



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
COMERCIAL

ANÁLISIS FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DE BUSES DEL TIPO BRT PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, ECUADOR.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO COMERCIAL

Profesor Guía:

Rodrigo Ortega Blu

Profesor Correferente:

Patricio Mansilla Caro

Alumno:

Álvaro Pontón Veliz

Enero 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Análisis financiero para la implementación de movilidad eléctrica en el sistema de transporte público de buses del tipo BRT para la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

Nombre del candidato(a): Alvaro Francisco Pontón Véliz

Carrera / Grado: Ingeniería Comercial / 5 año

Campus: Vitacura Departamento: Ingeniería Comercial

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Rodrigo Ortega Blu, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 5 de enero 2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 5 de enero 2026 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



1. Resumen

El presente estudio evalúa la viabilidad financiera de incorporar buses eléctricos al sistema BRT de Guayaquil, considerando la proyección de demanda, estructura de costos, ingresos, financiamiento y análisis de sensibilidad. El análisis parte con el contexto actual del sistema BRT llamado “Metrovía”, la composición de la flota y las metas nacionales de electrificación, que proyectan la incorporación de 40.000 buses eléctricos al 2040. La evaluación incluye dos tipos de buses: articulados y alimentadores, con un Gasto de Capital (CAPEX) de \$625.000 y \$230.000 respectivamente, además de incluir infraestructura de carga y conexión eléctrica, a su vez, también se evalúa un escenario conjunto entre ambos tipos de buses.

La proyección de demanda se estructura en función del crecimiento poblacional y uso del transporte público, se considera 6 recorridos diarios de 35 Km de distancia para buses articulados y 15 recorridos de 15 Km para los de tipo alimentador. Los ingresos se estiman según las tarifas subsidiadas actuales del sistema e incluyen una proyección de pasajeros por tipo de usuario, alcanzando flujos anuales por bus articulado, superiores a \$57.000 en 2030 y \$148.000 en 2036 posterior al término del pago del financiamiento. Para el bus alimentador se esperan flujos superiores a \$45.000 desde el año 2036 y flujos superiores a \$126.000 para el escenario conjunto después del año 2036.

En el apartado financiero, la evaluación incorpora un esquema de financiamiento del 80% del CAPEX total a financiar a una tasa del 11% anual durante diez años con un año de gracia, lo que genera cuotas anuales de \$93.190 para el bus articulado y \$47.534 para el alimentador y \$142.170 en el escenario conjunto. En costos operacionales, destacan el costo energético, mantenimiento, personal y seguros, que muestran incrementos moderados en el horizonte de evaluación tanto para buses articulados como alimentadores.

Los resultados financieros indican que el bus articulado obtiene un VAN de \$521.765 y una TIR del 100%, mientras que el bus alimentador presenta un VAN de \$45.951 y una TIR del 17%. En el escenario conjunto, que considera la integración tarifaria de los usuarios al utilizar ambos tipos de buses secuencialmente, se obtiene un VAN de \$54.655 y una TIR del 12%, confirmando que la inversión es financieramente viable incluso bajo condiciones conservadoras. Sin embargo, el análisis de sensibilidad revela que las variables más determinantes son el consumo energético, los costos operacionales y el CAPEX. Un aumento del 20% en consumo energético puede reducir el VAN del bus articulado en aproximadamente \$37.000 y el del alimentador en \$16.843, sin embargo, los indicadores permanecen positivos en el escenario articulado y conjunto, manteniendo su atractividad financiera ante el aumento del consumo energético dadas las condiciones climáticas de la ciudad.

Las conclusiones del estudio establecen que la incorporación de buses eléctricos al sistema BRT es financieramente rentable, ambientalmente beneficiosa y operacionalmente viable, especialmente bajo un esquema de integración tarifaria y subsidios municipales. El escalamiento óptimo del sistema se alcanza con 34 buses articulados y 17 alimentadores, alcanzando un VAN máximo de \$28,37 millones y un TIR del 156% en escenarios



ampliados, mientras que la estructura actual sugiere una implementación óptima de 21 buses por tipo (42 en total) con un VAN de \$15,88 millones y una TIR del 95%.



2. Abstract

The present study assesses the financial feasibility of incorporating electric buses into Guayaquil's BRT system, considering demand projections, cost structure, revenues, financing, and sensitivity analysis. The analysis begins with the current context of the BRT system known as "Metrovía," the composition of its fleet, and the national electrification goals, which project the incorporation of 40,000 electric buses by 2040. The evaluation includes two types of buses, articulated and feeder units, with a Capital Expenditure (CAPEX) values of \$625,000 and \$230,000 respectively, and also incorporates charging infrastructure and electrical connections. Additionally, a combined scenario between both bus types is evaluated.

Demand projections are structured based on population growth and public transport usage. The analysis considers six daily routes of 35 km for articulated buses and fifteen daily routes of 15 km for feeder buses. Revenues are estimated according to the current subsidized fares of the system and include a projected number of passengers by user type, reaching annual cash flows per articulated bus exceeding \$57,000 in 2030 and \$148,000 in 2036, after the financing period ends. For the feeder bus, cash flows exceeding \$45,000 are expected from 2036 onward, and more than \$126,000 in the combined scenario after 2036.

In the financial section, the evaluation incorporates a financing scheme covering 80% of total CAPEX at an annual interest rate of 11% over ten years with one grace year, resulting in annual payments of \$93,190 for the articulated bus, \$47,534 for the feeder bus, and \$142,170 in the combined scenario. Operational costs include energy, maintenance, personnel, and insurance expenses, which show moderate increases throughout the evaluation horizon for both types of buses.

The financial results indicate that the articulated bus achieves a Net Present Value (NPV) of \$521,765 and an Internal Rate of Return (IRR) of 100%, while the feeder bus yields an NPV of \$45,951 and an IRR of 17%. In the combined scenario, considering fare integration for users who sequentially utilize both types of buses, an NPV of \$54,655 and an IRR of 12% are obtained, confirming that the project is financially viable even under conservative conditions. However, the sensitivity analysis shows that the most influential variables are energy consumption, operational costs, and CAPEX. A 20% increase in energy consumption can reduce the NPV of the articulated bus by approximately \$37,000 and that of the feeder one by \$16,843. Nevertheless, the indicators remain positive in both the articulated and combined scenarios, preserving their financial attractiveness despite higher energy consumption due to the city's climatic conditions.

The study concludes that the incorporation of electric buses into the BRT system is financially profitable, environmentally beneficial, and operationally feasible, particularly under a tariff integration scheme supported by municipal subsidies. The optimal scaling of the system is reached with 34 articulated buses and 17 feeder buses, achieving a maximum NPV of \$28.37 million and an IRR of 156% in expanded scenarios, while the current structure suggests an optimal implementation of 21 buses of each type (42 in total), with an NPV of \$15.88 million and an IRR of 95%.



Tabla de contenidos

1. Resumen	2
2. Abstract.....	4
3. Introducción.....	8
4. Objetivos	9
4.1 Objetivo General:	9
4.2 Objetivos específicos:.....	9
5. Alcance de la investigación	11
6. Hipótesis	11
7. Estado del Arte	12
7.1 Metas específicas en movilidad eléctrica.....	12
7.2 Sistema de transporte publico buses.....	12
7.3 Renovación de la flota	14
7.4 Incentivos Gubernamentales	15
7.5 Niveles de Impactos	16
7.6 Tarifas en el sistema.....	18
7.7 Determinación de demanda de pasajeros	18
8. Marco Teórico	20
9. Evaluación financiera para la incorporación de bus eléctrico	22
9.1 Capex Bus.....	22
9.2 Préstamo.....	23
9.3 Ingresos	25
9.4 Costos operacionales.....	27
9.5 Estimación CAPM y WACC	30
9.6 Resultados de la evaluación.....	32
10. Análisis de sensibilidad del modelo	38
10.1 Sensibilidad de Ingresos	38
10.2 Sensibilidad de Costos.....	40
10.3 Sensibilidad de CAPEX.....	41
10.4 Sensibilidad de financiamiento	41
10.5 Sensibilidad por flujos descontados.....	42
11. Conclusiones.....	47
12. Recomendaciones.....	49
13. Bibliografía	51
14. Anexos.....	53



Índice de tablas y figuras

Tabla 1: Metas de adopción de electromovilidad de buses públicos en Ecuador	12
Tabla 2: Composición flota de buses.....	13
Figura 1: Rutas Troncales para el año 2011.....	14
Figura 2: Factores de emisión por Kg de CO ₂ e.....	17
Tabla 3: Emisiones totales de CO ₂ e por tipo de bus	18
Tabla 4: Tarifas Metrovía.....	18
Tabla 5: Proyección de demanda.....	18
Tabla 6: Proyección demanda bus articulado.....	19
Tabla 7: Proyección demanda bus alimentador.....	19
Tabla 8: Capex bus articulado.....	22
Tabla 9: Capex bus alimentador.....	22
Tabla 10: Capex escenario conjunto	23
Tabla 11: Cuadro amortización préstamo bus articulado	24
Tabla 12: Cuadro amortización préstamo bus alimentador.....	24
Tabla 13: Cuadro amortización préstamo escenario conjunto	25
Tabla 14: Ingresos bus articulado	26
Tabla 15: Ingresos bus alimentador	26
Tabla 16: Ingresos escenario conjunto.....	27
Tabla 17: Opex bus articulado.....	28
Tabla 18: Opex bus alimentador	29
Tabla 19: Opex bus escenario conjunto	29
Figura 3: Coeficiente Beta por actividad económica	30
Tabla 20: Estimación índices CAPM y WACC.....	31
Tabla 21: Flujo de caja bus articulado	32
Figura 4: “Curva J” bus articulado.....	33
Tabla 22: Flujo de caja bus alimentador.....	34
Figura 5: “Curva J” bus alimentador.....	35
Tabla 23: Flujo de escenario conjunto.....	36
Figura 6: “Curva J” escenario conjunto	36
Tabla 24: Sensibilidad de demanda	38
Tabla 25: Sensibilidad de tarifa	39
Tabla 26: Sensibilidad de consumo energético	40
Tabla 27: Sensibilidad de costos operativos.....	40
Tabla 28: Sensibilidad de Capex.....	41
Tabla 29: Sensibilidad de porcentaje de financiamiento	41
Tabla 30: Sensibilidad de tasa de interés.....	42
Tabla 31: Sensibilidad por ingresos descontados.....	42
Tabla 32: Sensibilidad por costos descontados.....	43
Figura 7: Variación VAN Montecarlo bus articulado	44
Figura 8: Variación TIR Montecarlo bus articulado.....	44
Figura 9: Variación VAN Montecarlo bus alimentador	45
Figura 10: Variación TIR Montecarlo bus alimentador.....	45
Figura 11: Variación VAN Montecarlo escenario conjunto	46



Figura 12: Variación TIR Montecarlo escenario conjunto 46
Tabla 33: VAN por cantidad de buses 49
Tabla 34: Impacto subsidios al sistema 49
Tabla 35: VAN por cantidad de buses (Ingresos totales) 50



3. Introducción

El crecimiento urbano y el aumento sostenido de la demanda de transporte público en las ciudades latinoamericanas han impulsado la necesidad de adoptar sistemas de movilidad más eficientes, limpios y económicamente sostenibles en el tiempo. Es en este contexto que la electrificación del transporte público se presenta como una alternativa estratégica para mejorar y modernizar la calidad del servicio, disminuyendo las emisiones contaminantes asociadas a la operación de la flota de buses urbanos y alineándose a los objetivos gubernamentales enfocados en la transición energética y energías renovables. Ecuador, en la línea de descarbonización, reducción de gases de efecto invernadero, ha establecido metas ambiciosas en la modernización del transporte público a nivel país, proyectando la incorporación de 40.000 buses eléctricos para el año 2040, por lo que la incorporación de buses eléctricos a sus flotas es prioritario, tanto para municipios como para entidades privadas.

