INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
REY DAVID

TESINA

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TÉCNICO SUPERIOR

PLANIFICACIÓN DEL TRÁNSITO

TEMA:

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ENERGÉTICA PARA LA INCORPORACIÓN DE BUSES ELÉCTRICOS EN UNA RUTA SELECCIONADA DEL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE GUAYAQUIL.

AUTOR:

ARIANNA MILENA RODRIGUEZ MURILLO

TUTOR:

ING. DAVID CAICEDO CH.

NIVEL DE INSTRUCCIÓN:

3ER NIVEL

DAULE – ECUADOR

2025

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

Detector de plagio v. 2867 - Informe de originalidad 8/12/2025 12:24:04

Documento analizado: Tesina-PDT-ARIANA RODRIGUEZ (DC)-(AC).docx Licenciado para: DAVID CAICEDO

Preajuste de comparación: Palabra a palabra Idioma detectado: Es

Tipo de verificación: Control de internet

TEE y codificación: DocX n/a

Análisis detallado del cuerpo del documento:

Tabla de relaciones:

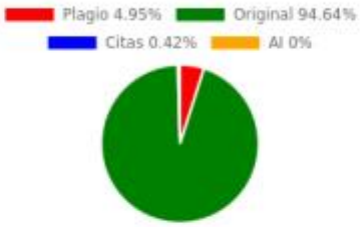


Gráfico de distribución:



Principales fuentes de plagio: 66

6%	675	1.	https://www.ambienteyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S_R_O_449_19_MARZO_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf
3%	338	2.	https://ciencia.lasalle.edu.co/bitstreams/0728469a-dd0e-4c69-9aff-df1cd412bf56/download
3%	299	3.	https://web-crawler.plagiarism-detector.com/get-doc-pt?did=8EmvPIG59TVHIQ

Detalles de recursos procesados: 214 - Okay / 16 - Ha fallado

Notas importantes:

Wikipedia:	Libros de Google:	Servicios de escritura fantasma:	Anti-trampa:
[no detectado]	[no detectado]	[no detectado]	[no detectado]

Informe anti trampas de UACE:

1. Estado: Analizador **Encendido** Normalizador **Encendido** similitud de caracteres establecida en **100%**
2. Porcentaje de contaminación UniCode detectado: **0%** con límite de: 4%
3. Documento no normalizado: porcentaje no alcanzado 4%
4. Todos los símbolos sospechosos se marcarán en color violeta: Abcd...
5. Símbolos invisibles encontrados: 0

Recomendación de evaluación:

No se requiere ninguna acción especial. El documento está bien.

Estadísticas del alfabeto y análisis de símbolos:

CERTIFICADO DEL TUTOR

El suscrito certifica que la Tesina realizada como requisito previo a la obtención del título de Planificación del Tránsito cuyo tema es: **"Análisis preliminar de la viabilidad técnica y energética para la incorporación de buses eléctricos en una ruta seleccionada del transporte público urbano de Guayaquil."**, de autoría de del estudiante Arianna Milena Rodríguez Murillo, ha sido revisado en todos sus componentes.

Daule, diciembre del 2025



Ing. David Caicedo Ch.

Tutor Académico

CERTIFICACIÓN DE REVISOR

El suscrito certifica que la Tesina realizada como requisito previo a la obtención del título de Planificación del Tránsito y cuyo tema es: **"Análisis preliminar de la viabilidad técnica y energética para la incorporación de buses eléctricos en una ruta seleccionada del transporte público urbano de Guayaquil."**, de autoría del estudiante Arianna Milena Rodríguez Murillo, ha sido revisado en todos sus componentes, bajos los parámetros establecidos por los formatos del **INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO REY DAVID**, cuya calificación es la siguiente:

Daule, diciembre 2025.

Calificación de docente corrector 1: 9.5/10 (Nueve punto cincuenta y cinco sobre diez)

…….

Ing. Andrés Caicedo A.
Docente Corrector 1

ÍNDICE GENERAL

1 MARCO CONTEXTUAL 12

1.1 Planteamiento del Problema 13

1.2 Preguntas de investigación 14

1.3 Objetivos 15

1.3.1 Objetivo General 15

1.3.2 Objetivos Específicos 15

1.4 Descripción del tipo de caso 15

1.5 Antecedentes históricos de la empresa u objeto de estudio 15

1.6 Ubicación 16

1.7 Limitaciones 16

1.8 Justificación 16

2 MARCO REFERENCIAL 17

2.1 Antecedentes de estudio 17

2.2 Glosario de términos 24

2.3 Marco legal 26

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador 26

2.3.2 Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial 26

2.3.3 Ley Orgánica de Eficiencia Energética 27

2.3.4 Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible 29

2.3.5 Ordenanzas y Reglamentos de la ATM de Guayaquil 30

3 Metodología 31

3.1 Nivel de investigación 31

3.2 Diseño de investigación 32

3.3 Métodos de investigación 33

3.3.1 Método cuantitativo–analítico 33

3.3.2 Método comparativo 33

3.3.3 Método deductivo 33
3.3.4 Método documental 33
3.4 Enfoque 34
3.5 Herramientas de recolección 34
3.6 Población / Muestra / Universo 35
3.7 Análisis de los resultados 36
4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS POSIBLES 39
4.1 Justificación de la Alternativa principal (más factible de realizar) 40
4.2 Presupuesto de la ejecución 41
4.3 Cronograma de ejecución 44
4.4 Conclusiones 45
4.5 Recomendaciones 46
5 Bibliografía 47

DEDICATORIA

Dedico esta Tesina…

A Dios, por ayudarme a concluir mi carrera por nunca abandonarme en este proceso por darme sabiduría y fuerzas para superar cada desafío por esta gran oración contestada

Familia:

A mi familia maravillosa por su amor y por la fé de quienes han creído en mí siempre dándome ejemplos de superación, humildad, y sacrificio porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar siempre con su incondicional apoyo.

Esperanza Murillo: mamá gracias por cada consejo para ser de mi una mejor persona por ti lo eh logrado eres mi mayor inspiración.

Rolando Santamaría: gracias por ser un segundo papá para mi por estar siempre y nunca dejarme sola y ayudarme en esta carrera

Nayeli Pérez: prima gracias por ser una tercera hermana para mí, por brindarme el tiempo y paciencia necesaria para realizarme profesionalmente, siempre has estado presente moral y psicológicamente para mí.

Este título es por ustedes y para ustedes, los quiero mucho.

RESUMEN

El transporte público urbano de Guayaquil enfrenta desafíos técnicos, energéticos y ambientales derivados del uso predominante de unidades diésel con altos niveles de consumo y emisiones. Esta situación genera costos operativos elevados y contribuye significativamente a la contaminación del aire en la ciudad. Ante este escenario, la presente tesina desarrolla un análisis preliminar de la viabilidad técnica y energética para la incorporación de buses eléctricos en la Ruta 89, una de las líneas urbanas con mayor recorrido y demanda moderada. El objetivo principal consiste en determinar si las características operativas y la demanda energética estimada permitirían la sustitución progresiva de unidades diésel por buses eléctricos. Para ello se consideran tres alternativas: mantener la flota actual, migrar parcialmente hacia buses eléctricos o emprender una transición completa de la flota. Los resultados preliminares muestran que la alternativa más factible, desde un punto de vista técnico y energético, es la incorporación gradual de buses eléctricos, acompañada de infraestructura de carga estratégica. Esta opción permitiría evaluar el desempeño real de las unidades, optimizar costos operativos y reducir emisiones sin interrumpir la continuidad del servicio. En conjunto, el estudio establece una base técnica inicial que puede orientar futuras decisiones institucionales sobre movilidad sostenible en Guayaquil.

Palabras clave: electromovilidad, transporte público, energía, buses eléctricos, Guayaquil.

ABSTRACT

Urban public transport in Guayaquil faces technical, energetic, and environmental challenges due to the predominance of diesel buses, which generate high operating costs and significant pollutant emissions. This situation is particularly relevant in densely populated urban corridors, where vehicle fleets operate continuously throughout the day. In this context, the present thesis develops a preliminary technical and energy feasibility analysis for the incorporation of electric buses into Route 89, one of the city's urban routes characterized by moderate demand and an extended operating distance. The main objective is to determine whether the operational characteristics and estimated energy requirements would allow for a progressive substitution of diesel units with electric buses. Three alternatives are considered: maintaining the current fleet, partial electrification, or full electrification of the route. The analysis suggests that the most viable option is a gradual transition, supported by strategically located charging infrastructure and preliminary performance monitoring. This alternative reduces risks, improves operational efficiency, and contributes to emission reduction goals. Overall, the study provides an initial technical basis that may assist authorities and operators in evaluating the sustainability of electric bus integration into Guayaquil's public transport system.

Keywords: electromobility, public transport, electric buses, energy, feasibility.

INTRODUCCIÓN

Ante todo, la movilidad urbana contemporánea atraviesa un proceso de transformación que responde a nuevas exigencias ambientales, energéticas y operativas, especialmente en ciudades densamente pobladas como Guayaquil, donde la demanda de transporte público continúa aumentando y exige soluciones eficientes, por ello, la electromovilidad se ha consolidado como una estrategia clave para modernizar los sistemas de transporte colectivo, ya que permite reducir emisiones contaminantes, mejorar la calidad del aire y disminuir paulatinamente la dependencia de combustibles fósiles, para empezar, la incorporación de buses eléctricos implica analizar no solo los beneficios ambientales, sino también las condiciones técnicas y energéticas necesarias para garantizar su funcionamiento adecuado dentro de rutas específicas que presentan características particulares en cuanto a longitud, frecuencia, demanda y exigencias operativas.

