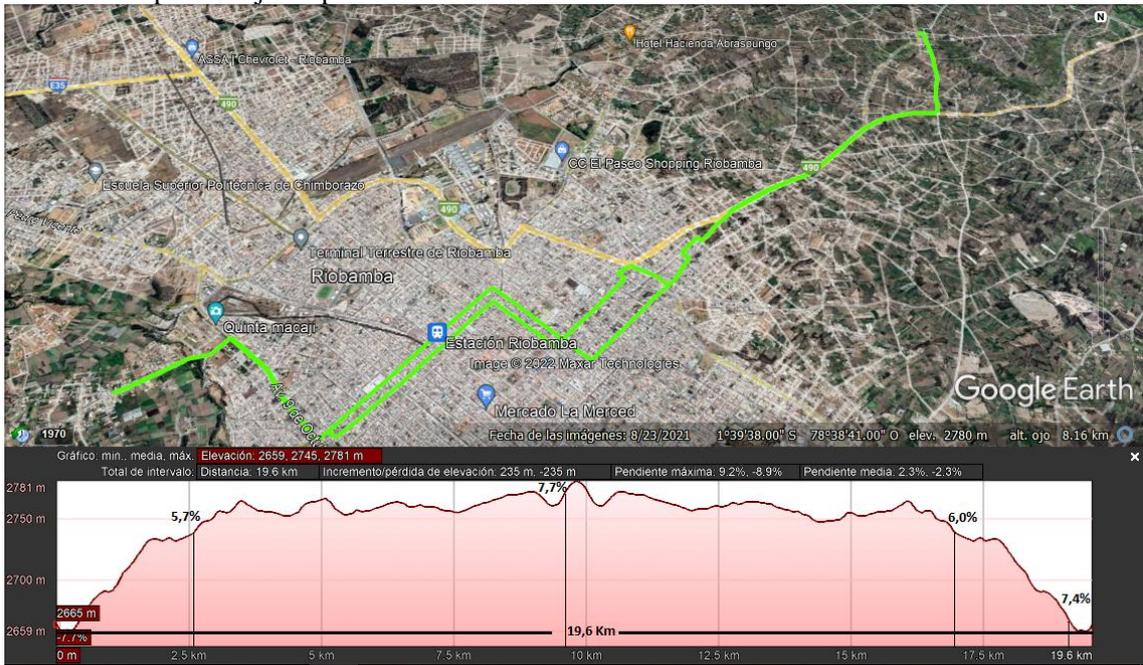
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 10.



### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 11.



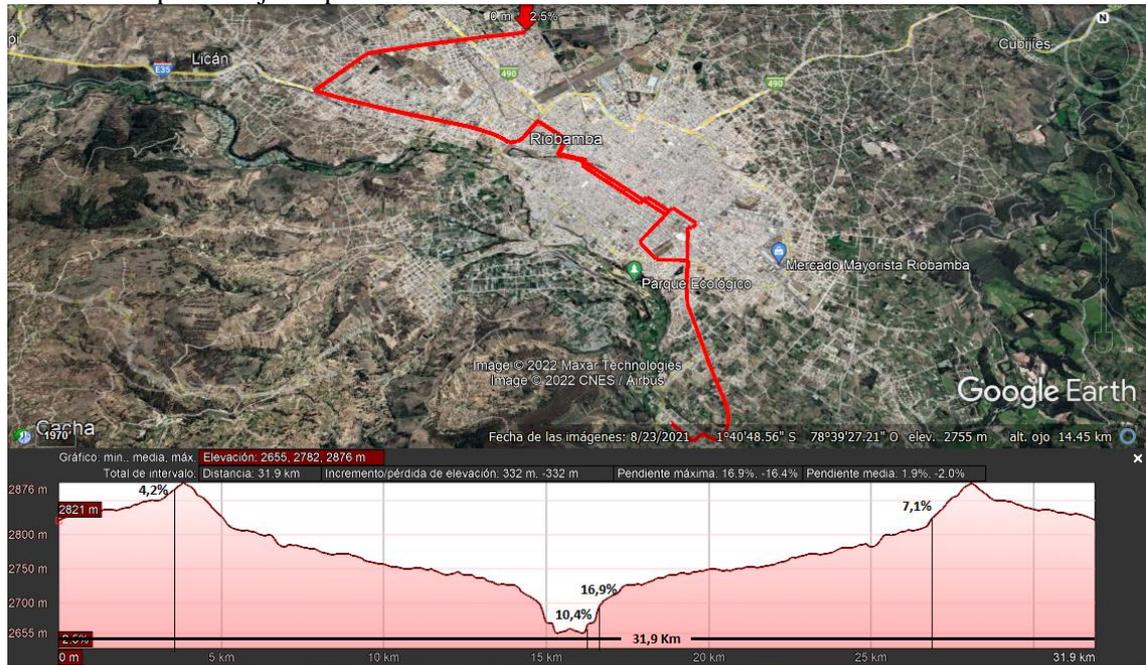
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 12.



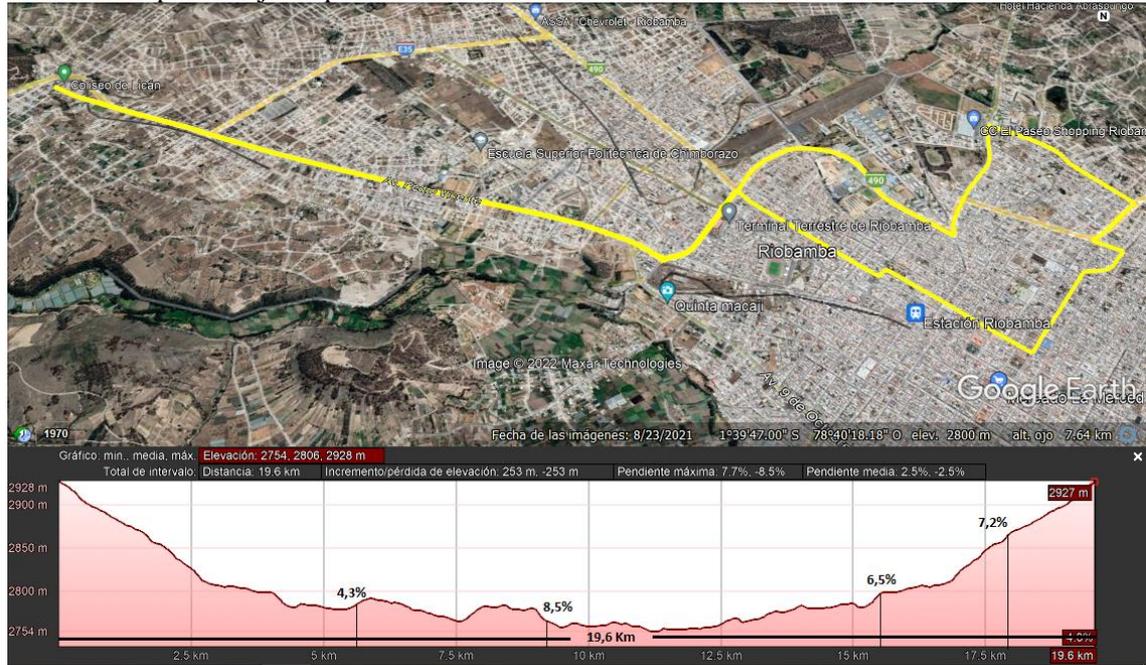
### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 13.



### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 14.



### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 15.



### Análisis del porcentaje de pendiente máxima de la Línea 16.