En el caso de la ciudad de Guayaquil, la modernización del sistema BRT operado bajo el nombre de “Metrovía”, constituye una excelente oportunidad para evaluar la incorporación de buses eléctricos bajo el proceso de modernización de la flota de buses operativos dada la antigüedad de las maquinarias, normativas reguladoras de contaminación desactualizadas, aumento de los costos operativos y la necesidad de mejora del servicio, lo que hace necesario la evaluación de alternativas tecnológicas que permitan aumentar la eficiencia del sistema sin afectar la sostenibilidad financiera de las operadoras privadas ni las tarifas de acceso para los usuarios. Es por esto que el presente informe tiene como objetivo analizar la viabilidad financiera en la incorporación de buses eléctricos urbanos al sistema de transporte público para la ciudad de Guayaquil, desarrollando una evaluación financiera para la incorporación de buses eléctricos al sistema BRT, a través de los siguientes pasos: 1) estudio de la composición del sistema de transporte de buses en el país y en particular en Guayaquil, 2) proyección de demanda para identificar el impacto a nivel social de incorporar buses eléctricos, 3) estructura tarifaria para poder proyectar ingresos al sistema, 4) costos operativos, requerimientos de infraestructura, financiamiento y análisis de sensibilidad frente a cambios en los principales parámetros del proyecto. Se analizaron dos tipos de buses: articulados y alimentadores, adicionalmente, también se analizó un escenario conjunto que integra ambos modelos bajo una estructura tarifaria secuencial donde se proyectaron ingresos de forma más cercana a la realidad.

Con este análisis, se busca proporcionar una base técnica y financiera para la toma de decisiones sobre la electrificación del sistema BRT, evidenciando el potencial de incorporar esta tecnología para mejorar la sostenibilidad económica, ambiental y operativa del transporte público en la ciudad de Guayaquil.



4. Objetivos

4.1 Objetivo General:

Determinar la viabilidad financiera de implementación de movilidad eléctrica en el sistema de transporte público en Ecuador para Buses en el sistema BRT en la ciudad de Guayaquil.

4.2 Objetivos específicos:

4.2.1 Calcular una estimación de demanda representativa para la ciudad de Guayaquil.

- Específico: Estimar la cantidad de pasajeros que podrían trasladarse en buses eléctricos en la ciudad de Guayaquil, considerando datos de población, viajes diarios y uso actual del transporte público.
- Medible: Elaborar un modelo de demanda que incluya al menos 3 variables: número de pasajeros diarios, viajes/hora punta y tasa de ocupación proyectada.
- Alcanzable: Utilizar datos del INEC, SRI y municipios.
- Relevante: Permite dimensionar la cantidad de buses eléctricos necesarios para cubrir la demanda de transporte urbano en ambas ciudades.

4.2.2 Determinar una eficiencia energética realista acorde a las condiciones climáticas y de relieve para el país

- Específico: Estimar el consumo promedio de energía (kWh/km) de buses eléctricos operando en climas cálidos y húmedos (Guayaquil) y en altura con topografía accidentada.
- Medible: Comparar al menos 3 escenarios de operación: plano, pendientes moderadas y pendientes fuertes, determinando el impacto bajo un análisis de sensibilidad de costos.
- Alcanzable: Basarse en pruebas de campo con buses eléctricos en operación en Ecuador y datos de fabricantes adaptados a la geografía local.
- Relevante: Permite calcular costos operativos reales y necesidades de infraestructura de carga.

4.2.3 Determinar el efecto de degradación de las baterías para buses.

- Específico: Evaluar la pérdida de capacidad de las baterías de buses eléctricos bajo condiciones de operación en Ecuador (clima, pendientes, ciclos de carga).
- Medible: Cuantificar la degradación en % anual de capacidad útil y estimar la vida útil total (años o km recorridos).
- Alcanzable: Usar modelos de degradación reconocidos (por ejemplo, Arrhenius, modelos de ciclos profundos) y datos de fabricantes.
- Relevante: Permite proyectar costos de reemplazo de baterías y planificar la sostenibilidad financiera de la flota.



4.2.4 Desarrollar una propuesta de implementación de buses eléctrico bajo procesos de licitación que incorpore subsidios por parte de los municipios en Opex y tarifas

- Específico: Diseñar un modelo de licitación pública para la incorporación de buses eléctricos en transporte urbano, que contemple esquemas de subsidios municipales destinados a cubrir parte de los costos operativos (energía, mantenimiento) y a mantener tarifas accesibles (Actuales) para los usuarios.
- Medible: La propuesta debe incluir al menos tres componentes medibles: Esquema financiero con estudio de sensibilidad en el porcentaje de subsidio sobre Opex, Proyección bajo estudio de sensibilidad del impacto en la tarifa final al usuario, Número estimado de buses eléctricos que se podrían incorporar en la primera fase.
- Alcanzable: Basar la propuesta en experiencias comparables en Latinoamérica (ej. Chile, Colombia), ajustadas a la normativa vigente del Ecuador y la capacidad presupuestaria de los municipios.
- Relevante: El objetivo está alineado con las metas nacionales de movilidad sostenible, reducción de emisiones y modernización del transporte público, aportando una base técnica para que municipios tomen decisiones de inversión.

4.2.5 Evaluar el impacto ambiental de reemplazar buses diésel por buses eléctricos en Guayaquil

- Específico: Cuantificar reducción de emisiones de CO₂ equivalente por kilómetro recorrido.
- Medible: Medir la reducción en toneladas anuales de contaminantes por bus sustituido.
- Alcanzable: Usar factores de emisión del Ministerio del Ambiente y datos de operación de los buses.
- Relevante: Aporta evidencia para políticas de movilidad sostenible.



5. Alcance de la investigación

La presente investigación, como ya se determinó en el apartado anterior, tiene como propósito analizar la viabilidad financiera de implementación de buses eléctricos al sistema BRT en la ciudad de Guayaquil, por lo que la investigación se centra en la evaluación mediante flujos de cajas descontados, donde se evaluará un escenario por cada tipo de bus de manera individual, con el fin de determinar el impacto en cada uno de los escenarios. Se destaca que el fin de la investigación no es realizar un plan de acción para la integración final de los buses eléctricos al sistema completo, dado que en una primera instancia, es primordial identificar la viabilidad financiera de operación por cada tipo de bus y determinar si la implementación es finalmente viable para el sistema, posteriormente se determinará la opción de diseñar un plan de implementación a gran escala, sin contemplar impactos a nivel completo de la organización debido a la falta de información importante para determinar la integración de costos no contemplados en la evaluación asociados al sistema completo cómo, costos de mantenimiento de estaciones, mantenimiento de vías exclusivas, costos en salarios para trabajadores en estaciones, servicio de seguridad, gastos administrativos y de ventas, entre otras variables adicionales a nivel completo de la organización que contemplarían el estudio a determinar el impacto a un nivel más completo y detallado.

6. Hipótesis

Dado el auge tecnológico en la electrificación a nivel de movilidad pública, es importante considerar una inclusión de buses eléctricos en los sistemas de transporte en Ecuador. Si bien los objetivos y lineamientos mundiales buscan centrarse y enfocarse hacia la transición energética, que incluye un transporte público limpio y sostenible, es importante considerar los impactos a nivel financiero que posibiliten la rentabilidad en esta inversión, en especial si la transición podrá generar mayor eficiencia que apalanque la propuesta de inclusión de movilidad eléctrica al sistema BRT en Ecuador. La hipótesis general de la presente investigación que la incorporación de buses eléctricos al sistema BRT de Guayaquil es financieramente viable bajo un esquema de integración tarifaria, subsidios municipales y estimaciones de demanda, generando indicadores positivos tanto en VAN y TIR en un escenario de evaluación de un único bus, permitiendo que tanto el financiamiento y operación del bus sean sostenibles financieramente a lo largo del horizonte de evaluación.

7. Estado del Arte

7.1 Metas específicas en movilidad eléctrica

Ecuador tiene metas específicas en cuanto a movilidad eléctrica impulsadas por iniciativas gubernamentales que buscan actualizar sus planes a una transición energética a energías renovables, donde distintos actores involucrados, tanto a nivel particular como institucional, han incrementado su interés en la compra de vehículos eléctricos, en especial los municipios de las distintas provincias en Ecuador, dadas las metas de incorporación de electromovilidad en buses públicos a nivel país, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Metas de adopción de electromovilidad de buses públicos en Ecuador

Metas de adopción de electromovilidad de buses públicos en Ecuador			
Año	2025	2030	2040
Cantidad Buses	1,500	11,000	40,000

Fuente: Estudio de mercado para movilidad eléctrica en Ecuador para desarrollar una línea de financiamiento del BID (Steer, 2023)

Adicionalmente, algunos municipios se encuentran en procesos de licitaciones abiertas para renovar sus vehículos, con el objetivo de modernizar la flota operativa y cumplir con los nuevos lineamientos gubernamentales.

7.2 Sistema de transporte público buses

El sistema de transporte público de buses en las dos principales ciudades del país, Quito y Guayaquil, se divide en dos tipos de servicio: operadoras privadas, que en su mayoría son parte de cooperativas de transportes y ofrecen sus servicios cubriendo un grupo de “líneas de buses urbanas convencionales” similar a las “Micros Amarillas” en Chile previo a su transformación a “Transantiago”. También se encuentra el Sistema de Autobuses de Transporte Rápido (BRT en inglés) llamado “Metrovía” o por su nombre oficial “Sistema Integrado Transporte Masivo Urbano de Guayaquil” que se compone de operadoras privadas: “Metroquill”, “Metrobastion”, “Metroexpress” y “Metrourbano”, las cuales ofrecen sus servicios bajo un sistema concesionado. Existen casos particulares como en la ciudad de Quito, donde se mantiene un servicio híbrido entre La Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros (EPMT) y operadoras privadas quienes apoyan en la disponibilidad del servicio “Metrobus-Q”.

Metrovía es el segundo sistema de buses de alto tránsito implementado en Ecuador, es administrado por la "Fundación Municipal de Transporte Masivo Urbano de Guayaquil" y regulado por “ATM” (Agencia de Tránsito y Movilidad). El sistema se inauguró en el año 2006 y se considera un servicio de transporte público digno y eficiente que busca mejorar la movilidad en Guayaquil dando cobertura a rutas periféricas, disminuyendo el tiempo de traslado de pasajeros con el centro de la ciudad, mejorando la frecuencia de buses y disposición del servicio. Es por ello que, para efectos de la evaluación, se considera la implementación de buses eléctricos únicamente para el sistema BRT en Guayaquil

“Metrovía”, dada la alta demanda diaria de pasajeros y el alto grado de impacto social y económico que podría generar.

El sistema BRT se caracteriza por utilizar un sistema estandarizado que comprende vías exclusivas estandarizadas, estaciones de pasajeros “elevadas” en 90 cm, terminales de integración de buses entre troncales, por lo que es importante que los buses deban cumplir con las normativas actualizadas y adaptarse a las características de estandarización para su correcta implementación.

El sistema se compone de dos principales tipos de buses 1) “Buses articulados”: parte de la flota encargada de realizar los recorridos de tipo “Troncal”, aunque también son utilizados en “rutas alimentadoras” debido a la demanda de las rutas utilizadas. Sus características son de buses amplios de doble cabina articulada para transportar el mayor número de pasajeros posibles, 2) “Buses alimentadores”; encargados de transportar a los pasajeros desde las “rutas troncales” hacia la periferia y viceversa mediante “rutas alimentadoras”, se utilizan buses de menor tamaño respecto de los buses articulados para efectos de eficiencia fuera de las vías exclusivas.

Las flotas de buses operativos se componen de la siguiente manera (Tabla 2).