La Ruta 89 se convierte en un caso de estudio pertinente debido a su papel estructural dentro de la red de transporte urbano de Guayaquil, articulando sectores residenciales y comerciales que generan altos volúmenes de movilidad diaria, además, sus variaciones de tráfico, los tiempos de recorrido y su extensión hacen indispensable evaluar si un sistema eléctrico puede integrarse sin comprometer la eficiencia operativa, de cualquier manera, es fundamental comprender que la electrificación de rutas urbanas no consiste exclusivamente en sustituir vehículos, sino en examinar parámetros como la autonomía requerida, el consumo energético por kilómetro y la capacidad de la red eléctrica para soportar la demanda de carga asociada.

Asimismo, en diversas ciudades latinoamericanas se ha evidenciado que los proyectos de electrificación solo alcanzan éxito cuando se desarrollan estudios previos orientados a modelar la demanda energética diaria, simular escenarios operativos y determinar la disponibilidad real de infraestructura, ya sea para carga lenta nocturna o para sistemas más complejos de carga rápida. En el caso de Guayaquil, la presencia de pendientes moderadas, tramos altamente congestionados y ciclos de operación extensos obliga a estimar con precisión el comportamiento de un bus eléctrico dentro de estas condiciones, de modo que se identifiquen los requerimientos mínimos de batería y los tiempos de recarga más adecuados.

Por otra parte, resulta importante integrar en el análisis la eficiencia energética, entendida como la relación entre la energía consumida y el rendimiento operativo obtenido, porque este indicador permite comparar el sistema actual de buses diésel con las capacidades de la tecnología eléctrica. Inclusive, la electromovilidad no solo debe evaluarse desde una perspectiva técnica; también implica valorar su contribución al mejoramiento de la movilidad sostenible, al bienestar ciudadano y al cumplimiento de metas de reducción de emisiones establecidas en normativas nacionales y políticas municipales.

De la misma forma, se considera necesario examinar la infraestructura eléctrica cercana a los recorridos de la Ruta 89, puesto que la disponibilidad de potencia, la estabilidad de la red y la posibilidad de instalar puntos de carga influyen directamente en la viabilidad de implementar esta alternativa. A pesar de que en Ecuador ya se han registrado experiencias favorables en ciudades como Cuenca y Loja, cada corredor urbano presenta dinámicas particulares que no permiten extrapolar resultados sin un análisis propio enfocado en su realidad operativa.

Es fundamental mencionar, que el presente trabajo no pretende centrarse en un análisis financiero exhaustivo, sino ofrecer un acercamiento preliminar desde la perspectiva técnica y energética, permitiendo identificar los elementos mínimos necesarios para determinar si la ruta estudiada puede operar con buses eléctricos sin comprometer su frecuencia ni su calidad de servicio. Aunque en otro sentido, se reconoce que la inversión inicial en este tipo de unidades suele ser mayor, los beneficios energéticos a largo plazo evidenciados en estudios recientes sustentan la necesidad de realizar evaluaciones previas que permitan preparar un camino adecuado hacia una futura transición.

En contraposición a los sistemas actuales basados en combustión interna, los buses eléctricos aportan ventajas como el menor costo por kilómetro recorrido, la reducción de ruidos urbanos y la disminución de emisiones locales, lo cual se vuelve especialmente valioso en zonas donde la exposición a contaminantes perjudica la salud de la población. De modo similar, estos beneficios se suman a las iniciativas gubernamentales orientadas a promover tecnologías limpias dentro del transporte público, lo que convierte al presente estudio en un aporte relevante para la planificación de la ciudad.

CAPÍTULO I

1 MARCO CONTEXTUAL

La movilidad urbana de Guayaquil atraviesa un proceso de transformación que responde a crecientes exigencias ambientales, energéticas y operativas derivadas del aumento poblacional y de la expansión territorial de la ciudad. Durante los últimos años, el incremento de usuarios del transporte público y el envejecimiento de la flota diésel han generado una presión notable sobre la infraestructura vial y sobre las unidades que prestan el servicio. Estas condiciones han derivado en altos niveles de emisiones contaminantes, mayor consumo de combustible y una calidad del servicio cada vez más limitada. En este contexto, se vuelve necesario explorar alternativas tecnológicas que permitan mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental sin afectar la continuidad operativa del sistema.

La incorporación de buses eléctricos surge como una posibilidad relevante, considerando las tendencias internacionales en movilidad sostenible y los avances regionales en sistemas de transporte de cero emisiones. Estos vehículos han demostrado su capacidad para optimizar el consumo energético, disminuir la contaminación acústica y reducir de manera significativa las emisiones de gases contaminantes asociadas al transporte público. Sin embargo, la transición hacia esta tecnología implica evaluar variables técnicas y operativas específicas de cada ruta, tales como autonomía requerida, ciclos de carga, capacidad de batería, comportamiento del tráfico y disponibilidad de infraestructura eléctrica. Debido a ello, resulta indispensable analizar rutas particulares que, por su demanda y comportamiento vial, permitan determinar si la electrificación es técnicamente viable.

La Ruta 89 constituye un caso estratégico para este análisis, ya que conecta zonas residenciales con áreas comerciales y de servicios, generando un flujo continuo de usuarios durante gran parte del día. Según los datos recopilados de plataformas de movilidad urbana, su recorrido comprende aproximadamente 34 a 36 kilómetros por ciclo, incluye cerca de 120 a 130 paradas y mantiene un tiempo promedio de operación que oscila entre 70 y 85 minutos por trayecto, dependiendo del nivel de congestión. Estas características la convierten en una línea representativa de la dinámica del transporte

urbano de Guayaquil, especialmente por su demanda constante, la variabilidad del tráfico y la exigencia operativa de mantener frecuencias estables.

Las experiencias latinoamericanas demuestran que la electrificación parcial del transporte público exige una planificación rigurosa. Estudios de viabilidad técnica han identificado factores determinantes como la longitud del recorrido, la topografía, la velocidad comercial promedio, los ciclos de operación, las condiciones climáticas y las variaciones en el tráfico urbano. Cada uno de estos elementos influye directamente en la autonomía diaria que deben alcanzar los buses eléctricos para operar sin interrupciones. Asimismo, la disponibilidad y capacidad de la infraestructura eléctrica es un punto crítico, ya que la instalación de estaciones de carga requiere condiciones técnicas adecuadas, integración con subestaciones existentes y planificación de los tiempos de recarga para evitar retrasos o afectaciones a la frecuencia del servicio.

1.1 Planteamiento del Problema

La movilidad en Guayaquil depende esencialmente de unidades de transporte que operan con motores diésel, las cuales presentan altos niveles de consumo de combustible, emisiones contaminantes y costos de mantenimiento. Estas condiciones se agravan en rutas extensas como la Ruta 89, que atraviesa sectores con congestión frecuente y ciclos de operación prolongados. El desgaste vehicular, el aumento del consumo energético y la variabilidad de los tiempos de recorrido afectan directamente la calidad del servicio. A esto se suma que el sistema de transporte público opera bajo márgenes económicos regulados, lo cual dificulta inversiones inmediatas en modernización tecnológica y obliga a las operadoras a sostener flotas envejecidas con costos cada vez mayores.

Aunque algunas ciudades ecuatorianas han iniciado procesos de electrificación parcial del transporte público como Quito con unidades en los corredores Trolebús y Ecovía, en Guayaquil este avance ha sido más lento. La ausencia de buses eléctricos operando en rutas urbanas convencionales evidencia una brecha entre las necesidades actuales del sistema y la implementación de tecnologías más eficientes. En el caso específico de la Ruta 89, la demanda constante de pasajeros, la duración del recorrido y la operación continua durante amplias franjas del día plantean interrogantes sobre si un bus eléctrico podría cumplir con los requerimientos técnicos sin comprometer su autonomía ni la regularidad del servicio.

La electrificación del transporte público implica sustituir unidades diésel por buses eléctricos, pero también requiere comprender con precisión los aspectos técnicos asociados al consumo energético por kilómetro, capacidad de batería, potencia de carga, tiempos de recarga y disponibilidad de infraestructura eléctrica. Sin esta evaluación previa, cualquier intento de implementar buses eléctricos estaría expuesto a dificultades operativas como falta de autonomía para completar los ciclos, tiempos de carga insuficientes o imposibilidad de integrar estaciones de carga adecuadas al sistema existente. Estas limitaciones podrían comprometer el funcionamiento regular del servicio y generar costos no previstos.

La falta de estudios específicos sobre la viabilidad técnica y energética de operar buses eléctricos en la Ruta 89 representa un vacío relevante para la planificación de la movilidad urbana. Si bien existen investigaciones sobre electromovilidad en otras ciudades del país, ninguna se centra en esta ruta en particular, pese a su extensión, demanda y complejidad operativa. Por ello, es necesario desarrollar un análisis preliminar que permita identificar los factores técnicos clave, estimar el consumo energético y valorar si la electrificación parcial o total constituye una alternativa real y sostenible para mejorar el transporte público de Guayaquil.

1.2 Preguntas de investigación

¿Es viable incorporar buses eléctricos en la Ruta 89 del transporte público urbano de Guayaquil desde una perspectiva técnica y energética?

¿Cuál es el consumo energético estimado para operar la ruta diariamente?

¿Qué autonomía mínima deben poseer los buses eléctricos para cumplir con los ciclos de operación?

¿La infraestructura eléctrica cercana puede soportar la demanda de carga necesaria?

¿Qué características del recorrido influyen en el desempeño energético de un bus eléctrico?

¿Qué tipo de escenarios podrían plantearse para una electrificación parcial o total?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la viabilidad técnica y energética de buses eléctricos en la Ruta 89 del transporte público urbano de Guayaquil mediante un análisis preliminar basado en parámetros operativos.

1.3.2 Objetivos Específicos

• Analizar las características operativas de la Ruta 89.
• Estimar el consumo energético diario para operar la ruta con buses eléctricos.
• Calcular la autonomía mínima requerida por unidad.
• Evaluar la disponibilidad de infraestructura eléctrica para carga.
• Proponer escenarios preliminares de electrificación.

1.4 Descripción del tipo de caso

Este estudio corresponde a un caso aplicado y exploratorio, centrado en una ruta específica, cuyo propósito es identificar la compatibilidad entre los requerimientos de la operación y las capacidades técnicas de los buses eléctricos, se fundamenta en un análisis cuantitativo que permite estimar valores de consumo energético, autonomía y demanda eléctrica sin involucrar hipótesis, ya que su finalidad no es explicar, sino evaluar la factibilidad preliminar de una transición tecnológica.

1.5 Antecedentes históricos de la empresa u objeto de estudio

La Ruta 89 ha formado parte del sistema de transporte urbano durante varios años y ha experimentado una creciente demanda vinculada al desarrollo del norte de Guayaquil y su conexión con zonas comerciales, aunque la flota ha sido renovada parcialmente en diferentes etapas, la operación continúa dependiendo de motores diésel, cuyo rendimiento se ha visto afectado por el incremento del tráfico, el desgaste mecánico y los costos de mantenimiento, mientras otras ciudades han comenzado a integrar buses eléctricos, la modernización en esta ruta aún no ha sido evaluada de forma técnica, lo que evidencia la necesidad de estudios previos.

1.6 Ubicación

La Ruta 89 atraviesa sectores residenciales y comerciales del norte y centro de Guayaquil, la presente cuenta con un recorrido de 130 paradas y un flujo constante de usuarios, estas características influyen en la demanda energética y en la autonomía requerida para operar de manera eficiente, lo que hace necesario considerarlas en cualquier análisis de electrificación.

1.7 Limitaciones

Este estudio presenta limitaciones relacionadas con la disponibilidad de datos precisos sobre kilometraje diario, velocidad comercial o consumo real de combustible, lo que obliga a trabajar con estimaciones basadas en estudios similares, tampoco incluye análisis financieros ni levantamientos topográficos detallados, ya que su enfoque es exclusivamente técnico y energético, además, condiciones externas como el tráfico y desvíos temporales pueden generar variaciones no contempladas en esta fase preliminar.

1.8 Justificación

Desarrollar un análisis preliminar de la viabilidad técnica y energética para electrificar la Ruta 89 es esencial para fundamentar cualquier proceso de modernización del transporte público en Guayaquil, la transición hacia buses eléctricos puede reducir emisiones, disminuir costos operativos a largo plazo y mejorar la calidad del servicio, pero requiere evaluaciones rigurosas que permitan determinar si las características de la ruta se ajustan a las capacidades de esta tecnología, este estudio contribuye al avance de una movilidad urbana más sostenible y genera insumos importantes para decisiones futuras en materia de planificación del transporte.

CAPÍTULO II

2 MARCO REFERENCIAL

El presente capítulo desarrolla los fundamentos conceptuales, empíricos y normativos que sustentan el análisis preliminar de la viabilidad técnica y energética para incorporar buses eléctricos en la Ruta 89 de Guayaquil, se presenta un recorrido investigativo que inicia con los antecedentes de estudio disponibles en Ecuador y en la región, continúa con el desarrollo de las bases teóricas necesarias para comprender los componentes esenciales de la electromovilidad aplicada al transporte urbano, y finaliza con un glosario conceptual y un marco legal que establece las directrices que orientan este tipo de transiciones tecnológicas, el propósito central es consolidar un cuerpo referencial coherente, verificable y contemporáneo que permita comprender cómo se articula la movilidad sostenible con las exigencias técnicas propias de una ruta urbana como la 89, aportando un sustento académico sólido para la evaluación planteada en este estudio.

2.1 Antecedentes de estudio

Según la investigación realizada por (Cazar Paredes & Guamán Flores, 2021) en la Universidad Técnica de Cotopaxi, titulada ***Evaluación técnica y energética para la implementación de buses eléctricos en una ruta urbana de Latacunga***, los autores determinaron que la autonomía, la topografía y la velocidad comercial son los factores con mayor incidencia en el rendimiento operativo de los buses eléctricos. Su análisis empleó datos reales de operación y estimaciones de consumo energético basadas en modelos matemáticos comparados con pruebas de campo, concluyendo que una transición hacia flotas eléctricas requiere una planificación rigurosa que involucre la capacidad de carga disponible, la estabilidad del suministro eléctrico y el comportamiento horario de la demanda.

En esta investigación, se basa en que la adopción de buses eléctricos no puede basarse únicamente en criterios ambientales, sino en la identificación de condiciones

operativas precisas que permitan determinar si el vehículo podrá cumplir con la totalidad de los ciclos diarios sin interrupciones. Esto implica que la evaluación técnica se convierte en un punto de partida indispensable para evitar fallos operativos que podrían comprometer la calidad del servicio, a la par, los autores evidencian que el análisis energético permite estimar si las recargas, ya sean lentas o rápidas, son compatibles con las dinámicas de la ruta, lo que muestra la necesidad de que los estudios de viabilidad consideren simultáneamente la autonomía del bus y los tiempos reales de operación.

Además, Cazar y Guamán enfatizan que comprender la relación entre topografía, consumo energético y velocidad promedio ayuda a anticipar posibles variaciones que, aunque mínimas, pueden alterar significativamente el rendimiento de la unidad eléctrica. Cuando las ciudades presentan pendientes o zonas de congestión, la batería experimenta mayores demandas, lo que podría reducir la autonomía esperada, esto demuestra que los estudios de electromovilidad deben ser siempre contextualizados, ya que cada ruta presenta condiciones particulares que influyen en el comportamiento energético del bus.

Otro antecedente importante es el estudio de (Gutiérrez, Martínez , & Vélez, 2023) publicado en la ***Revista Energía y Transporte de la UPM***, cuya investigación titulada ***Evaluación energética comparativa entre buses diésel y buses eléctricos en rutas urbanas europeas y latinoamericanas*** concluyó que los buses eléctricos pueden reducir entre un 40 % y un 60 % el consumo energético total cuando operan en rutas con velocidades comerciales estables y sin pendientes prolongadas, el estudio integra modelaciones energéticas validadas con datos de operación en Madrid, Quito y Medellín, identificando que las fluctuaciones de velocidad y los arranques constantes influyen directamente en la descarga acelerada de la batería.

Esta investigación permite comprender que los buses eléctricos requieren condiciones relativamente estables para alcanzar su máximo rendimiento, lo que significa que rutas como la 89 deben evaluarse considerando no solo su longitud, sino también la frecuencia con la que se producen detenciones, cambios de velocidad y episodios de congestión, asimismo, el estudio aporta evidencia sobre la relación entre infraestructura de carga y continuidad del servicio, puesto que demostró que las rutas urbanas con alta demanda requieren puntos de carga estratégicamente ubicados si se pretende electrificarlas de manera total.

Por otra parte, el estudio de (Castillo & Pérez , 2023) publicado en la ***Revista Latinoamericana de Movilidad Sostenible*** analizó la implementación de buses eléctricos en corredores urbanos de Bogotá y Santiago, destacando que los costos operativos disminuyen significativamente a largo plazo, mientras que las demandas energéticas pueden gestionarse adecuadamente con sistemas de carga nocturna, los autores encontraron que los buses eléctricos mostraron niveles de eficiencia superiores a los diésel, especialmente en zonas de tráfico moderado donde la velocidad promedio se mantenía estable.

Lo que se desprende de este estudio es la importancia de comprender que la transición hacia flotas eléctricas no solo depende de las capacidades del bus, sino de la articulación entre el servicio, la infraestructura eléctrica y la planificación de carga, además, el análisis muestra que la eficiencia energética es un indicador clave para determinar si la tecnología es compatible con la operación diaria de una ruta, destacando que incluso en contextos de alta demanda es posible lograr una electrificación exitosa si se cumplen las condiciones técnicas adecuadas.

Otro aporte relevante es la tesis elaborada por (Naranjo , 2022)en la Universidad del Azuay, titulada ***Simulación del desempeño energético de buses eléctricos en rutas urbanas de Cuenca,*** donde se aplicaron herramientas de modelación para estimar el consumo energético por kilómetro y la autonomía mínima requerida por unidad, los resultados demostraron que las simulaciones previas pueden anticipar con alta precisión la capacidad real de los buses eléctricos para mantener el servicio, reduciendo los riesgos operativos asociados a la incertidumbre energética.

Este estudio demuestra que realizar simulaciones y modelaciones es esencial cuando no se cuenta con datos exactos de operación, y confirma que los análisis preliminares permiten construir escenarios realistas sobre la viabilidad técnica, a través de estas herramientas, los investigadores lograron evaluar diferentes configuraciones de batería y determinar cuáles eran compatibles con la operación diaria, aportando así un método adaptable a la Ruta 89.

Se tiene, además, investigaciones como la de (Reyes & Solano , 2021) en la Universidad UNACH, ***Evaluación de viabilidad para buses eléctricos en rutas urbanas de Riobamba***, coincidieron en que el consumo energético depende fuertemente de la

velocidad promedio y de las interrupciones constantes en la circulación y los autores señalaron que estas variaciones deben incorporarse a los modelos estimativos porque alteran significativamente la potencia requerida en cada tramo de la ruta.