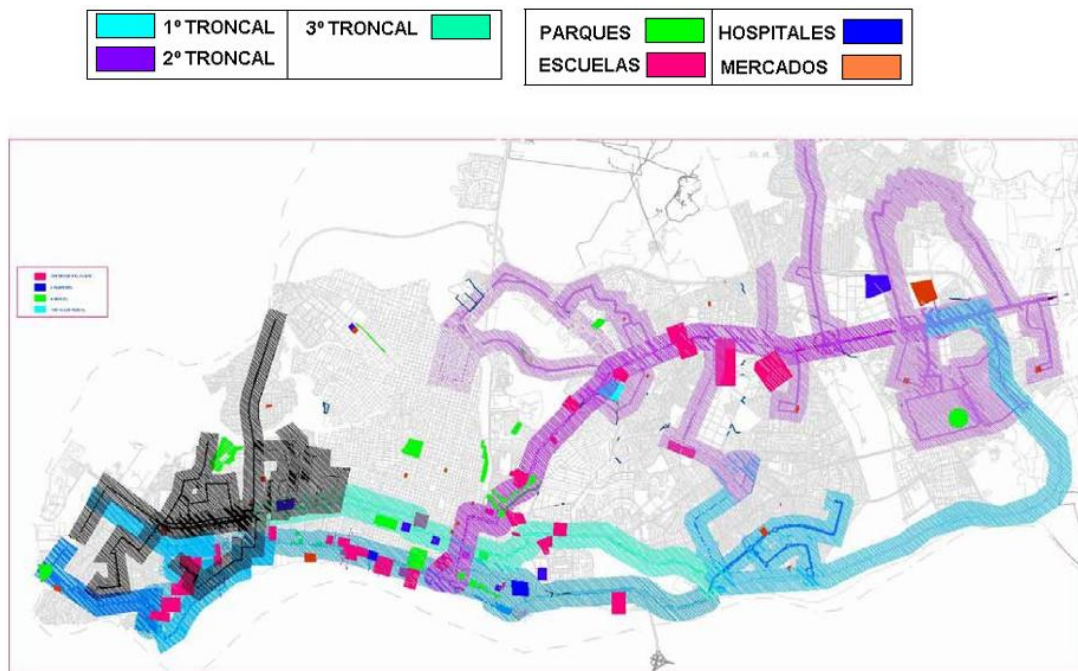
Tabla 2: Composición flota de buses

Operadora	Articulados	Alimentadores	Total Buses	Inicio Operación	Duración Concesión	Corredor
MetroQuil	50	40	90	2006	12 años	Guasmo - Río Daule
Metro Bastión	65	70	135	2008	12 años	Bastión Popular - Centro
Metro Express	90	90	180	2013	12 años	25 de Julio - Río Daule
	Total Articulados	Total Alimentadores	Total Buses			
	205	200	405			
	% Articulados	% Alimentadores				
	50.6%	49.4%				

Fuente: Elaboración propia con datos de: “Estudio de mercado para movilidad eléctrica en Ecuador para desarrollar una línea de financiamiento del BID” (Steer, 2023).

Es importante aclarar que, desde el mes de junio del año 2025 se inauguró la línea “Troncal 4” operada por la empresa “Metrourbano”, con una puesta en marcha de 35 buses inicialmente y con proyecciones de incorporación paulatina para operar con 104 buses nuevos. Cada una de las empresas concesionadas se encarga de gestionar una de las 4 rutas troncales independientes y sus rutas alimentadoras periféricas, donde cada una se encarga de gestionar un sector de la ciudad anteriormente denominado como “Corredor” de la siguiente manera (Figura 1).

Figura 1: Rutas Troncales para el año 2011



Fuente: Informe “Metrovia: Sistema integrado de transporte masivo urbano de la ciudad de Guayaquil” (Von Buchwald, 2009)

7.3 Renovación de la flota

Es importante entender el contexto de renovación de las flotas a las que se enfrentan los municipios, debido a que, en la ciudad de Guayaquil, muchos de sus buses articulados operativos son del año 2006 y 2013 con normativas contaminantes Euro II y Euro III. Por otra parte, existen operadoras como “Metro bastión” que deben realizar su renovación de flota, donde se proyecta incorporar 50 buses eléctricos al sistema (Steer, 2023). Adicionalmente, junto con la puesta en marcha de la Troncal 4 al sistema “Metrovía” en junio del 2025, donde se incorporan buses modernos al sistema, se evidencian los incentivos de modernización y los esfuerzos del municipio para mejorar la calidad del servicio, modernizar el sistema de transporte público y disminuir las emisiones de contaminantes con sistemas limpios y normativas de contaminación actualizadas.

Tomando en consideración lo anterior y dado que la flota de buses en el sistema BRT en Guayaquil se compone de buses del tipo articulados y alimentadores, es importante evaluar un futuro reemplazo de estos vehículos, por lo que se debe considerar la incorporación de buses eléctricos al corto o mediano plazo dados los incentivos gubernamentales, intenciones de modernización y los objetivos claros en la reducción de emisiones. Actualmente, existen análisis financieros para la implementación de buses eléctricos urbanos específicos para la ciudad de Cuenca, sin embargo, esta ciudad no cuenta con un sistema del tipo BRT, por lo que comparativamente, tanto para los recorridos en Guayaquil, mantienen semejanzas para buses del tipo “Alimentador”.



Se toma en consideración que, en la ciudad de Guayaquil, en promedio, los recorridos alimentadores oscilan entre 12 y 17 Km de distancia, por lo que para efectos de la evaluación se consideraron recorridos de 15 Km. A su vez, según datos recopilados por el estudio “Análisis Financiero para la Implementación de un Bus Eléctrico Urbano en la Ciudad de Cuenca”, en promedio, con rutas de similares características cada bus alcanza una frecuencia de 15 recorridos por día. Adicionalmente, se considera un “CAPEX bus Alimentador” de \$230.000 (*Mansilla, 2025, comunicación personal*) dados los precios circulantes en el mercado ecuatoriano con buses eléctricos de similares características al tipo B2 (12 metros) como ejemplo el BYD K9 (actualmente empleado en Chile por RED de Movilidad) desde donde se extrapolaron cifras y características técnicas del bus a evaluar.

Para los buses de tipo troncal, se consideró un “CAPEX bus articulado” de \$625.000, tomando en cuenta el nivel de precios de buses alimentadores en el país y el de buses eléctricos articulados en el resto del mundo, como es el caso en Colombia y su sistema BRT “Transmilenio”, es posible dimensionar el CAPEX final del bus articulado en Ecuador dado el valor de la inversión en otros países donde se implementó este tipo de buses con características similares (sobre 18 metros) como ejemplo: Zhongtong LCK6180EVG. En promedio, la ruta común de tipo troncal se consideró de 35 Km de distancia, alcanzando una frecuencia de 6 recorridos diarios por bus.

7.4 Incentivos Gubernamentales

Actualmente, en Ecuador existen incentivos a la electrificación vehicular impulsados por el actual gobierno, que disminuyen los costos de matrículas anuales en vehículos eléctricos a únicamente 10 USD (*Loaiza, 2025*). Es importante aclarar que el costo de matrícula puede oscilar entre 30 USD y 100 USD dependiendo del valor del vehículo y la provincia donde se matricula, esta incorpora una tasa de revisión vehicular que depende del tipo de vehículo y un impuesto al rodaje que considera el 1% del avalúo fiscal del vehículo. Sin embargo, aunque la medida no aclara que este mismo efecto pueda impactar para buses eléctricos públicos, sí es importante considerar una disminución de la tasa impositiva al 22% (*BID, 2018*) puesto que el BID y el PNUD mencionan tasas reducidas y condiciones especiales para que las micro y pequeñas empresas disminuyan su carga tributaria, pasando de una tasa impositiva del 25% al 22%. Sumados a los incentivos gubernamentales para cumplir con los objetivos de electrificación en el transporte público, esta información es relevante a considerar para la evaluación financiera del proyecto.

7.5 Niveles de Impactos

Impacto tecnológico:

El impacto tecnológico de incluir buses eléctricos al sistema BRT de Ecuador es significativo, no solo en el ámbito económico con costos operacionales inferiores a aquellos de los buses de combustión, también en la incorporación de tecnología que impacta directamente en la calidad y seguridad del servicio como uso de telemetría y gestión de flota, brindando información importante como el estado de la batería, estado de funcionamiento del bus, ubicación a tiempo real, incorporación de sistemas de alerta y colisiones, entre otros, y también la recolección de datos que permitan mantener un mejor conocimiento sobre el estado operativo de los buses, lo que es importante para optimizar los recursos y las operaciones diarias disminuyendo costos y mejorando el servicio.

Impacto social:

El impacto social se acerca principalmente a la aceptación ciudadana, analizar externalidades positivas como reducción de ruido ambiente y emisiones al ambiente, mejora de la percepción del transporte público, modernización de la ciudad, también el mejoramiento en el acceso a la información y mayor comodidad en los trayectos impactan positivamente en la calidad del servicio frente a los usuarios. Adicionalmente, es importante considerar las externalidades que genera la modernización, dado que la implementación de buses eléctricos beneficiaría en una primera instancia a rutas comerciales de mayor rentabilidad o de mayor demanda, para posteriormente dar cobertura a zonas periféricas debido a la incorporación paulatina de los buses eléctricos en la flota.

Por otra parte, este impacto también se podrá observar en el empleo y formación de talento necesario, ya que, la transición energética a gran escala requiere reconversión de mano de obra capacitada como mecánicos, conductores, gestores de flota, equipo de mantención, entre otros, dado que se generará una demanda de empleos especializados al corto-mediano plazo con altas expectativas a futuro.

Impacto ambiental:

Para identificar el impacto ambiental de utilizar un bus eléctrico, es importante determinar el consumo energético promedio al año y transformarlo a emisiones equivalentes de CO₂. Con esto, se conocerá cuanto es la disminución de emisiones de CO₂e por bus eléctrico frente a un bus con motor a combustión.

Dado que los buses a evaluar recorren una distancia anual promedio de 73.200 Km que depende del tipo de recorrido, se determinaron las emisiones de CO₂ equivalentes en la producción de energía y las emisiones por uso (conducción) del vehículo.

Se utilizó un factor de emisión por kWh de 0.45 Kg de CO₂e (Por producción de energía) acorde a un país que se encuentra en etapas tempranas de transición energética en el desarrollo de fuentes de energías renovables como es Ecuador.

Figura 2: Factores de emisión por Kg de CO₂e

Actividad	Factor de Emisión	Unidad	Fuente
Electricidad de la Red (EE. UU.)	0.45	kg CO ₂ e por kWh	U.S. EPA
Energía Renovable	0	kg CO ₂ e por kWh	Asumiendo 100% renovable
Gas Natural	0.053	kg CO ₂ e por MJ	IPCC
Diésel	2.68	kg CO ₂ e por litro	U.S. EPA
Gasolina	2.31	kg CO ₂ e por litro	U.S. EPA
Propano	1.51	kg CO ₂ e por litro	U.S. EPA
Vehículos de Pasajeros (Gasolina)	0.24	kg CO ₂ e por milla	U.S. EPA
Camiones de Carga (Diésel)	0.28	kg CO ₂ e por tonelada-milla	U.S. EPA
Viajes Aéreos (Vuelos Domésticos)	0.133	kg CO ₂ e por pasajero-milla	U.S. EPA
Producción de Cemento	0.9	kg CO ₂ e por kg de cemento	IPCC
Producción de Acero	1.85	kg CO ₂ e por kg de acero	IPCC
Residuos Sólidos Urbanos (Relleno Sanitario)	1.1	kg CO ₂ e por kg de residuo	IPCC

Fuente: Emission Factors (<https://www.gtx.ai/emission-factors/>)

Este factor puede variar dependiendo de qué tan avanzada se encuentre la producción de energías renovables y la integración al aporte de energías de origen verde a la red final de consumo eléctrico. En países como Chile, se puede considerar un factor de emisión cercano a 0.24 Kg por kWh CO₂e (*Coordinador Eléctrico Nacional, 2024*), lo que reduciría en mayor medida las emisiones finales por bus.

En comparación con un bus de combustión, que en promedio tiene un rendimiento de combustible de 22 litros por cada 100 Km, lo que es equivalente a 4.55 Km por litro, el factor de emisión de CO₂e por litro de combustible utilizado es de 2.7 Kg de CO₂e.

Aunque se puede decir que con un bus eléctrico contamina anualmente, en promedio, entre un 12,9% y 88,4% adicional en comparación a un bus a combustión, no se toma en consideración la emisión de NO_x, material particulado, SO₂ y otros contaminantes al ambiente que impactan directamente en la salud de las personas, que puede provocar enfermedades como asma y hasta problemas cardíacos, además de la disminución de contaminación acústica en lugares densamente poblados. Por otra parte, los buses eléctricos mantienen cero emisiones al conducir, lo que mejora drásticamente la calidad del aire urbano, aunque la electricidad pueda generar emisiones no directas, principalmente en el proceso de producción, la huella de carbono disminuirá junto con la aplicación de matrices limpias de producción y políticas de transición a energías renovables que se adopten en el país. A lo anterior, hay que considerar las emisiones por conducción de un bus a combustión, para ello, se considera un factor de combustión de 1.12 Kg de CO₂ por km recorrido (*Lizama, 2021*), lo que aumenta significativamente las emisiones de CO₂ equivalente de un bus a combustión frente a uno eléctrico (Tabla 3).

Tabla 3: Emisiones totales de CO₂e por tipo de bus

Tipo Bus	Uso energético Bus	Consumo energético Bus	Factor de emisión CO ₂	Contaminación CO ₂ (Por Producción)	Contaminación CO ₂ (Por Conducción)	Total CO ₂ (En toneladas/año)
Articulado	2.67 KWh/Km	195.444 KWh	0.45Kg/KWh	87.950 Kg	0 Kg	87.95 t
Alimentador	1.60 KWh/Km	117.120 KWh	0.45Kg/KWh	52.704 Kg	0 Kg	52.70 t
Bus Combustión	4.55 Km/L	16.088 L	2.9 Kg/L	46.655 Kg	81.984 Kg	128.64 t

Fuente: Elaboración propia.

7.6 Tarifas en el sistema

Las tarifas en el sistema BRT en Ecuador son subsidiadas por cada municipio, quienes regulan y en algunos casos también ofrecen el servicio, como es el caso de Quito. Si los subsidios no son adecuados, la electrificación puede presionar las tarifas y afectar a usuarios de menores ingresos debido a la alta inversión del Capex del bus eléctrico en los primeros años, sin embargo, en el análisis financiero, se contabilizaron las tarifas subsidiadas (tarifas finales de cara al público), lo que significa el menor ingreso para la evaluación, dado que se contabiliza el subsidio como una disminución de la tarifa (Tabla 4).

Tabla 4: Tarifas Metrovía

Tarifa - Guayaquil				
Tipo Usuario	Descripción	Tarifa		Demanda por tarifa
P1	Tarifa General	0.45	\$USD	10%
P2	Tarifa Adulto	0.30	\$USD	70%
P3	Estudiantes, niños y 3ra edad	0.12	\$USD	15%
P4	Discapacidad	0.00	\$USD	5%

Fuente: Elaboración propia con datos de: (<https://www.primicias.ec/guayaquil/aumento-tarifa-metrovia-1enero-2025-tarjeta-guayaca-85270/>).

7.7 Determinación de demanda de pasajeros

Para determinar la demanda de pasajeros, se tomó en consideración la densidad demográfica de la ciudad para determinar un crecimiento poblacional promedio que permita dimensionar el crecimiento de demanda final durante el horizonte de evaluación que enfrentará cada bus (Tabla 5).

Tabla 5: Proyección de demanda

Demanda			
Población Guayaquil 2010	2,450,000	Población Guayaquil 2022	2,908,589
Crecimiento Poblacional 2010 - 2022	18.72%	Crecimiento Poblacional Anual	1.56%
Demanda de transporte público (83%) 2009	2,033,500	Demanda de transporte público (80%) 2022	2,326,871
Crecimiento demanda Tras. Publico 2010 - 2022	14.43%	Crecimiento anual demanda Trans. Publico	1.20%

Fuente: Elaboración propia.

Dado lo anterior, se determinó una demanda de transporte público cercana al 83% (Von Buchwald, 2009), correspondiente al porcentaje total de la población que se moviliza en el sistema público, sin embargo, al incluir los datos al año de referencia 2022, estos debieron considerar el aumento de vehículos particulares, dado que condiciona el volumen de pasajeros transportados diariamente en el sistema y la proyección de demanda a analizar, por lo que se estimó una demanda corregida de transporte para el año 2022 del 80%.

Para determinar la demanda por cada bus del tipo articulado, se consideró un “Índice de Pasajeros por Kilómetro” (IPK) de 12 personas para el año 2010, que toma el promedio obtenido entre distintas rutas troncales operativas (Von Buchwald, 2009), y se aplicó una tasa de crecimiento promedio anual del 1.20% para ajustar la demanda actual y futura al crecimiento poblacional obtenido. El IPK se multiplicó por la distancia de la ruta para obtener el número de Pasajeros por Recorrido (35 Km por recorrido). Adicionalmente, se consideró que el promedio de pasajeros total que enfrenta cada bus al día es de 2700 pasajeros. Teniendo en cuenta lo anterior, se pudo determinar el Numero de Recorridos diarios que recorre cada bus para alcanzar la demanda promedio estimada calculada bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Numero de Recorridos} = \frac{\text{Pasajeros promedio por Bus al día}}{\text{Pasajeros por Recorrido}}$$

En la Tabla 6 se presenta la proyección de demanda para un bus articulado.

Tabla 6: Proyección demanda bus articulado

Buses Articulados			
IPK (índice pasajeros por kilómetro) 2010	12	IPK (índices pasajeros por kilómetro) 2022	13.73
Pasajeros promedio por bus al día 2010	2360	Pasajeros promedio por bus al día 2022	2700
Pasajeros por Recorrido 2010	420	Pasajeros por Recorrido 2022	481
Numero de Recorridos 2010	5.6	Numero de Recorridos 2022	5.6

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la demanda de buses del tipo alimentador, se consideró la proporción entre la demanda promedio de pasajeros en rutas de longitud corta (entre 10 Km y 15 Km) frente a la demanda promedio de pasajeros en rutas de longitud larga (entre 30 Km y 35 Km) (Torres et al., 2022), por lo que finalmente se consideró un proporcional del 45% del índice IPK de buses articulados para estimar la demanda de buses alimentadores (Revisar anexos 8, 11 y 12), y se mantuvo la tasa de crecimiento poblacional anual del 1.20% (Tabla 7).

Tabla 7: Proyección demanda bus alimentador

Buses Alimentadores			
IPK (índice pasajeros por kilómetro) 2010	5.4	IPK (índices pasajeros por kilómetro) 2022	6.18
Pasajeros promedio por bus al día 2010	1180	Pasajeros promedio por bus al día 2022	1350
Pasajeros por Recorrido 2010	90	Pasajeros por Recorrido 2022	93
Numero de Recorridos 2010	14.6	Numero de Recorridos 2022	14.6

Fuente: Elaboración propia



8. Marco Teórico

Modelos de evaluación financiera

- **Flujo de caja descontado (Cashflow):** El modelo bajo flujos de caja utiliza la proyección de flujos descontados a una tasa de interés específica. Para la evaluación se utilizó la tasa WACC (Weighted Average Cost of Capital) obtenida del 9,09%, con el fin de traer los flujos futuros a valores presentes para que sea posible su comparación.
- **Indicadores VAN y TIR:** Estos son indicadores financieros que permiten evaluar la viabilidad de una inversión y su tasa de retorno al final del horizonte de evaluación. El VAN (Valor actual neto) es la sumatoria de los flujos proyectados “Cashflow” traídos a valores presentes. La TIR (Tasa interna de retorno) indica el porcentaje de rentabilidad que se obtendrá de la inversión con un VAN cero o ganancia cero.
- **Índice CAPM y WACC:** Son conceptos financieros que buscan determinar la rentabilidad de activos e impacto financiero a la empresa. El índice CAPM (Capital asset pricing model) busca estimar el rendimiento esperado de un activo específico o industria específica, involucrando una tasa libre de riesgo país y un “Beta” de mercado o industria bajo el concepto de regresiones lineales que hace referencia al riesgo sistemático. El índice WACC (Weighted average cost of capital) busca calcular el costo promedio de todo el financiamiento de una empresa. Utiliza en su cálculo el indicador CAPM y se utiliza como tasa de descuento para evaluar proyectos de inversión y flujos de dinero al actuar como tasa mínima de rentabilidad esperada para la empresa.
- **Sensibilidad financiera:** Se realiza un análisis de sensibilidad que busca determinar el impacto sobre los indicadores VAN y TIR ante variaciones en cada una de las variables analizadas, con el objetivo de conocer los márgenes soportados por el modelo y determinar aquellas variables más sensibles.

Costos del ciclo de vida

- **Estructura de CAPEX:** La estructura de CAPEX corresponde a los gastos de capital que se dispondrán durante el proyecto, de los cuales se consideraron: Valor del bus evaluado, sistemas y estantes de carga, conexión a la red. Adicionalmente, se consideró un bono de chatarrización equivalente al capital descontado por entregar como parte de pago el vehículo anterior.
- **Estructura de OPEX:** La estructura de OPEX o gastos operacionales del bus contempla dos apartados: Costos de energía por consumo energético y costos operativos que son necesarios para el funcionamiento del bus, como costo de personal, costos de seguro, costos de mantenimiento y reparación, costos de llantas, costos de mantenimiento de cargadores y conexión a red, costos de matrícula.



Financiamiento

- **Horizonte de evaluación:** Es el periodo de tiempo establecido para analizar los ingresos, costos y beneficios. Para la evaluación se consideró un horizonte de 16 años.
- **Intereses:** Es el pago referente al costo de la deuda o financiamiento del capital financiado, regido a una tasa de interés.
- **Amortización:** Pago gradual de una deuda a través del pago de cuotas periódicas sin incluir el pago de intereses.

Estimación de demanda

- **Crecimiento poblacional:** Tasa de crecimiento poblacional para la ciudad de Guayaquil que toma en consideración el crecimiento promedio entre el año 2010 y 2022. El crecimiento total se dividió por la cantidad de años para tener un crecimiento anual promedio, el cual incorporar para la proyección de demanda.
- **Índice IPK:** Índice de pasajeros por kilómetro, es un indicador de pasajeros nuevos que ingresan al bus por kilómetro recorrido, esto permite determinar el número de pasajeros promedio que ingresan por recorrido y posibilita proyectar los ingresos estimados.

9. Evaluación financiera para la incorporación de bus eléctrico

9.1 Capex Bus

Para la evaluación financiera que busca la inclusión de buses eléctricos al sistema BRT en la ciudad de Guayaquil, se tomó en consideración el valor de dos distintos tipos de Capex por bus, el primero correspondiente al bus de tipo “Articulado” en \$625.000. Se consideró un bono de chatarrización del 20% del Capex del Bus correspondiente a \$125.000 que descuentan el valor final del bus eléctrico, adicionalmente, se incluyó el Capex del sistema de carga por bus, Capex de la conexión a la red y Capex del estante de carga, con un total por \$145.000. Finalmente, el Capex total a financiar fue de \$645.000 por cada bus eléctrico. También se consideró un recambio de batería en el octavo año del proyecto, correspondiente al 8% del Capex del Bus, equivalente a \$50.000 (Tabla 8).

Tabla 8: Capex bus articulado

Bus Articulado	Valor	Unidades
CAPEX bus Articulado	\$ 625,000.00	\$USD
Bono Chatarrización	\$ 93,750.00	\$USD
CAPEX total buses Articulado	\$ 500,000.00	\$USD
CAPEX del sistema de carga	\$ 40,000.00	\$USD
CAPEX de la conexión a la red	\$ 100,000.00	\$USD
CAPEX del estante de carga	\$ 5,000.00	\$USD
CAPEX a financiar	\$ 645,000.00	\$USD

Fuente: Elaboración propia

Para el Bus de tipo “Alimentador”, se consideró un Capex bus de \$230.000 y un bono de chatarrización equivalente al escenario anterior (20% del valor del Capex bus). Se consideró la misma inversión adicional en el Capex del sistema de carga por bus, Capex de la conexión a la red y Capex del estante de carga, un total por \$145.000. Finalmente, el Capex total a financiar por cada bus Alimentador eléctrico fue de \$329.000. De igual manera, se consideró un recambio de la batería en octavo año por \$18.400 (Tabla 9).

Tabla 9: Capex bus alimentador

Bus Alimentador	Valor	Unidades
CAPEX bus Alimentador	\$ 230,000.00	\$USD
Bono Chatarrización	\$ 46,000.00	\$USD
CAPEX total buses Alimentador	\$ 184,000.00	\$USD
CAPEX del sistema de carga	\$ 40,000.00	\$USD
CAPEX de la conexión a la red	\$ 100,000.00	\$USD
CAPEX del estante de carga	\$ 5,000.00	\$USD
CAPEX a financiar	\$ 329,000.00	\$USD

Fuente: Elaboración propia

Por último, se consideró un escenario conjunto que contempló el Capex de un bus “Articulado” y un bus “Alimentador”. Este consideró un bono de chatarrización del 8% por el valor del Capex de cada bus analizado y se determinó el valor Capex de sistema de carga, conexión a la red y estante de carga por el número de buses evaluados. También se consideró un costo de recambio de batería por \$68.400 para ambos buses evaluados (Tabla 10).