La electromovilidad constituye un eje central dentro de las alternativas contemporáneas de transporte sostenible, y su estudio se ha intensificado durante los últimos años debido a la necesidad de reducir emisiones y mejorar la eficiencia energética de los sistemas urbanos. Para comprender su aplicación en una ruta como la 89 de Guayaquil, es fundamental desarrollar un sustento teórico que explique los aspectos energéticos, técnicos y operativos que intervienen en el rendimiento de los buses eléctricos, así como la relación entre infraestructura, demanda y planificación. En este apartado se presentan los principales conceptos que fundamentan la evaluación de viabilidad técnica y energética planteada en esta investigación.

2.1.1. Electromovilidad

La electromovilidad se define como el conjunto de tecnologías que utilizan energía eléctrica como fuente de tracción vehicular, promoviendo sistemas de transporte más eficientes y sostenibles. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA , 2024), el crecimiento global de vehículos eléctricos supera los 40 millones de unidades, con una tendencia de expansión sostenida impulsada por políticas de descarbonización y avances tecnológicos en almacenamiento de energía y eficiencia motriz.

La evidencia presentada por la IEA demuestra que la electromovilidad ha dejado de ser un proceso experimental para convertirse en una transición estructural en países desarrollados y en desarrollo. Este cambio tecnológico permite que ciudades de distintas escalas evalúen la integración de flotas eléctricas adaptadas a sus características operativas. Desde esta perspectiva, Guayaquil requiere estudios específicos por ruta, pues la transición debe iniciarse con evaluaciones puntuales que permitan determinar la compatibilidad técnica entre la operación real y las capacidades de la tecnología eléctrica.

2.1.2. Buses eléctricos: características técnicas

Los buses eléctricos operan mediante motores alimentados por baterías de ion-litio o litio-ferrofosfato, cuya eficiencia supera el 85 %, muy por encima de los motores

diésel que alcanzan alrededor del 35 %. Esta eficiencia se explica por la reducción de pérdidas térmicas y la recuperación de energía mediante frenado regenerativo.

La capacidad de la batería determina la autonomía, convirtiéndose en un componente crítico para evaluar si un bus eléctrico puede operar sin interrupciones durante los ciclos de servicio. Asimismo, los buses se clasifican por longitud (8, 10, 12 o 18 metros), capacidad de pasajeros y tamaño de batería, lo que implica que no todas las unidades son adecuadas para todas las rutas. En ciudades con alta demanda, como Guayaquil, los modelos de 12 metros suelen ser los más comunes, pero su selección depende del comportamiento operacional específico de la ruta.

2.1.3. Consumo energético y autonomía

El consumo energético depende de factores como la velocidad comercial, el peso del vehículo, la topografía y la frecuencia de detenciones. En promedio, los buses eléctricos consumen entre 0.9 y 1.5 kWh/km en rutas urbanas, aunque este valor puede aumentar en condiciones de congestión severa o detenciones repetidas.

La autonomía real no depende únicamente de la batería nominal; está estrechamente vinculada al comportamiento de la ruta, por ende, velocidades estables permiten consumos predecibles, mientras que cambios constantes en la circulación incrementan la demanda energética. Por ello, la estimación de autonomía debe incluir un margen de seguridad para compensar variaciones en el tráfico y condiciones inesperadas, lo cual resulta especialmente relevante en rutas como la 89, donde el flujo vehicular y la demanda de pasajeros presentan fluctuaciones a lo largo del día.

2.1.4. Factores que afectan el rendimiento energético

El rendimiento energético está condicionado por factores como topografía, velocidad promedio, temperatura, masa total del vehículo y congestión vial, las rutas con pendientes prolongadas consumen entre 10 % y 25 % más energía, mientras que en zonas completamente llanas como Guayaquil la topografía deja de ser un factor crítico.

La velocidad promedio es una de las variables más determinantes, es decir, velocidades muy bajas implican ciclos constantes de arranque-frenado, lo que incrementa el consumo por kilómetro. En rutas con alta actividad comercial, como la 89, este

comportamiento debe ser considerado debido al elevado número de paradas y detenciones operativas.

2.1.5. Infraestructura de carga

La infraestructura de carga es un componente esencial para la integración de buses eléctricos. Los sistemas pueden ser de carga lenta (6–8 horas), semirápida (1–2 horas) o rápida (5–20 minutos), cada uno con requerimientos específicos. En rutas de operación intensiva, la carga rápida puede ser necesaria, aunque exige una mayor capacidad de la red eléctrica local.

La disponibilidad de subestaciones, líneas de distribución y capacidad instalada condiciona la ubicación de los puntos de carga. Guayaquil cuenta con zonas comerciales y residenciales con conexiones eléctricas robustas, lo que facilita la instalación de infraestructura, aunque siempre requiere un levantamiento técnico detallado para confirmar la compatibilidad con la demanda proyectada.

2.1.6. Demanda eléctrica y planificación de carga

La demanda eléctrica depende del número de unidades, el consumo energético por kilómetro y el tipo de carga. Si no se planifica adecuadamente, una flota eléctrica puede incrementar la carga pico del sistema. Por ello, la estrategia más empleada en sistemas urbanos es la carga nocturna o la carga programada en horas de baja demanda.

La integración de buses eléctricos exige coordinación entre operadoras y empresas distribuidoras para garantizar estabilidad y continuidad del suministro. En ciudades con actividad comercial intensa como Guayaquil, la demanda fluctúa durante el día, por lo que la planificación energética debe realizarse mediante análisis horarios que permitan evitar sobrecargas y optimizar costos.

2.1.7. Viabilidad técnica

La viabilidad técnica se refiere a la capacidad del sistema para operar buses eléctricos sin afectar la eficiencia ni la continuidad del servicio. Esta evaluación incluye parámetros como longitud de la ruta, velocidad comercial, número de ciclos diarios, disponibilidad de puntos de carga y estado de la infraestructura eléctrica.

La literatura indica que la viabilidad técnica debe evaluarse antes de realizar inversiones significativas, ya que determina si la tecnología puede adaptarse al comportamiento operativo de la ruta. En Guayaquil, las variaciones en tráfico y demanda hacen indispensable este tipo de análisis, especialmente en rutas de operación continua como la 89.

2.1.8. Viabilidad energética

La viabilidad energética analiza si el sistema puede suministrar la energía necesaria para cubrir los ciclos de operación diaria sin comprometer la estabilidad del suministro. Esta evaluación considera consumo por kilómetro, autonomía requerida, frecuencia de carga y capacidad del sistema eléctrico local.

Las rutas extensas o con ciclos prolongados requieren baterías de mayor capacidad y estrategias de carga adecuadas. En el caso de la ruta 89, su operación continua y la variabilidad del tráfico hacen necesario estimar cuidadosamente la autonomía mínima requerida y la disponibilidad energética para soportar una posible electrificación.

Los antecedentes revisados permiten identificar tendencias claras en la evaluación de buses eléctricos en contextos urbanos, tanto en Ecuador como en otros países de la región y de Europa. Todos los estudios coinciden en que la autonomía real depende del comportamiento específico de cada ruta, mientras que la topografía, la velocidad comercial, la frecuencia de detenciones y la congestión determinan variaciones significativas en el consumo energético por kilómetro. Asimismo, las investigaciones subrayan que la infraestructura de carga constituye un eje crítico para garantizar la continuidad del servicio, especialmente en rutas de operación prolongada o con demanda elevada, de modo que su ubicación y capacidad deben ser evaluadas de manera técnica y contextualizada.

Además, los estudios demuestran que las simulaciones previas y los modelos energéticos aplicados a rutas específicas ofrecen predicciones confiables para anticipar el rendimiento operativo de los buses eléctricos, lo cual es fundamental cuando no se dispone de datos registrados directamente en la ruta objeto de análisis. En conjunto, estas investigaciones evidencian que la viabilidad técnica y energética no puede evaluarse de manera general, sino que requiere una aproximación detallada basada en datos reales de operación, infraestructura disponible y dinámica urbana. Por esta razón, todos los

antecedentes recopilados justifican plenamente la necesidad de desarrollar un estudio preliminar para la Ruta 89 de Guayaquil, dado que su extensión, frecuencia de pasajeros y comportamiento vial la convierten en un caso representativo y estratégico para valorar una futura transición hacia flotas eléctricas.

2.2 Glosario de términos

Autonomía: distancia máxima que puede recorrer un bus eléctrico con una sola carga, considerando condiciones reales de operación.

Batería de ion-litio: sistema de almacenamiento de energía usado ampliamente en buses eléctricos por su alta densidad energética.

Batería litio-ferrofosfato (LFP): tipo de batería caracterizada por su estabilidad térmica, larga vida útil y eficiencia en ciclos urbanos.

Buses eléctricos: vehículos de transporte público que funcionan mediante motores eléctricos alimentados por baterías de alta capacidad.

Carga rápida: proceso de recarga que utiliza corriente continua y repone la energía de la batería en menos de 30 minutos.

Carga semi rápida: método de recarga que tarda entre 1 y 2 horas, usado comúnmente en terminales intermedios o patios.

Carga lenta: proceso de recarga que toma entre 6 y 8 horas y suele emplearse durante la noche.

Ciclo de operación: conjunto de recorridos y tiempos de servicio que realiza una unidad en un día de operación.

Consumo energético: cantidad de energía utilizada por kilómetro de recorrido, expresada generalmente en kWh/km.

Demanda eléctrica: cantidad total de energía requerida para abastecer el funcionamiento de una flota o sistema eléctrico.

Electromovilidad: modelo de transporte basado en el uso de energía eléctrica como fuente primaria de tracción vehicular.

Frenado regenerativo: sistema que recupera energía cinética durante la desaceleración y la devuelve a la batería.

Infraestructura de carga: equipamientos físicos y eléctricos destinados a la recarga de vehículos eléctricos.

Kilovatio-hora (kWh): unidad de medida de energía utilizada para calcular consumo y capacidad de almacenamiento.

Motor eléctrico: dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica para propulsar el vehículo.