Tabla 10: Capex escenario conjunto

Escenario Conjunto	Valor	Unidades
CAPEX bus Alimentador	\$ 855,000.00	\$USD
Bono Chatarrización	\$ 171,000.00	\$USD
CAPEX total buses Par	\$ 684,000.00	\$USD
CAPEX del sistema de carga	\$ 80,000.00	\$USD
CAPEX de la conexión a la red	\$ 200,000.00	\$USD
CAPEX del estante de carga	\$ 20,000.00	\$USD
CAPEX a financiar	\$ 984,000.00	\$USD

Fuente: Elaboración propia

9.2 Préstamo

Para la determinación del préstamo del Capex a financiar de cada tipo de bus, se estipuló financiar el 80% del Capex total resultante, a una tasa del 11% anual, en un plazo de 10 años.

Para la construcción del cuadro de amortización, se determinó el valor de la cuota bajo la siguiente fórmula:

$$Cuota = \frac{CF}{\frac{1-(1+i)^{-t}}{i}}, \text{ donde:}$$

- *CF*: Capex a financiar
- *i*: Tasa de interés
- *t*: Horizonte de evaluación (se evaluó en un periodo a 9 años de pago con un año de gracia)

La cuota anual resultante para cada bus del tipo “Articulado” fue de \$93.190,46, que involucra toda la inversión necesaria para el funcionamiento del bus estipulada en el apartado de Capex, donde el financiamiento se distribuye bajo el siguiente cuadro de amortización (Tabla 11).



Tabla 11: Cuadro amortización préstamo bus articulado

Periodo	Cuota	Interés	Amortización	Deuda
2026	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 516,000.00
2027	\$ 93,190.46	\$ 56,760.00	\$ 36,430.46	\$ 479,569.54
2028	\$ 93,190.46	\$ 52,752.65	\$ 40,437.81	\$ 439,131.73
2029	\$ 93,190.46	\$ 48,304.49	\$ 44,885.97	\$ 394,245.76
2030	\$ 93,190.46	\$ 43,367.03	\$ 49,823.42	\$ 344,422.34
2031	\$ 93,190.46	\$ 37,886.46	\$ 55,304.00	\$ 289,118.34
2032	\$ 93,190.46	\$ 31,803.02	\$ 61,387.44	\$ 227,730.90
2033	\$ 93,190.46	\$ 25,050.40	\$ 68,140.06	\$ 159,590.84
2034	\$ 93,190.46	\$ 17,554.99	\$ 75,635.47	\$ 83,955.37
2035	\$ 93,190.46	\$ 9,235.09	\$ 83,955.37	\$ 0.00

Fuente: Elaboración propia

La cuota anual resultante para cada bus del tipo “Alimentador” fue de \$47.534,36 distribuida bajo el siguiente cuadro de amortización (Tabla 12).

Tabla 12: Cuadro amortización préstamo bus alimentador

Periodo	Cuota	Interés	Amortización	Deuda
2026	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 263,200.00
2027	\$ 47,534.36	\$ 28,952.00	\$ 18,582.36	\$ 244,617.64
2028	\$ 47,534.36	\$ 26,907.94	\$ 20,626.42	\$ 223,991.22
2029	\$ 47,534.36	\$ 24,639.03	\$ 22,895.32	\$ 201,095.90
2030	\$ 47,534.36	\$ 22,120.55	\$ 25,413.81	\$ 175,682.09
2031	\$ 47,534.36	\$ 19,325.03	\$ 28,209.33	\$ 147,472.76
2032	\$ 47,534.36	\$ 16,222.00	\$ 31,312.35	\$ 116,160.41
2033	\$ 47,534.36	\$ 12,777.65	\$ 34,756.71	\$ 81,403.70
2034	\$ 47,534.36	\$ 8,954.41	\$ 38,579.95	\$ 42,823.75
2035	\$ 47,534.36	\$ 4,710.61	\$ 42,823.75	\$ 0.00

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la evaluación de un escenario conjunto, la cuota anual resultante para cada par buses fue de \$142.169,63 distribuida bajo el siguiente cuadro de amortización (Tabla 13).

Tabla 13: Cuadro amortización préstamo escenario conjunto

Periodo	Cuota	Interés	Amortización	Deuda
2026	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 787,200.00
2027	\$ 142,169.63	\$ 86,592.00	\$ 55,577.63	\$ 731,622.37
2028	\$ 142,169.63	\$ 80,478.46	\$ 61,691.17	\$ 669,931.20
2029	\$ 142,169.63	\$ 73,692.43	\$ 68,477.20	\$ 601,454.00
2030	\$ 142,169.63	\$ 66,159.94	\$ 76,009.69	\$ 525,444.31
2031	\$ 142,169.63	\$ 57,798.87	\$ 84,370.76	\$ 441,073.56
2032	\$ 142,169.63	\$ 48,518.09	\$ 93,651.54	\$ 347,422.02
2033	\$ 142,169.63	\$ 38,216.42	\$ 103,953.21	\$ 243,468.81
2034	\$ 142,169.63	\$ 26,781.57	\$ 115,388.06	\$ 128,080.75
2035	\$ 142,169.63	\$ 14,088.88	\$ 128,080.75	\$ 0.00

Fuente: Elaboración propia

9.3 Ingresos

Para determinar los ingresos por bus, en primera instancia se consideró el valor tarifario por tipo de usuario que mantiene cada sistema, que se encuentran explicadas en el apartado de Tarifas (Tabla 4). Adicionalmente, se consideró la demanda total de usuarios diarios que utilizan el transporte Metrovía en Guayaquil. Se estimó un total de 2.326.000 usuarios diarios que se movilizan en transporte público. Para efectos de estimar la demanda diaria por bus, se tomó en consideración un índice pasajero por kilómetro (IPK) promedio por tipo de bus y de ruta, que se explicó en mayor profundidad en el apartado de Determinación de demanda (Tabla 4).

Se determinó el ingreso diario aproximado por tipo de pasajero al multiplicar la demanda estimada por tipo de pasajero por su respectiva tarifa. Posteriormente, este ingreso diario se multiplicó por 360 para obtener los ingresos anuales. Se aplicó una tasa que disminuye los ingresos por concepto del Tiempo Espera Entrega Bus (TEEB) del 50% en el primer año (se considera un periodo de 6 meses para la entrega del bus).

Los ingresos para el bus de tipo articulado y alimentador se determinaron de la siguiente manera (Tablas 14 y 15).

Tabla 14: Ingresos bus articulado

Ingresos Anuales Bus Articulado					
Partida	2026	2030	2035	2040	2041
Recorridos Diarios	6	6	6	6	6
Tarifa General	\$ 127.47	\$ 133.71	\$ 141.95	\$ 150.69	\$ 152.50
Tarifa Adulto Diarios	\$ 594.87	\$ 623.99	\$ 662.42	\$ 703.20	\$ 711.66
Estudiantes, niños y 3ra edad Diarios	\$ 50.99	\$ 53.49	\$ 56.78	\$ 60.27	\$ 61.00
Discapacidad Diarios	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Pasajeros diarios por Bus	2833	2971	3154	3349	3389
Ingresos Diarios por Bus	\$ 773.33	\$ 811.19	\$ 861.14	\$ 914.17	\$ 925.16
Ingresos Anuales por Bus	\$ 139,198.92	\$ 292,029.28	\$ 310,010.98	\$ 329,099.91	\$ 333,056.49
Ingreso por Kilometro al año por Bus	\$ 1.84	\$ 3.86	\$ 4.10	\$ 4.35	\$ 4.41
Ingreso al día por Bus	\$ 386.66	\$ 811.19	\$ 861.14	\$ 914.17	\$ 925.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Ingresos bus alimentador

Ingresos Anuales Bus Alimentador					
Partida	2026	2030	2035	2040	2041
Recorridos Diarios	15	15	15	15	15
Tarifa General	\$ 63.74	\$ 66.86	\$ 70.97	\$ 75.34	\$ 76.25
Tarifa Adulto Diarios	\$ 297.43	\$ 312.00	\$ 331.21	\$ 351.60	\$ 355.83
Estudiantes, niños y 3ra edad Diarios	\$ 25.49	\$ 26.74	\$ 28.39	\$ 30.14	\$ 30.50
Discapacidad Diarios	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Pasajeros diarios por Bus	1416	1486	1577	1674	1694
Ingresos Diarios por Bus	\$ 386.66	\$ 405.60	\$ 430.57	\$ 457.08	\$ 462.58
Ingresos Anuales por Bus	\$ 69,599.46	\$ 146,014.64	\$ 155,005.49	\$ 164,549.95	\$ 166,528.24
Ingreso por Kilometro al año por Bus	\$ 0.92	\$ 1.93	\$ 2.05	\$ 2.18	\$ 2.20
Ingreso al día por Bus	\$ 193.33	\$ 405.60	\$ 430.57	\$ 457.08	\$ 462.58

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación del escenario conjunto, se consideró que los usuarios transportados en el bus "Alimentador" que posteriormente utilizan un bus "Articulado", no vuelven a pagar un pasaje adicional debido a la integración de las tarifas. Además, se tomó en consideración que aproximadamente el 50% de los pasajeros del tipo alimentador utilizan posteriormente un bus articulado, por lo que se consideró un ingreso conjunto aproximado por tipo de tarifa calculado con la siguiente fórmula:



$$Ing\ Conj = (Ing\ Art) + (Ing\ Alm \cdot 0.45), \text{ donde:}$$

Ing Conj : Ingreso Conjunto

Ing Art : Ingreso por bus articulado por tipo de tarifa

Ing Alm : Ingreso por bus alimentador por tipo de tarifa.

Dado que en el escenario conjunto toma en consideración que la totalidad de los usuarios utilizan tanto un bus articulado como alimentador, se considera el ingreso únicamente de los pasajeros que utilizan el bus articulado correspondiente a una ruta troncal, dado que estos usuarios pagan un único pasaje. Adicionalmente, se tomó en cuenta un porcentaje del 45% de los usuarios que únicamente utilizan un bus alimentador, es por ello que se adicionó a los ingresos percibidos en conjunto, manteniendo la proporcionalidad de impacto de la ruta alimentadora frente a la articulada (Tabla 16).

Tabla 16: Ingresos escenario conjunto

Ingresos Anuales Escenario Conjunto					
Partida	2026	2030	2035	2040	2041
Tarifa General	\$ 156.15	\$ 163.80	\$ 173.88	\$ 184.59	\$ 186.81
Tarifa Adulto Diarios	\$ 728.71	\$ 764.39	\$ 811.46	\$ 861.43	\$ 871.78
Estudiantes, niños y 3ra edad Diarios	\$ 62.46	\$ 65.52	\$ 69.55	\$ 73.84	\$ 74.72
Discapacidad Diarios	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Pasajeros diarios	3045	3194	3391	3600	3643
Ingresos Diarios por Bus	\$ 947.33	\$ 993.71	\$ 1,054.90	\$ 1,119.85	\$ 1,133.32
Ingresos Anuales por Bus	\$ 170,518.68	\$ 357,735.87	\$ 379,763.46	\$ 403,147.39	\$ 407,994.20
Ingreso por Kilometro al año por Bus	\$ 2.26	\$ 4.73	\$ 5.02	\$ 5.33	\$ 5.40
Ingreso al día	\$ 473.66	\$ 993.71	\$ 1,054.90	\$ 1,119.85	\$ 1,133.32

Fuente: Elaboración propia

9.4 Costos operacionales

Para determinar los costos operacionales de los distintos buses, en primera instancia se determinó el costo energético de cada bus dada la distancia recorrida por bus en el año, que está determinada por el número de recorridos diarios dependiendo del tipo de ruta que se realiza. Se espera que un bus del tipo “Articulado” recorra 75.600 Km anualmente y dado que el uso de energía del bus es de 2.67 KWh/Km, el consumo final será de 201.852 KWh al año por bus.