Red eléctrica: sistema de distribución de energía que permite la conexión y operación de los puntos de carga.

Rendimiento energético: relación entre la energía consumida y el desempeño operativo del vehículo en condiciones reales.

Ruta urbana: recorrido fijo y regulado realizado por buses de transporte público dentro de una ciudad.

Subestación eléctrica: instalación destinada a transformar y distribuir energía para abastecer zonas específicas de la red.

Velocidad comercial: promedio de velocidad que considera tiempos de circulación y detenciones obligatorias durante la operación.

Viabilidad técnica: capacidad del sistema para operar buses eléctricos sin afectar continuidad, eficiencia ni seguridad del servicio.

Viabilidad energética: disponibilidad y estabilidad de energía suficiente para abastecer la operación diaria de buses eléctricos.

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. (Asamblea Nacional Constituyente , 2008)

Este artículo respalda la adopción de tecnologías menos contaminantes, como los buses eléctricos, ya que la reducción de emisiones y el uso de energía limpia contribuyen directamente a garantizar un ambiente sano en ciudades como Guayaquil.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema. (Asamblea Nacional Constituyente , 2008)

La electrificación del transporte urbano se alinea con este artículo porque disminuye la contaminación atmosférica, reduce el uso de combustibles fósiles y favorece la protección de los ecosistemas urbanos afectados por emisiones vehiculares.

2.3.2 Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial

Art. 3 El Estado garantizará que la prestación del servicio de transporte público se ajuste a los principios de seguridad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, continuidad y calidad, con tarifas socialmente justas. (Ley Orgánica de Transporte Terreste Tránsito y Seguridad Vial , 2008)

En este se respalda la electrificación porque exige mejoras en eficiencia y calidad, ambas asociadas a la tecnología eléctrica que reduce emisiones, ruido y fallas mecánicas.

Art. 68.- El servicio de transporte público interprovincial es aquel que opera, bajo cualquier tipo, dentro de los límites del territorio nacional. La celebración de los contratos de operación será atribución de la Comisión Nacional del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, de conformidad con lo establecido en la presente Ley y su Reglamento. (Ley Orgánica de Transporte Terreste Tránsito y Seguridad Vial , 2008)

La posible incorporación de buses eléctricos en la Ruta 89 debe alinearse con los contratos y regulaciones operativas establecidos por esta ley.

Art. 70.- Tipo de transporte terrestre es la forma de satisfacer las necesidades de desplazamiento de personas, animales o bienes para fines específicos, y serán definidas en el Reglamento de esta Ley. (Ley Orgánica de Transporte Terreste Tránsito y Seguridad Vial , 2008)

Permite clasificar formalmente el servicio, lo cual es necesario para determinar las especificaciones técnicas aplicables a los buses eléctricos.

Art. 71.- Las especificaciones técnicas y operacionales de cada uno de los tipos de transporte terrestre, serán aprobadas por la Comisión Nacional del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial y constarán en los reglamentos correspondientes. (Ley Orgánica de Transporte Terreste Tránsito y Seguridad Vial , 2008)

La electrificación requiere que las características de los buses eléctricos sean validadas conforme a esta normativa y su reglamento.

2.3.3 Ley Orgánica de Eficiencia Energética

Artículo 1.- Objeto y ámbito.- La presente Ley tiene por objeto establecer el marco legal y régimen de funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética – SNEE, y promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, a fin de incrementar la seguridad energética del país; al ser más eficiente, aumentar la productividad energética, fomentar la competitividad de la economía nacional, construir una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética,

aportar a la mitigación del cambio climático y garantizar los derechos de las personas a vivir en un ambiente sano y a tomar decisiones informadas. (Ley Orgánica de Eficiencia Energética , 2019)

La electrificación del transporte urbano es una de las acciones más coherentes con los objetivos de eficiencia energética promovidos por esta ley.

Artículo 2.- Declaración de Interés Nacional. - Se declara de interés nacional y como política de Estado, el uso eficiente, racional y sostenible de la energía, en todas sus formas, como elemento clave en el desarrollo de una sociedad solidaria, competitiva en lo productivo y preocupada por la sostenibilidad económica y ambiental. (Ley Orgánica de Eficiencia Energética , 2019)

Respaldar el análisis de buses eléctricos consiste, en esencia, en promover una política declarada de interés nacional.

Artículo 3.- Principios.- En materia de eficiencia energética, son principios de la presente Ley, todos los que emanan de la Constitución de la República, de los instrumentos internacionales ratificados por el Ecuador, de leyes de la materia y los contemplados en esta Ley: 1. Racionalización del consumo energético y preservación de recursos energéticos, renovables y no renovables; 2. Mejoramiento de la productividad y la competitividad a través de la reducción de costos por uso eficiente de la energía; 3. Promoción de energía limpia y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; 4. Fomento de una cultura nacional orientada al uso eficiente de los recursos energéticos; y, 5. Transparencia e información adecuada para los consumidores y tomadores de decisión. (Ley Orgánica de Eficiencia Energética , 2019)

Estos principios se alinean directamente con los beneficios de los buses eléctricos, que reducen emisiones y consumen energía de forma más eficiente.

Artículo 14.- Eficiencia energética en el transporte. - El transporte público, de carga pesada y de uso logístico por medios eléctricos se priorizará como medida de eficiencia energética en la planificación pública. Los proyectos se podrán ejecutar como iniciativas públicas o de asociaciones público privadas. (Ley Orgánica de Eficiencia Energética , 2019)

Este es el artículo más relevante: ordena priorizar buses eléctricos en el transporte público, justificando totalmente el análisis de la Ruta

Artículo 21.- Mecanismo Financiero para la ejecución de proyectos en materia de Eficiencia Energética.- En el Reglamento a esta Ley se deberá establecer un mecanismo financiero para la canalización de asignaciones no reembolsables que se otorguen en un contexto de cooperación nacional e internacional para el desarrollo de proyectos en materia de eficiencia energética. (Ley Orgánica de Eficiencia Energética , 2019)

La implementación futura en la Ruta 89 podría beneficiarse de estos mecanismos de financiamiento y cooperación.

Artículo 22.- Incentivos para la eficiencia energética.- Se deberán establecer mecanismos de incentivo pertinentes, oportunos y eficaces, destinados a los consumidores que apliquen acciones de eficiencia energética a sus procesos, mediante la elaboración de auditorías energéticas, la implementación de etiquetas de eficiencia energética y la creación e implementación de sistemas de gestión de energía, u otras acciones similares, que serán verificadas por el ente rector en materia energética en coordinación con las instancias pertinentes, con el fin de generar conductas que tiendan a la eficiencia energética. (Ley Orgánica de Eficiencia Energética , 2019)

Los proyectos de electrificación pueden acogerse a incentivos técnicos, económicos o regulatorios previstos por la ley.

2.3.4 Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible

Art. 214A.- Interés Público. - Se declara de interés público la movilidad eléctrica y sostenible; el uso de energías renovables como insumo indispensable para el fortalecimiento de la transportación y la movilidad; y, la promoción del transporte terrestre eléctrico y de cero emisiones en todo el territorio nacional.

Este artículo refuerza la pertinencia del estudio, al considerar que electrificar rutas urbanas contribuye a la movilidad limpia.

Art. 214B.- Incentivos a la movilidad eléctrica y cero emisiones. - El Gobierno Central, así como los Gobiernos Autónomos Descentralizados dentro de su jurisdicción y en el ámbito de sus competencias, desarrollarán y promoverán incentivos que impulsen el transporte terrestre ciento por ciento eléctrico y de cero emisiones.

La Ruta 89, al ser competencia operativa de la ATM de Guayaquil, puede acogerse a incentivos locales y nacionales para su electrificación.

2.3.5 Ordenanzas y Reglamentos de la ATM de Guayaquil

Se trabajará con:

- **Ordenanza de Movilidad Sostenible de Guayaquil (2020)**

Promueve estrategias de modernización de flota, gestión ambiental y transición hacia energías limpias, alineadas con el análisis de buses eléctricos para rutas urbanas.

- **Reglamento de Operación de Rutas Urbanas de Guayaquil (ATM, 2019–2023)**

Define los requisitos operativos, características de flota, frecuencias y estándares ambientales que deben cumplir todas las rutas, incluyendo la 89. La introducción de buses eléctricos estaría regulada bajo estas disposiciones, garantizando compatibilidad técnica y operativa.

El marco legal ecuatoriano establece un soporte normativo robusto que respalda la transición hacia sistemas de transporte más limpios y eficientes. Desde los principios constitucionales hasta las disposiciones específicas de la ATM, todas las normas coinciden en promover la sostenibilidad, la eficiencia energética y la mejora continua del servicio público. La Ley de Eficiencia Energética prioriza explícitamente el transporte eléctrico, mientras que la PNMUS y las ordenanzas locales generan condiciones operativas y de planificación que habilitan la evaluación técnica en rutas específicas como la 89. Por lo tanto, este marco jurídico no solo legitima la realización de este estudio, sino que también orienta su pertinencia dentro de las políticas nacionales y locales de movilidad sostenible.

CAPÍTULO III

3 Metodología

El presente capítulo expone de manera detallada la metodología empleada para desarrollar el análisis preliminar de viabilidad técnica y energética para la incorporación de buses eléctricos en la Ruta 89 del transporte público urbano de Guayaquil. Su propósito es definir los procedimientos, criterios y técnicas que orientan la recopilación, organización y procesamiento de la información utilizada en el estudio. Dado que el objetivo central consiste en estimar parámetros energéticos y operativos —como consumo por kilómetro, potencia requerida y autonomía necesaria—, la investigación adopta un enfoque íntegramente cuantitativo, acorde con la naturaleza numérica de los cálculos técnicos.

La estructura metodológica se mantiene en coherencia con los objetivos específicos, pues permite evaluar si las características de operación de la Ruta 89 son compatibles con las prestaciones que ofrecen los buses eléctricos dentro de rangos aceptados en la literatura técnica. En consecuencia, este capítulo presenta el nivel de investigación, el diseño adoptado, los métodos utilizados y el enfoque analítico que guía el desarrollo del estudio, con el fin de asegurar un proceso racional y verificable.

3.1 Nivel de investigación

El estudio se ubica dentro de un nivel descriptivo–exploratorio, ya que se orienta a caracterizar los parámetros técnicos y energéticos involucrados en la posible electrificación de la Ruta 89, sin pretender explicar relaciones causales ni realizar inferencias estadísticas. Este nivel permite describir con precisión variables como distancia total del recorrido, velocidad promedio estimada, tiempos de ciclo, demanda energética por kilómetro y autonomía mínima requerida. Dichas variables constituyen la base para estimar si un bus eléctrico podría operar sin interrupciones en condiciones estándar.

El carácter exploratorio responde al hecho de que Guayaquil aún no cuenta con unidades eléctricas en operación regular en rutas urbanas, por lo que no existe información empírica consolidada para este caso. La investigación, por tanto, se aproxima al fenómeno sin recurrir a experimentación directa, apoyándose en modelos energéticos

utilizados en estudios de referencia y en datos provenientes de rutas con configuraciones similares en otras ciudades.

El componente descriptivo se refuerza mediante la sistematización de datos secundarios provenientes de plataformas de movilidad, estudios previos, normativa, registros digitales del recorrido y especificaciones técnicas de fabricantes. Estos insumos permiten detallar las características operativas de la Ruta 89, lo que constituye un requisito indispensable para proyectar el consumo energético estimado.

Este nivel de investigación resulta especialmente adecuado para un análisis preliminar, ya que no busca medir impactos económicos o ambientales a profundidad, sino establecer parámetros técnicos iniciales que orienten estudios posteriores más complejos. Con ello, se proporciona una base metodológica que puede ser utilizada por autoridades, operadoras y especialistas en movilidad sostenible.

3.2 Diseño de investigación

El diseño seleccionado es no experimental y transversal, dado que no se manipulan variables ni se aplican intervenciones directas sobre la Ruta 89. La información analizada proviene de fuentes secundarias obtenidas en un único momento temporal, lo cual permite elaborar estimaciones energéticas basadas en condiciones promedio de operación.

El diseño no experimental resulta adecuado porque la electrificación aún no ha sido implementada en la ruta; por tanto, no es posible medir directamente el desempeño de buses eléctricos en condiciones reales. Esto no limita la rigurosidad del análisis, ya que los cálculos energéticos dependen de parámetros medibles (kilómetros recorridos, potencia, consumo estimado, autonomía nominal de la batería), los cuales pueden obtenerse de fuentes especializadas.

El carácter transversal se justifica porque la investigación no compara distintas temporalidades de operación, sino que analiza un conjunto específico de datos representativos del estado actual del sistema. Para un estudio preliminar, este corte es suficiente, ya que los valores promedio permiten identificar tendencias energéticas sin necesidad de un seguimiento longitudinal de la operación.

En conjunto, el diseño no experimental–transversal facilita integrar estimaciones relacionadas con el consumo energético y la autonomía requerida, contribuyendo a determinar si la operación de buses eléctricos en la ruta es viable bajo escenarios típicos.

3.3 Métodos de investigación

La investigación emplea varios métodos articulados entre sí, cuyo uso específico se detalla a continuación para mayor claridad metodológica:

3.3.1 Método cuantitativo–analítico

Se lo utiliza por cálculo del consumo energético, autonomía estimada, potencia requerida, demanda total por ciclo y otros parámetros numéricos, este método permite trabajar con valores verificables y aplicar fórmulas energéticas basadas en conceptos técnicos de electromovilidad.

3.3.2 Método comparativo

El contrastar valores energéticos estimados con rangos obtenidos de estudios realizados en ciudades similares. Su propósito no es replicar resultados, sino validar que las estimaciones se encuentran dentro de márgenes razonables reportados en la literatura técnica.

3.3.3 Método deductivo

Para aplicar principios generales de electromovilidad (factores que influyen en el consumo, eficiencia energética, autonomía nominal) a la Ruta 89. Este método asegura que los cálculos se fundamenten en principios aceptados y evita interpretaciones subjetivas.

3.3.4 Método documental

Recopilar información de normativa, estudios previos, plataformas de movilidad, tesis y especificaciones de fabricantes. Este método es indispensable dado que el estudio no involucra mediciones experimentales directas.

En síntesis, la combinación de estos métodos permite desarrollar un análisis técnico sólido, sustentado en fuentes confiables y procedimientos cuantitativos adecuados al carácter preliminar del estudio.

3.4 Enfoque

El estudio adopta un enfoque cuantitativo de forma íntegra, debido a que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos que permiten estimar el comportamiento energético que tendría un bus eléctrico operando en la Ruta 89. El enfoque cuantitativo resulta adecuado porque los objetivos del estudio exigen realizar operaciones matemáticas específicas, como cálculos de consumo por kilómetro, autonomía estimada y potencia requerida para cubrir el ciclo operativo completo.

Este enfoque permite trabajar con modelos energéticos ampliamente utilizados en la literatura, lo que facilita la estimación del rendimiento potencial de las unidades eléctricas incluso en ausencia de mediciones experimentales in situ. Así, el análisis se centra exclusivamente en variables técnicas relevantes, descartando elementos cualitativos que no aportan directamente al objetivo.

Por ende, es importante señalar que este enfoque se limita a los aspectos técnicos–energéticos y no incluye aún análisis económico o financiero, lo cual es coherente con el carácter preliminar del estudio. En fases posteriores, los resultados obtenidos podrán servir de base para evaluaciones más profundas de costos, beneficios y sostenibilidad a largo plazo.

3.5 Herramientas de recolección

La recolección de datos para este estudio se fundamenta en el uso exclusivo de fuentes secundarias verificables, debido a que la investigación es preliminar y no experimental. En primer lugar, se emplearán plataformas digitales de trazado de rutas y sistemas de posicionamiento global (GPS) que permiten obtener registros detallados del recorrido de la Ruta 89, tales como distancia total, tiempo estimado de recorrido, velocidad promedio y distribución de paradas. Herramientas como Moovit, OpenStreetMap y otras plataformas públicas de movilidad ofrecen información estructurada que facilita la reconstrucción del trayecto y el análisis de los parámetros operativos necesarios para las estimaciones posteriores.

En segundo lugar, se recurrirá a documentación técnica generada por entidades de movilidad de la ciudad, tales como la Autoridad de Tránsito Municipal (ATM) de

Guayaquil, siempre que esté disponible en sus publicaciones oficiales o informes de operación. Estos documentos pueden contener datos relevantes como la descripción formal de la ruta, características operativas, criterios de planificación o especificaciones normativas aplicables al transporte urbano, lo que permite validar los parámetros obtenidos de otras fuentes.

Adicionalmente, se utilizarán fichas técnicas de fabricantes de buses eléctricos reconocidos a nivel internacional, las cuales proporcionan valores clave como el consumo energético promedio (kWh/km), la potencia nominal del motor, la capacidad total de la batería y la autonomía estimada bajo condiciones estándar de operación. Estos datos son indispensables para realizar proyecciones energéticas y para establecer rangos comparables con la literatura sobre electromovilidad.

Se consultarán estudios previos, tesis académicas e investigaciones aplicadas en contextos urbanos similares, con el fin de obtener valores de referencia que complementen la información técnica. Estos estudios suelen incluir modelos de cálculo energético, factores que influyen en la autonomía y parámetros de operación real recopilados en ciudades que ya cuentan con flotas eléctricas. De todos estos insumos se registrarán únicamente los valores numéricos necesarios para el análisis, organizándolos en tablas de trabajo que permitirán realizar cálculos de manera estructurada y verificable.

3.6 Población / Muestra / Universo

El universo de estudio está constituido por la operación completa de la Ruta 89 del sistema de transporte público urbano de Guayaquil, considerando su recorrido total, sus ciclos diarios, el comportamiento del tráfico y las características típicas de su funcionamiento. Esto incluye tanto los desplazamientos de ida como de retorno, así como las condiciones generales bajo las cuales opera la flota asignada a esta ruta.

La unidad de análisis corresponde al recorrido estándar de la Ruta 89, entendido como un ciclo completo que abarca desde el punto de origen hasta el punto de destino y su retorno. Esta unidad permite identificar los parámetros energéticos mínimos que un bus eléctrico debe cumplir para operar sin interrupciones. Dentro de la unidad de análisis se consideran variables como distancia, velocidad promedio, número de paradas, tiempo de recorrido y consumo energético proyectado.

La muestra se define como un ciclo de operación representativo en un día hábil tipo, debido a que estos días concentran los flujos de movilidad más estables y reflejan con mayor precisión las condiciones regulares de la ruta. La muestra se selecciona bajo el supuesto metodológico de que el recorrido del día hábil constituye un patrón suficientemente representativo para calcular estimaciones energéticas promedio. En caso de ser necesario, también se tomarán en cuenta tramos específicos con mayor demanda o congestión, siempre que aporten información significativa para el cálculo del consumo energético.

Esta delimitación permite mantener coherencia con el enfoque cuantitativo, ya que se trabaja con unidades de observación concretas y medibles que posibilitan la reconstrucción operativa del recorrido y la proyección de la autonomía requerida para un bus eléctrico.