Para un bus del tipo “Alimentador”, se espera que recorra una distancia anual promedio de 70.200 Km, manteniendo un uso energético de 1.60 KWh/Km, el consumo energético final por cada bus del tipo alimentador es de 112.320 KWh al año.

Se determinó que la tarifa de consumo de electricidad en los cargadores establecidos es de \$0.11 por KWh que incluye consumo de energía y consumo de potencia.

Se estimaron a su vez otros costos operativos que involucran: costos de personal mensual por \$3.115 (\$37.380 al año), costos de seguro referente al 3.5% del Capex bus, costos de mantenimiento y reparación de \$0.28 por kilómetro recorrido para un bus “Articulado” y \$0.18 por kilómetro recorrido para un bus “Alimentador”, costos de llantas (neumáticos) por \$0.13 y \$0.08 por Kilómetro recorrido para bus “Articulado” y “Alimentador” respectivamente y costos de mantenimientos de cargadores y red por un 2% del Capex de cargadores y de red. Adicionalmente, se contempló un costo de matrícula (Permiso circulación) de \$10 anuales dado a los incentivos gubernamentales que apoyan proyectos de electrificación (Loaiza, 2025).

Se estimó un crecimiento promedio de los costos por concepto de inflación del 1.55% anual y también para el primer año se realizó un descuento de los costos por concepto del Tiempo de Espera Entrega Bus (TEEB) del 50% (estimado a 6 meses).

Finalmente, se considera la sumatoria del total de los costos estimados por tipo de bus (Tablas 17 y 18).

Tabla 17: Opex bus articulado

Bus Articulado					
Parámetros	2026	2030	2035	2040	2041
Costo Energía por Bus	\$ 22,203.72	\$ 23,612.69	\$ 25,500.29	\$ 27,538.78	\$ 27,965.63
Costo de personal por mes por bus	\$ 37,380.00	\$ 39,752.00	\$ 42,929.78	\$ 46,361.59	\$ 47,080.19
Costo del seguro como porcentaje del valor promedio	\$ 21,875.00	\$ 23,263.11	\$ 25,122.76	\$ 27,131.08	\$ 27,551.61
Costo de mantenimiento y reparación	\$ 21,432.60	\$ 22,792.64	\$ 24,614.68	\$ 26,582.38	\$ 26,994.41
Costo de llantas	\$ 9,525.60	\$ 10,130.06	\$ 10,939.86	\$ 11,814.39	\$ 11,997.51
Costo de mantenimiento de cargadores y red como porcentaje del CAPEX	\$ 800.00	\$ 850.77	\$ 918.78	\$ 992.22	\$ 1,007.60
	\$ 2,000.00	\$ 2,126.91	\$ 2,296.94	\$ 2,480.56	\$ 2,519.00
Costo matricula \$USD anuales	\$ 10.00	\$ 10.63	\$ 11.48	\$ 12.40	\$ 12.60
Costos operacionales totales por Bus	\$ 57,613.46	\$ 122,538.81	\$ 132,334.57	\$ 142,913.40	\$ 145,128.55
Costo por Kilometro al año por Bus	\$ 0.76	\$ 1.62	\$ 1.75	\$ 1.89	\$ 1.92
Costo al día por Bus	\$ 160.04	\$ 340.39	\$ 367.60	\$ 396.98	\$ 403.13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Opex bus alimentador

Bus Alimentador					
Parámetros	2026	2030	2035	2040	2041
Costo Energía por Bus	\$ 12,355.20	\$ 13,139.22	\$ 14,189.57	\$ 15,323.88	\$ 15,561.40
Costo de personal por mes por bus	\$ 37,380.00	\$ 39,752.00	\$ 42,929.78	\$ 46,361.59	\$ 47,080.19
Costo del seguro como porcentaje del valor promedio	\$ 8,050.00	\$ 8,560.82	\$ 9,245.18	\$ 9,984.24	\$ 10,138.99
Costo de mantenimiento y reparación	\$ 19,901.70	\$ 21,164.59	\$ 22,856.49	\$ 24,683.64	\$ 25,066.23
Costo de llantas	\$ 8,845.20	\$ 9,406.49	\$ 10,158.44	\$ 10,970.51	\$ 11,140.55
Costo de mantenimiento de cargadores y red como porcentaje del CAPEX	\$ 800.00	\$ 850.77	\$ 918.78	\$ 992.22	\$ 1,007.60
	\$ 2,000.00	\$ 2,126.91	\$ 2,296.94	\$ 2,480.56	\$ 2,519.00
Costo matricula \$USD anuales	\$ 10.00	\$ 10.63	\$ 11.48	\$ 12.40	\$ 12.60
Costos operacionales totales por Bus	\$ 44,671.05	\$ 95,011.43	\$ 102,606.65	\$ 110,809.03	\$ 112,526.57
Costo por Kilometro al año por Bus	\$ 0.64	\$ 1.35	\$ 1.46	\$ 1.58	\$ 1.60
Costo al día por Bus	\$ 124.09	\$ 263.92	\$ 285.02	\$ 307.80	\$ 312.57

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación del escenario conjunto, se consideró la sumatoria de los costos por cada tipo de bus, generando un escenario de costos operativos totales por cada dupla de buses (Tabla 19).

Tabla 19: Opex bus escenario conjunto

Costos Escenario Conjunto					
Parámetros	2026	2030	2035	2040	2041
Costos operacionales totales por Flota	\$ 102,284.51	\$ 217,550.24	\$ 234,941.22	\$ 253,722.42	\$ 257,655.12
Costo por Kilometro al año por Bus	\$ 0.70	\$ 1.49	\$ 1.61	\$ 1.74	\$ 1.77
Costo al día por Bus	\$ 284.12	\$ 604.31	\$ 652.61	\$ 704.78	\$ 715.71

Fuente: Elaboración propia

9.5 Estimación CAPM y WACC

En una primera instancia se determinó el índice CAPM, tomando en consideración el estudio “Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM) aplicado al sector empresarial de Ecuador”, del cual se extrajo información importante para que el cálculo del indicador fuera lo más representativo para la industria. Se realizó la estimación del CAPM bajo la siguiente fórmula:

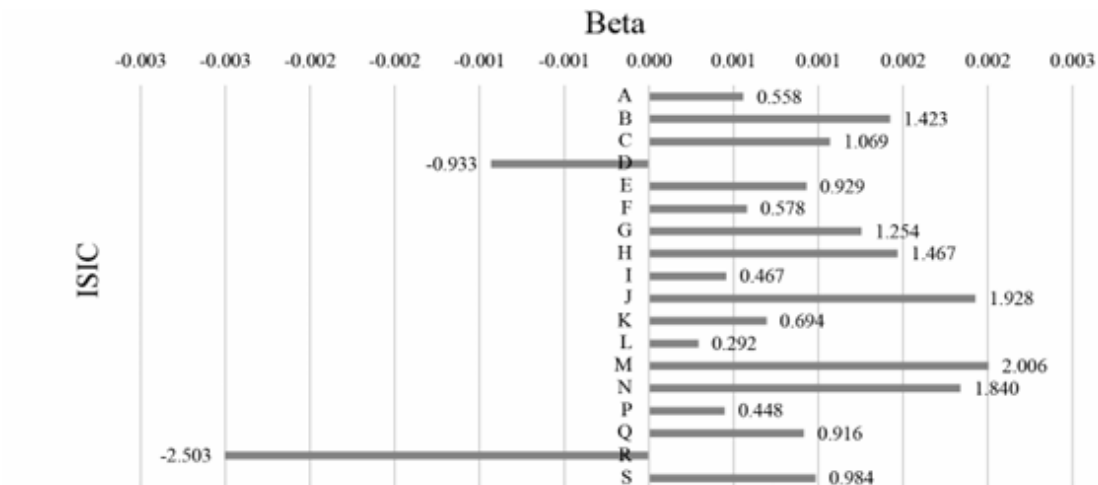
$$E(R_i) = R_f + \beta_i(E(R_m) - R_f), \text{ donde:}$$

- $E(R_i)$: Es el rendimiento mínimo esperado del activo i
- R_f : Tasa libre de riesgo
- $E(R_m)$: Rendimiento esperado en el portafolio de mercado
- β_i : Media del riesgo sistemático

Según el cálculo anterior, se determinó una tasa libre de riesgo de referencia promedio del Banco Central del Ecuador para los periodos 2009 a 2019 del 5,04% (Reyes et al., 2023).

Se determinó el Beta de mercado utilizando información del mismo estudio, tomando en consideración la siguiente información para la industria H “Transporte y Almacenamiento” (Figura 3).

Figura 3: Coeficiente Beta por actividad económica



Fuente: Nota. SCVS (2020)

Adicionalmente, se consideró bajo los distintos ROE ajustados para los sectores analizados en la investigación mencionada, que el rendimiento esperado del mercado es del 9.19% (Reyes et al., 2023). Con la información anterior se estimó finalmente un índice CAPM del 11.13%.

Para la estimación del indicador WACC, se consideró un financiamiento del 80% del Capex y una tasa del 11%, adicionalmente se considera una tasa impositiva del 22%. De esta manera, e incluyendo el cálculo del costo de la deuda con el índice CAPM, se determinó el índice WACC bajo la siguiente fórmula:

$$WACC = \frac{E}{V} \cdot K_e + \frac{D}{V} \cdot K_d \cdot (1 - T), \text{ donde:}$$

- E : Valor del capital propio
- D : Valor de la deuda (Capex a financiar)
- V : Valor total del financiamiento ($E + D$)
- K_e : Costo capital propio (Índice CAPM)
- K_d : Costo capital de la deuda (Tasa interés préstamo)
- T : Tasa impositiva

Dado que se estimó que el financiamiento del Capex a financiar es del 80%, la razón del valor de la deuda y valor del capital propio será del 80% y 20% respectivamente, incluyendo una tasa impositiva del 22% (*Banco Interamericano de Desarrollo, 2018*). Tanto el BID y el PNUD mencionan tasas reducidas y condiciones especiales para micro y pequeñas empresas, sumados a los incentivos gubernamentales para apoyar la electrificación en el transporte público. Así, la estimación del índice WACC fue del 9.09%.

Tabla 20: Estimación índices CAPM y WACC

CAPM	Valor
Tasa libre de riesgo	5.04%
Beta Industria (Sensibilidad)	1.467
Rendimiento esperado del mercado	9.19%
Estimación CAPM	11.13%

WACC	Valor
Valor del capital propio (Equity)	20%
Valor de la deuda	80%
Costo del capital propio (tasa exigida por accionistas)	11.13%
Costo de la deuda (tasa de interés de préstamos o bonos)	11%
Tasa impositiva (impuesto corporativo)	22.00%
Estimación WACC	9.09%

Fuente: *Elaboración propia*

9.6 Resultados de la evaluación

La evaluación anterior permitió evidenciar la viabilidad de implementación de buses eléctricos en Guayaquil. Es importante aclarar que el modelo es ampliamente sensible a los ingresos, por lo que una estimación de demanda por cada tipo de bus es fundamental justo por encima de las tarifas establecidas, aunque también se toma en consideración la alta elasticidad de demanda por precios de los pasajeros para que el modelo sea beneficioso financieramente. Además, dados los costos operacionales del bus eléctrico, el margen bruto de los primeros años es bastante acotado como para acoger el pago de los intereses y la amortización del préstamo en los primeros años, dependiendo del escenario a evaluar.

Proyecto financiado “Bus Articulado” a 16 años

VAN	\$521,764.85
TIR	100%

Dado que el financiamiento es primordial para la adquisición del bus eléctrico, se descarta la viabilidad del proyecto sin financiamiento, ya que en esta alternativa existe una disminución del VAN en un -25,42%. Por otra parte, considerando la sumatoria de los flujos futuros traídos a valores presentes bajo la tasa de índice WACC para buses del 9.09% determinada anteriormente, se determinó que el proyecto es factible para el “Bus Articulado” por separado, donde el valor presente de los flujos se representa mediante el siguiente flujo de caja (Tabla 21).