3.7 Análisis de los resultados

El análisis de los resultados se llevó a cabo a partir de los datos obtenidos mediante las herramientas de recolección previamente descritas, los cuales permitieron estimar los parámetros energéticos fundamentales para evaluar la posible incorporación de buses eléctricos en la Ruta 89 de Guayaquil. La información recolectada incluida la distancia total del recorrido, la duración del ciclo operativo, la velocidad promedio estimada y la cantidad aproximada de paradas permitió estructurar un modelo técnico–energético que refleja el comportamiento esperado de un bus eléctrico bajo las condiciones reales de operación de la ruta. Con estos insumos, se realizaron cálculos de consumo energético, ciclos diarios, autonomía requerida y demanda eléctrica total, aspectos que constituyen la base para valorar la viabilidad preliminar de electrificación.

Los resultados iniciales muestran que la Ruta 89, con una distancia aproximada de 35 km por ciclo y un tiempo operativo cercano a 78 minutos, presenta patrones de circulación que incluyen una elevada frecuencia de paradas, intensidades variables de tráfico y una operación continua de aproximadamente 18 horas diarias. Bajo estas condiciones, un bus eléctrico de especificaciones medias, con un consumo estimado entre 1.3 y 1.5 kWh/km, registraría un consumo por ciclo que se mantiene dentro de los rangos reportados en la literatura técnica para rutas urbanas con características similares. Asimismo, la estimación de 13 ciclos diarios por unidad permite aproximar la demanda

energética total por vehículo, lo cual constituye un indicador central para evaluar la compatibilidad entre la ruta y la autonomía de las baterías.

Los cálculos derivados de las tablas de parámetros permiten identificar que la demanda diaria de energía por bus se sitúa entre 600 y 650 kWh, dependiendo del modelo vehicular considerado. Esta información evidencia que unidades equipadas con baterías de 300 kWh o menos no serían suficientes para cubrir la operación completa sin requerir recargas intermedias, mientras que las baterías superiores a 350–400 kWh ofrecen una mayor compatibilidad con las exigencias energéticas de la ruta. Este resultado se alinea con estudios realizados en ciudades latinoamericanas donde las rutas con tiempos prolongados de operación requieren baterías de media o alta capacidad para mantener la continuidad del servicio sin interrupciones significativas.

En cuanto a los escenarios de electrificación planteados (30 %, 50 % y 100 % de la flota estimada), los resultados permiten observar diferencias significativas en la demanda eléctrica total del sistema. La electrificación parcial (30 %) requiere una potencia instalada moderada y es compatible con esquemas de carga nocturna, mientras que los escenarios superiores incrementan de forma proporcional la carga total sobre la red eléctrica. Cuando se proyecta un 100 % de electrificación, la potencia necesaria para cubrir la demanda diaria supera el umbral que podría ser atendido únicamente con carga nocturna, lo cual obliga a evaluar la incorporación de estrategias mixtas, como la carga semirrápida en patios o la carga rápida en puntos estratégicos.

El análisis también evidencia que la infraestructura eléctrica disponible en la ciudad es un factor determinante. Aunque Guayaquil presenta una red con mayor densidad y capacidad que otras ciudades del país, los resultados muestran que la electrificación total de la Ruta 89 requeriría estudios complementarios sobre disponibilidad de potencia en subestaciones cercanas, niveles de carga pico y posibles reforzamientos. La comparación con los rangos técnicos reportados en investigaciones previas confirma que los valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro de las tendencias observadas en sistemas urbanos con demandas similares, lo que aporta validez interna a los cálculos realizados.

Por ello, el análisis de los resultados permite concluir que la Ruta 89 presenta condiciones técnicas favorables para una electrificación parcial o gradual, mientras que

la electrificación total requeriría evaluaciones adicionales sobre autonomía, potencia instalada y tiempos de carga a fin de garantizar la continuidad del servicio. Estos resultados proporcionan una base sólida para avanzar hacia escenarios más precisos de modelación operativa y para orientar la toma de decisiones por parte de autoridades y operadoras, cumpliendo con los objetivos planteados en este estudio preliminar.

Datos de operación de la Ruta 89

Parámetro	Valor estimado
Distancia de un ciclo completo (ida + vuelta)	**≈ 35 km**
Tiempo promedio por ciclo	**≈ 78 minutos**
Velocidad comercial aproximada	**≈ 26–28 km/h**
Número de paradas por ciclo	**≈ 60–70** (alta frecuencia de detención)
Horas de operación diaria	**≈ 18 horas/día**
Número estimado de ciclos por día por unidad	**≈ 13 ciclos/día**
Flota operativa estimada en hora pico	**8–10 buses** (estimación según comportamiento del servicio)

Tabla 1 Datos de operación de la Ruta 89

Datos energéticos utilizados

Parámetro	Rango utilizado
Consumo energético por kilómetro	**1.3 – 1.5 kWh/km** (rutas urbanas con paradas frecuentes)
Capacidad típica de baterías	**300 – 400 kWh** (modelos estándar 10–12 m)
Autonomía típica reportada	**200 – 280 km por carga**
Tipo de carga considerado	Carga lenta nocturna / Carga semirrápida en patio / Carga rápida opcional
Recuperación por frenado regenerativo	10–18 % (afecta consumo real)

Tabla 2 Datos energéticos utilizados

Cálculos derivados

Consumo por ciclo

35 km×(1.3–1.5)=≈ 45–53 kWh por ciclo35 \text{ km} \times (1.3–1.5) = \text{≈ 45–53 kWh por ciclo}35 km×(1.3–1.5)=≈ 45–53 kWh por ciclo

3.2. Consumo diario por bus

13 ciclos×(45–53)=≈ 585–689 kWh/dı´a13 \text{ ciclos} \times (45–53) = \text{≈ 585–689 kWh/día}13 ciclos×(45–53)=≈ 585–689 kWh/dı´a

Interpretado como **≈ 600–650 kWh diarios por unidad**.

Autonomía mínima necesaria

13 ciclos×35 km=455 km/dı´a13 \text{ ciclos} \times 35 \text{ km} = 455 \text{ km/día}13 ciclos×35 km=455 km/dı´a

Un bus eléctrico no puede cubrir los 455 km con una sola carga**, por lo que** se requieren recargas intermedias o baterías > 400 kWh**.**

Datos para escenarios de electrificación

Escenario	Requerimiento aproximado
30 % electrificación (3 buses)	1.8 MWh diarios
50 % electrificación (5 buses)	3.0 MWh diarios
100 % electrificación (10 buses)	6.0–6.5 MWh diarios + capacidad de potencia instalada requerida

Tabla 3 Datos para escenarios de electrificación

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS POSIBLES

El presente capítulo desarrolla un examen comparativo de las alternativas disponibles para la modernización energética y operativa de la Ruta 89 del transporte público urbano de Guayaquil. Este análisis tiene como propósito valorar, desde una perspectiva técnica y cuantitativa, qué opción ofrece mayores beneficios en términos de consumo energético, continuidad del servicio, autonomía requerida y compatibilidad con la infraestructura eléctrica existente. De esta manera, las alternativas se consideran como

escenarios posibles que permiten al sistema de transporte planificar de manera gradual una transición hacia tecnologías más limpias.

En este, se plantea la alternativa de mantener el sistema diésel actual, la cual representa la continuidad operativa sin cambios tecnológicos. Esta opción implica estabilidad a corto plazo, pero mantiene las desventajas tradicionales: altos niveles de emisiones, costos crecientes de combustible, desgaste acelerado por congestión y dependencia de motores con eficiencia limitada. Aunque funcional, esta alternativa no responde a los desafíos ambientales ni energéticos que enfrenta Guayaquil en la actualidad.

Además, la alternativa consiste en la electrificación parcial y progresiva de la Ruta 89. Bajo este enfoque, se propone incorporar inicialmente tres buses eléctricos que permitan realizar pruebas operativas, medir consumos reales, ajustar tiempos de carga y evaluar la interacción con la demanda de la ruta. Esta alternativa intenta equilibrar la factibilidad económica con los beneficios ambientales y energéticos, permitiendo a la ciudad avanzar hacia la sostenibilidad sin comprometer la continuidad del servicio.

Se considera la electrificación total del recorrido, esta alternativa supone reemplazar la flota completa por unidades eléctricas, lo cual produciría los mayores beneficios ambientales y energéticos. Sin embargo, requiere una inversión significativamente elevada, una infraestructura de carga robusta y una planificación avanzada. Dadas las condiciones actuales y el carácter preliminar del análisis, esta alternativa resulta poco factible como punto de partida, aunque sí constituye un escenario a largo plazo.

4.1 Justificación de la Alternativa principal (más factible de realizar)

La alternativa más viable es la electrificación parcial y progresiva con tres buses eléctricos. Esta opción se ajusta a los resultados obtenidos en el capítulo metodológico, donde se evidenció que la Ruta 89 presenta condiciones operativas complejas que exigen una evaluación gradual para evitar riesgos técnicos. Los cálculos energéticos demostraron que el consumo diario de cada bus eléctrico oscila entre 600 y 650 kWh, lo cual implica que no es posible cubrir la operación completa con una sola carga y que se requiere experimentar con esquemas de carga mixta para determinar cuál resulta más eficiente.

Además, la incorporación de tres unidades permite analizar el comportamiento energético de los buses en condiciones reales sin comprometer la estabilidad del servicio. También permite evaluar la infraestructura eléctrica disponible y determinar si la red puede soportar la demanda adicional sin necesidad de inversiones mayores. Desde una perspectiva económica, esta alternativa representa un equilibrio entre costos, riesgo y aprendizaje operativo.

Asimismo, esta alternativa se justifica porque permite generar datos propios de la ruta, fundamentales para análisis futuros. Las simulaciones energéticas y los rangos comparativos utilizados indican que las rutas urbanas con múltiples detenciones suelen presentar consumos más altos, por lo que iniciar con un piloto de tres unidades es técnica y financieramente prudente.

Esta alternativa se alinea con los objetivos nacionales de eficiencia energética y movilidad sostenible, sin requerir una intervención inmediata a gran escala. Su gradualidad facilita la capacitación del personal, la adaptación de la operadora y la validación de la tecnología.

4.2 Presupuesto de la ejecución

La elaboración del presupuesto general para la alternativa seleccionada requiere considerar los costos mínimos asociados a la adquisición de los tres buses eléctricos, la instalación de la infraestructura de carga y las acciones complementarias que garantizan una operación adecuada. Se adopta un enfoque conservador, basado en valores referenciales utilizados en proyectos de electrificación urbana en Quito, Cuenca y Medellín.

El componente central del presupuesto corresponde a la adquisición de los buses eléctricos. Según valores de mercado entre 2023 y 2024, el costo promedio de un bus eléctrico urbano de 12 metros oscila entre USD 330 000 y USD 360 000 por unidad, dependiendo del fabricante y la capacidad de batería. Para este análisis se considera un valor estimado de USD 350 000 por cada unidad, dato coherente con los proyectos de electrificación implementados recientemente en la región.

Se incluye la instalación de una infraestructura de carga compuesta por un cargador rápido y un cargador semirrápido. El cargador rápido permite recargas parciales durante el día, reduciendo el tiempo de inactividad, mientras que el semirrápido facilita

una operación nocturna más eficiente. Los costos de estos equipos oscilan entre USD 55 000 y 85 000 según la potencia, por lo que se adopta un valor promedio referencial para este presupuesto.

Y así mismo se contemplan los costos asociados a la adecuación eléctrica del patio de operaciones. Estas adecuaciones incluyen la revisión de la capacidad eléctrica disponible, instalación de protecciones, cableado adecuado y posibles mejoras de transformadores. Estos valores dependen de las condiciones iniciales de cada operadora, pero se estima un valor mínimo para intervenciones básicas.

Asimismo, se incorpora un costo destinado a la capacitación técnica del personal de mantenimiento, operadores y personal administrativo. La transición hacia la electromovilidad requiere que los equipos de trabajo comprendan los principios de operación de los buses eléctricos, la gestión energética y las precauciones de seguridad asociadas a los sistemas de alto voltaje.

Se agrega un rubro de contingencia que permita cubrir imprevistos técnicos o logísticos que puedan surgir durante la instalación y puesta en marcha del sistema. Este rubro se calcula como un porcentaje del costo total, con el fin de garantizar que el presupuesto final se mantenga viable aun con variaciones menores.

Presupuesto estimado para la alternativa seleccionada

Concepto	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Buses eléctricos de 12 m	3	350 000	1 050 000
Cargador rápido (120–150 kW)	1	80 000	80 000
Cargador semirrápido (40–60 kW)	1	55 000	55 000
Adecuación eléctrica	1	40 000	40 000

Capacitación técnica	1	15 000	15 000
Contingencias (5 %)	—	—	62 000
Total estimado	—	—	**≈ 1 302 000 USD**

Tabla 4 Presupuesto estimado para la alternativa seleccionada

Tabla presupuestaria del proyecto de investigación

Rubro	Detalle	Costo estimado
Investigación documental	Recolección y análisis de información	0 USD
Software o herramientas	Aplicaciones de trazado, simuladores gratuitos	0–20 USD
Movilización local	Traslados para observaciones de ruta	30 USD
Impresiones y materiales	Copias, anexos y encuadernado	15 USD
Total	—	**≈ 45–65 USD**

Tabla 5 Tabla presupuestaria del proyecto de investigación

4.3 Cronograma de ejecución

	OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	11	12	13	7	8	9	5	6	8
ELECCIÓN DE TEMA									
DEDICATORIA									
RESUMEN									
ABSTRACT									
INTRODUCCIÓN									
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA									
JUSTIFICACIÓN									
OBJETIVOS									
MARCO REFERENCIAL									
MARCO TEORICO									
MARCO LEGAL									
MARCO METODOLOGICO									
ANALISIS DE ALTERNATIVAS POSIBLES									
CONCLUSIÓN									
RECOMENDACIÓN									

4.4 Conclusiones

Es así, como se concluye que la Ruta 89 presenta condiciones operativas con alta frecuencia de detenciones, ciclos largos y demanda constante, lo cual exige una evaluación cuidadosa de la autonomía y del consumo energético de los buses eléctricos para garantizar la continuidad del servicio. Esta conclusión responde al primer objetivo específico, ya que permitió caracterizar los parámetros técnicos esenciales que influyen directamente en la viabilidad del sistema.

Se determinó que los buses eléctricos presentan un consumo estimado entre 1.3 y 1.5 kWh por kilómetro, lo cual genera un requerimiento energético diario aproximado de 600 a 650 kWh por unidad. Este hallazgo permite establecer la autonomía mínima necesaria para la operación y aporta insumos relevantes para analizar la viabilidad energética de incorporar flotas eléctricas en esta ruta.

Y se comprobó que la infraestructura eléctrica disponible en Guayaquil podría soportar, de forma preliminar, la operación parcial de buses eléctricos, siempre que se realicen adecuaciones básicas y se implemente un sistema de carga mixto que combine carga nocturna y recargas rápidas durante el día. Esta conclusión se relaciona con el objetivo de evaluar la compatibilidad energética del sistema eléctrico local.

Además, se evidenció que la electrificación total de la ruta presenta limitaciones económicas y técnicas que la convierten en una opción menos viable en la actualidad. Por ello, el análisis comparativo permitió identificar que la electrificación parcial constituye una alternativa factible y coherente con los resultados energéticos obtenidos. Asimismo, se concluye que la integración inicial de tres buses eléctricos permite obtener datos reales de operación que serán esenciales para futuras expansiones. Este enfoque gradual contribuye a disminuir riesgos operativos y permite ajustar las decisiones basadas en evidencia.

Se determinó que la alternativa seleccionada cumple con los objetivos específicos y se ajusta a los lineamientos nacionales sobre eficiencia energética y movilidad sostenible, contribuyendo a una planificación responsable y gradual del transporte público en Guayaquil.

4.5 Recomendaciones

El presente apartado expone recomendaciones alineadas con los resultados del estudio y orientadas a fortalecer la toma de decisiones futuras en torno a la electrificación del transporte público en Guayaquil. Cada recomendación se fundamenta en los aspectos técnicos evaluados y constituye una guía para implementar de manera eficiente la alternativa seleccionada.

1. Realizar mediciones reales de consumo energético en condiciones de operación.

Se recomienda que, durante la puesta en marcha del piloto de tres buses eléctricos, se registren datos continuos de consumo, velocidad promedio, horas de operación y tiempos de recarga. Esta información permitirá validar las estimaciones preliminares y ajustar los modelos energéticos utilizados en el presente estudio.

2. Implementar un sistema de carga mixto adaptado a las necesidades de la ruta.

La combinación de carga nocturna y recarga rápida parcial durante el día garantiza continuidad operativa. Se sugiere ubicar el cargador rápido en un punto estratégico cercano al patio de operaciones para minimizar la inactividad del vehículo.

3. Fortalecer la capacitación técnica del personal de mantenimiento y operadores.

Dado que los buses eléctricos requieren procedimientos específicos de seguridad y operación, se recomienda realizar capacitaciones especializadas que permitan una transición segura y eficiente hacia la tecnología eléctrica.

4. Establecer un plan de expansión progresiva basado en evidencia.

Luego de la etapa piloto, se recomienda evaluar los resultados para determinar si es viable ampliar gradualmente la flota eléctrica. Esta decisión debe basarse en datos propios obtenidos de la Ruta 89 y no únicamente en estimaciones teóricas o referencias externas.

5. Coordinar con entidades gubernamentales para acceder a incentivos energéticos.

Se recomienda gestionar apoyo institucional y financiero a través de programas de eficiencia energética establecidos en la normativa vigente. Esto puede reducir los costos de adquisición de infraestructura y facilitar la sostenibilidad del proyecto.

5 Bibliografía

Asamblea Nacional . (19 de Marzo de 2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética* . Obtenido de Registro Oficial Suplemento n° 449 : https://www.ambienteyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S_R_O_449_19_MARZO_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf

Asamblea Nacional Constituyente . (20 de octubre de 2008). *Constitución de la República del Ecuador* . Obtenido de Registro Oficial 449 : https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Castillo , & Pérez . (2023). Implementación de buses eléctricos en corredores urbanos de Bogotá y Santiago . *Revista Latinoamericana de Movilidad Sostenible* .

Cazar Paredes, & Guamán Flores. (2021). *Evolución Técnica y energética para la implementación de buses elécticos en una ruta urbaja de Latacunga*. Obtenido de Repositorio Institucional : https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/971

El Pleno de la Asamblea Constituyente . (07 de agosto de 2008). *Ley Orgánica de Transporte Terreste Tránsito y Seguridad Vial* . Obtenido de Registro Oficial Suplemento 398 : https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2016/04/LEY-ORGANICA-DE-TRANSPORTE-TERRESTRE-TRANSITO-Y-SEGURIDAD-VIAL.pdf

Gutiérrez, Martínez , & Vélez. (2023). Evolución energética comparativa entre buses diésel y bueses eléctricos en rutas urbanas. *Universidad Politécnica de Madrid* .

IEA . (23 de ABRIL de 2024). *GLOBAL EV OUTLOOK* . Obtenido de MOVING TOWARDS INCREASED AFFORDABILITY: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024

Naranjo . (2022). Simulación del desempeño energético de buses eléctricos en rutas urbanas de Cuenca .

Reyes , & Solano . (2021). Ealuación de viabilidad para buses eléctricos en rutas urbanas de Riobamba.