Tabla 21: Flujo de caja bus articulado

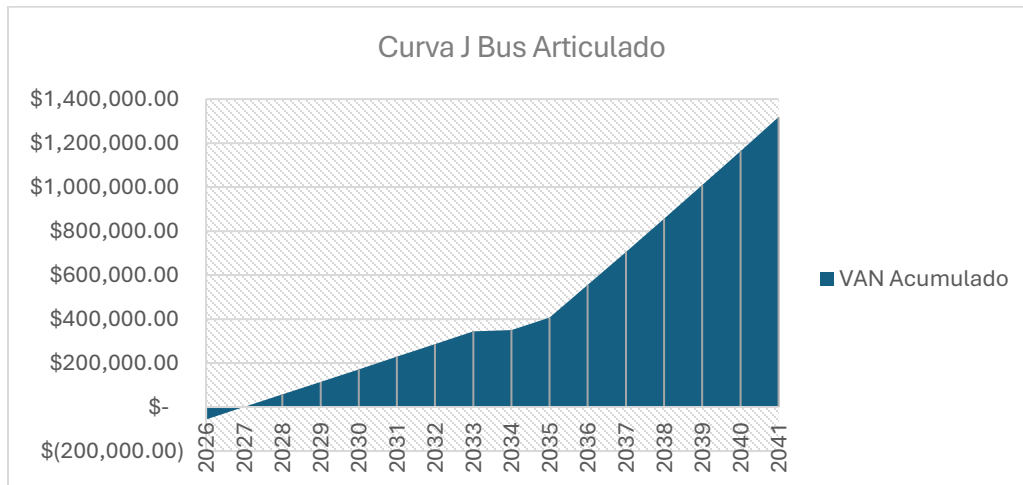
Bus Articulado Financiado					
Partida	2026	2030	2034	2040	2041
Ingresos	\$ 139,198.92	\$ 292,029.28	\$ 306,328.18	\$ 329,099.91	\$ 333,056.49
Costos Operacionales	\$ 57,613.46	\$ 122,538.81	\$ 130,314.69	\$ 142,913.40	\$ 145,128.55
Margen Bruto	\$ 81,585.46	\$ 169,490.47	\$ 176,013.49	\$ 186,186.51	\$ 187,927.93
GFC (intereses)		\$ 43,367.03	\$ 17,554.99		
Depreciación Vehículo	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00
Utilidad antes Impuestos	\$ 41,585.46	\$ 86,123.44	\$ 118,458.50	\$ 146,186.51	\$ 147,927.93
Impuestos	\$ 9,148.80	\$ 18,947.16	\$ 26,060.87	\$ 32,161.03	\$ 32,544.15
Utilidad después Impuestos	\$ 32,436.66	\$ 67,176.28	\$ 92,397.63	\$ 114,025.48	\$ 115,383.79
Depreciación Vehículo	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00
Cash Flow sin CAPEX	\$ 72,436.66	\$ 107,176.28	\$ 132,397.63	\$ 154,025.48	\$ 155,383.79
Capex	\$ 645,000.00		\$ 50,000.00		
Préstamo	\$ 516,000.00				
Amortización		\$ 49,823.42	\$ 75,635.47		
Cash Flow	-\$ 56,563.34	\$ 57,352.86	\$ 6,762.16	\$ 154,025.48	\$ 155,383.79

Fuente: Elaboración propia

Como se demuestra, los ingresos proyectados permiten cubrir los costos con soltura, manteniendo un margen bruto significativo que puede absorber tanto el costo del financiamiento como la carga impositiva y depreciación del vehículo.

La inversión inicial se recupera al segundo año, lo que le permite al bus articulado ser sustentable financieramente en el tiempo, y eso explica su alta tasa de retorno TIR. Se evidencian los flujos futuros acumulados bajo la siguiente “Curva J” (Figura 4).

Figura 4: “Curva J” bus articulado



Fuente: Elaboración propia

Esto demuestra el bajo compromiso que enfrenta el pago del financiamiento frente a los ingresos estimados en el modelo, permitiendo que la inversión sea retornada directamente en el segundo año, además, sumado a los bajos costos operacionales y manteniendo las mismas tarifas (actualmente subsidiadas por los municipios) permite la operación individual por bus eléctrico del tipo articulado que cubra la ruta de tipo “Troncal”.

Proyecto financiado “Bus Alimentador” a 16 años

VAN	\$45,950.71
TIR	17%

Dado que el financiamiento es primordial para la adquisición del bus eléctrico, nuevamente se descarta la viabilidad del proyecto sin financiamiento, lo que representaría una disminución del -88.03% en el VAN. Sin embargo, al evaluar la ruta de tipo “Alimentador”, se determina que el proyecto también es viable financieramente, pero claramente no logra el nivel de retorno del escenario para el bus “articulado”. Ahora, es importante recalcar que este tipo de recorrido es esencial para el correcto servicio del sistema de transportes de buses, dado que es la vía principal de acercamiento para los pasajeros al sistema troncal, por lo que, prestar el servicio de rutas alimentadoras es estrictamente necesario. Es importante aclarar que, dadas las características de este tipo de bus, en especial la



disminución en costos operativos frente a un bus de tipo “Articulado” y la demanda proyectada para este tipo de rutas, la adquisición de este tipo de bus representa mayor eficiencia en términos de optimización de recursos.

El valor presente de los flujos se representa mediante el siguiente flujo de caja (Tabla 22).

Tabla 22: Flujo de caja bus alimentador

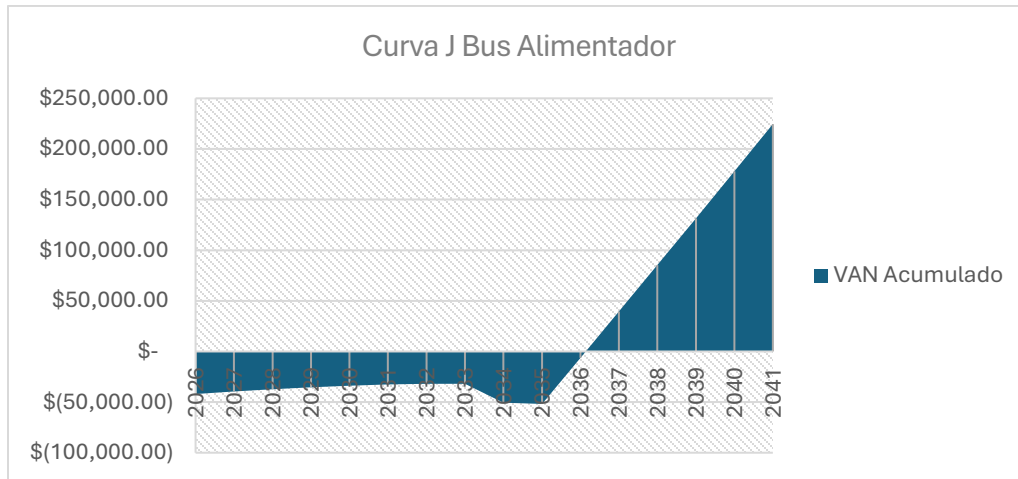
Bus Alimentador Financiado					
Partida	2026	2030	2034	2040	2041
Ingresos	\$ 69,599.46	\$ 146,014.64	\$ 153,164.09	\$ 164,549.95	\$ 166,528.24
Costos Operacionales	\$ 44,671.05	\$ 95,011.43	\$ 101,040.52	\$ 110,809.03	\$ 12,526.57
Margen Bruto	\$ 24,928.41	\$ 51,003.21	\$ 52,123.57	\$ 53,740.93	\$ 54,001.68
GFC (intereses)		\$ 22,120.55	\$ 8,954.41		
Depreciación Vehículo	\$ 20,250.00	\$ 20,250.00	\$ 20,250.00	\$ 20,250.00	\$ 20,250.00
Utilidad antes Impuestos	\$ 4,678.41	\$ 8,632.66	\$ 22,919.16	\$ 33,490.93	\$ 33,751.68
Impuestos	\$ 1,029.25	\$ 1,899.19	\$ 5,042.22	\$ 7,368.00	\$ 7,425.37
Utilidad después Impuestos	\$ 3,649.16	\$ 6,733.47	\$ 17,876.95	\$ 26,122.92	\$ 26,326.31
Depreciación Vehículo	\$ 20,250.00	\$ 20,250.00	\$ 20,250.00	\$ 20,250.00	\$ 20,250.00
Cash Flow sin CAPEX	\$ 23,899.16	\$ 26,983.47	\$ 38,126.95	\$ 46,372.92	\$ 46,576.31
Capex	\$ 329,000.00		\$ 18,400.00		
Préstamo	\$ 263,200.00				
Amortización		\$ 25,413.81	\$ 38,579.95		
Cash Flow	-\$ 41,900.84	\$ 1,569.67	-\$ 18,853.01	\$ 46,372.92	\$ 46,576.31

Fuente: Elaboración propia

Como se demuestra en el flujo de caja, la proyección de los ingresos permite que el sistema de buses alimentadores sea viable por separado, dado que durante los primeros años el margen bruto es lo suficientemente holgado para absorber el pago del financiamiento por intereses y la depreciación del vehículo, sin embargo, esto implica una disminución de la utilidad antes de impuestos, permitiendo una disminución en el pago de impuestos durante los primeros 10 años que dura el periodo de financiamiento. Además, se recalca que los efectos más importantes transcurren durante el segundo año debido al año de gracia que incluye la evaluación.

El valor presente de los flujos acumulados estimados se representa mediante la siguiente “Curva J” (Figura 5).

Figura 5: “Curva J” bus alimentador



Fuente: Elaboración propia

Como se determinó anteriormente, los flujos proyectados del escenario alimentador indican flujos positivos y una recuperación de la inversión en el año 10, por consiguiente, el proyecto es viable financieramente manteniendo el horizonte de evaluación a 16 años. Adicionalmente, se puede considerar que a partir del primer año se perciben flujos positivos, lo que permite costear la inversión inicial desde el segundo año del proyecto.

La evaluación económica del escenario conjunto que integra ambos tipos de buses es la siguiente:

Proyecto financiado “Escenario Conjunto” a 16 años

VAN	\$54,654.58
TIR	12%

En este escenario se evaluó el rendimiento en conjunto de los dos casos anteriores, donde toma relevancia la proyección de demanda en los dos tipos de rutas evaluadas, dado que, como se indicó anteriormente, en este escenario se considera una disminución en los ingresos pues considera el pago de un único pasaje por cada pasajero que utiliza ambos servicios secuencialmente. Este escenario es el más realista en la incorporación de los buses al sistema, al mantener una proyección conjunta por tipo de ruta evaluada. Los flujos estimados se evalúan mediante el siguiente flujo de caja (Tabla 23).

Tabla 23: Flujo de escenario conjunto

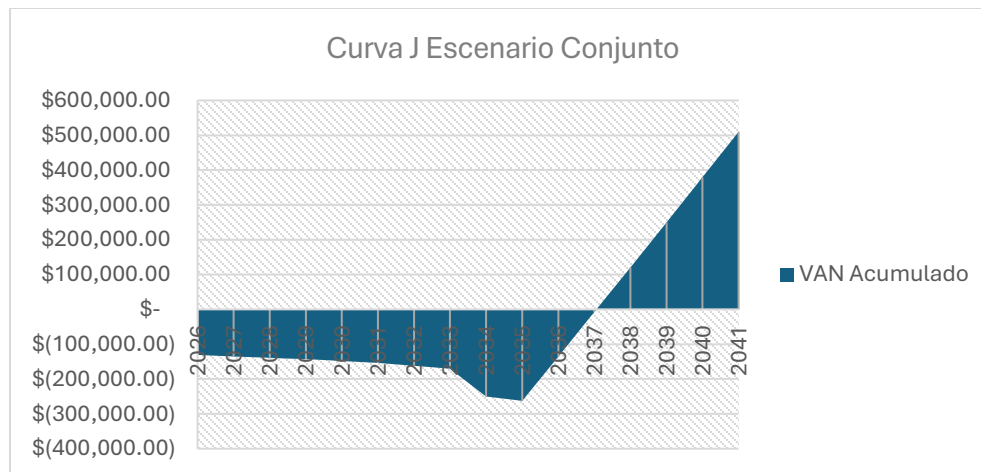
Escenario Conjunto					
Partida	2026	2030	2034	2040	2041
Ingresos	\$ 170,518.68	\$ 357,735.87	\$ 375,252.02	\$ 403,147.39	\$ 407,994.20
Costos Operacionales	\$ 102,284.51	\$ 217,550.24	\$ 231,355.21	\$ 253,722.42	\$ 257,655.12
Margen Bruto	\$ 68,234.17	\$ 140,185.63	\$ 143,896.81	\$ 149,424.96	\$ 150,339.07
GFC (intereses)		\$ 66,159.94	\$ 26,781.57		
Depreciación Vehículo	\$ 60,250.00	\$ 60,250.00	\$ 60,250.00	\$ 60,250.00	\$ 60,250.00
Utilidad antes Impuestos	\$ 7,984.17	\$ 13,775.69	\$ 56,865.24	\$ 89,174.96	\$ 90,089.07
Impuestos	\$ 1,756.52	\$ 3,030.65	\$ 12,510.35	\$ 19,618.49	\$ 19,819.60
Utilidad después Impuestos	\$ 6,227.65	\$ 10,745.04	\$ 44,354.88	\$ 69,556.47	\$ 70,269.48
Depreciación Vehículo	\$ 60,250.00	\$ 60,250.00	\$ 60,250.00	\$ 60,250.00	\$ 60,250.00
Cash Flow sin CAPEX	\$ 66,477.65	\$ 70,995.04	\$ 104,604.88	\$ 129,806.47	\$ 130,519.48
Capex	\$ 984,000.00		\$ 68,400.00		
Préstamo	\$ 787,200.00				
Amortización		\$ 76,009.69	\$ 115,388.06		
Cash Flow	-\$ 130,322.35	-\$ 5,014.65	-\$ 79,183.18	\$ 129,806.47	\$ 130,519.48

Fuente: Elaboración propia

Como se observa mediante el flujo de caja descontado, el proyecto retorna flujos positivos desde el año 11 justo después del término de pago del financiamiento, incluyendo el recambio de la batería en el año 8. Como se mantiene un VAN positivo y una tasa de retorno del 12%, se determina que la proyección estimada de los ingresos del bus articulado es suficiente para incluir los costos operacionales y la inversión conjunta para ambos buses.

El valor presente de los flujos estimados se representa mediante la siguiente “Curva J” (Figura 6).

Figura 6: “Curva J” escenario conjunto



Fuente: Elaboración propia



Es importante considerar que los ingresos mantienen un crecimiento anual constante dado el crecimiento poblacional estimado, esto permite incrementar los flujos futuros desde el segundo año en adelante. Se recalca que este es el escenario más realista en la implementación de los buses eléctricos al sistema, por lo mismo, la inversión por cada par de buses adquiridos (Articulado y Alimentador) se recupera al año 13, y los flujos de ingresos son suficientes para soportar la inversión conjunta. Esto es importante dada la característica de composición de la flota con la que opera Metrovía, manteniendo una proporción 1:1 la cual es estimable con el modelo.

10. Análisis de sensibilidad del modelo

Se aplicó un análisis de sensibilidad por cada variable incorporada en el modelo, con el objetivo de identificar su relevancia en el impacto del VAN y así conocer los límites soportados por el modelo.

10.1 Sensibilidad de Ingresos

Demanda: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en la demanda estimada mediante el índice IPK (Tabla 24).

Tabla 24: Sensibilidad de demanda

Bus Articulado								
Var. IPK	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%
Dda (IPK)	10.98	11.67	12.36	13.04	13.73	14.42	15.10	15.79
VAN	\$ 255,597.56	\$ 353,029.23	\$ 450,460.90	\$ 499,141.25	\$ 521,764.85	\$ 742,755.90	\$ 840,187.57	\$ 937,619.24
TIR	37.1%	55.5%	79.4%	93.4%	100.5%	192.3%	253.1%	336.0%
Bus Alimentador								
Var. IPK	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%
Dda (IPK)	4.94	5.25	5.56	5.87	6.18	6.49	6.80	7.11
VAN	-\$ 134,389.02	-\$ 78,691.55	-\$ 24,866.42	\$ 1,446.75	\$ 45,950.71	\$ 120,148.86	\$ 167,136.25	\$ 214,123.64
TIR	-8%	-1.3%	5.5%	9.3%	16.8%	34.1%	50.3%	71.3%
Escenario Conjunto								
VAN	-\$ 327,380.65	-\$ 188,735.10	-\$ 54,280.06	\$ 10,293.65	\$ 54,654.58	\$ 311,187.71	\$ 429,763.70	\$ 548,339.69
TIR	-5%	1%	6%	10%	12%	30%	41%	57%

Fuente: Elaboración propia



Tarifas: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en las tarifas cobradas (Tabla 25).

Tabla 25: Sensibilidad de tarifa

Tarifas							
Var. Tar	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
P1	\$ 0.41	\$ 0.43	\$ 0.45	\$ 0.47	\$ 0.50	\$ 0.52	\$ 0.54
P2	\$ 0.27	\$ 0.29	\$ 0.30	\$ 0.32	\$ 0.33	\$ 0.35	\$ 0.36
P3	\$ 0.11	\$ 0.11	\$ 0.12	\$ 0.13	\$ 0.13	\$ 0.14	\$ 0.14
P4	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bus Articulado							
VAN	\$ 339,257.45	\$ 430,511.15	\$ 521,764.85	\$ 613,018.54	\$ 704,272.24	\$ 795,525.94	\$ 886,779.64
TIR	53%	74%	100%	133%	173%	223%	289%
Bus Alimentador							
VAN	-\$ 52,639.81	-\$ 1,671.88	\$ 45,950.71	\$ 91,577.56	\$ 137,204.41	\$ 182,831.26	\$ 228,458.11
TIR	2%	9%	17%	26%	39%	57%	79%
Escenario Conjunto							
VAN	-\$ 192,961.06	-\$ 65,895.79	\$ 54,654.58	\$ 168,593.27	\$ 280,379.05	\$ 392,164.83	\$ 503,950.61
TIR	1%	6%	12%	19%	27%	37%	51%

Fuente: *Elaboración propia*

10.2 Sensibilidad de Costos

Consumo Energético: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en el rendimiento del bus bajo el consumo energético estimado ante distintas situaciones (Tabla 26).

Tabla 26: Sensibilidad de consumo energético

Bus Articulado								
Var. CE	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
CE KWh/Km	2.67	2.80	2.94	3.07	3.20	3.47	3.74	4.01
VAN	\$ 521,764.85	\$ 514,327.90	\$ 506,890.96	\$ 499,454.02	\$ 492,017.07	\$ 477,143.19	\$ 462,269.30	\$ 447,395.42
TIR	100%	98%	96%	94%	91%	87%	83%	79%
Bus Alimentador								
Var. CE	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
CE KWh/Km	1.60	1.68	1.76	1.84	1.92	2.08	2.24	2.40
VAN	\$ 45,950.71	\$ 41,812.45	\$ 37,616.66	\$ 33,362.42	\$ 29,108.18	\$ 20,506.93	\$ 11,782.53	\$ 2,958.78
TIR	17%	16%	15%	15%	14%	12%	11%	10%
Escenario Conjunto								
Var. CE	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
VAN	\$ 54,654.58	\$ 42,453.00	\$ 30,251.43	\$ 18,032.05	\$ 5,549.37	-\$ 19,415.98	-\$ 44,513.06	-\$ 70,133.97
TIR	12%	11%	11%	10%	9%	8%	7%	6%

Fuente: Elaboración propia

Costos operativos Totales: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en los costos operativos totales estimados por bus (Tabla 27).

Tabla 27: Sensibilidad de costos operativos

Bus Articulado								
Var. CT	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%
VAN	\$ 560,359.10	\$ 521,764.85	\$ 483,170.59	\$ 444,576.33	\$ 405,982.08	\$ 367,387.82	\$ 290,199.31	\$ 213,010.80
TIR	113.1%	100.5%	88.8%	78.1%	68.2%	59.1%	43.5%	31.1%
Bus Alimentador								
Var. CT	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%
VAN	\$ 75,875.07	\$ 45,950.71	\$ 15,136.48	-\$ 17,078.63	-\$ 50,793.79	-\$ 85,477.96	-\$ 156,847.73	-\$ 233,306.71
TIR	23%	16.8%	11.5%	6.6%	2.1%	-2.2%	-10.7%	-
Escenario Conjunto								
Var. CT	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%
VAN	\$ 125,326.10	\$ 54,654.58	-\$ 18,410.22	-\$ 93,889.38	-\$ 171,720.05	-\$ 251,091.26	-\$ 413,360.97	-\$ 583,504.48
TIR	16%	12%	8%	5%	1%	-2%	-8%	-16%

Fuente: Elaboración propia

10.3 Sensibilidad de CAPEX

Capex Bus: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en el Capex bus estimados (Tabla 28).

Tabla 28: Sensibilidad de Capex

Bus Articulado								
Var. Capex	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%
Capex	\$ 593,750.00	\$ 625,000.00	\$ 656,250.00	\$ 687,500.00	\$ 718,750.00	\$ 750,000.00	\$ 812,500.00	\$ 875,000.00
VAN	\$ 549,924.36	\$ 521,764.85	\$ 493,605.34	\$ 465,445.82	\$ 437,286.31	\$ 409,126.80	\$ 352,807.78	\$ 296,488.76
TIR	117%	100%	86%	74%	64%	56%	42%	33%
Bus Alimentador								
Var. Capex	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%
Capex	\$ 218,500.00	\$ 230,000.00	\$ 241,500.00	\$ 253,000.00	\$ 264,500.00	\$ 276,000.00	\$ 299,000.00	\$ 322,000.00
VAN	\$ 56,313.41	\$ 45,950.71	\$ 35,430.91	\$ 24,701.08	\$ 13,711.56	\$ 2,580.33	\$ -20,078.60	\$ -43,442.04
TIR	19%	17%	15%	13%	11%	9%	7%	4%
Escenario Conjunto								
Var. Capex	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%
VAN	\$ 94,816.16	\$ 54,654.58	\$ 13,654.39	\$ -28,171.30	\$ -70,746.23	\$ -114,012.28	\$ -202,046.56	\$ -291,332.62
TIR	14%	12%	10%	8%	6%	4%	2%	-1%

Fuente: Elaboración propia

10.4 Sensibilidad de financiamiento

Porcentaje del financiamiento: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en el porcentaje del financiamiento del Capex total a financiar (Tabla 29).

Tabla 29: Sensibilidad de porcentaje de financiamiento

Bus Articulado				
Variación PF	70%	75%	80%	90%
VAN	\$507,937	\$514,957	\$521,765	\$534,732
TIR	56%	70%	100%	-
Bus Alimentador				
Variación PF	70%	75%	80%	90%
VAN	\$42,602	\$44,342	\$45,951	\$48,253
TIR	15%	16%	17%	20%
Escenario Conjunto				
Variación PF	70%	75%	80%	90%
VAN	\$48,105	\$51,913	\$54,655	\$57,377
TIR	11%	12%	12%	13%

Fuente: Elaboración propia

Tasa de interés: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en la tasa de interés del Capex total a financiar (Tabla 30).

Tabla 30: Sensibilidad de tasa de interés

Bus Articulado					
Variación TI	9%	10%	11%	12%	13%
VAN	\$617,657	\$568,168	\$521,765	\$478,223	\$437,336
TIR	109%	105%	100%	96%	91%
Bus Alimentador					
Variación TI	9%	10%	11%	12%	13%
VAN	\$75,262	\$60,130	\$45,951	\$32,347	\$19,105
TIR	20%	18%	17%	15%	14%
Escenario Conjunto					
Variación TI	9%	10%	11%	12%	13%
VAN	\$137,555	\$95,568	\$54,655	\$15,084	-\$ 22,926
TIR	15%	13%	12%	11%	9%

Fuente: Elaboración propia

10.5 Sensibilidad por flujos descontados

Flujos de ingresos descontados: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en el rendimiento del bus bajo el consumo energético estimado ante distintas situaciones (Tabla 31).

Tabla 31: Sensibilidad por ingresos descontados

Bus Articulado	
VP Ingresos inicial	\$ 2,339,838
VP Ingresos VAN 0	\$ 1,708,010
Variación	-27.00%
Bus Alimentador	
VP Ingresos inicial	\$ 1,169,919
VP Ingresos VAN 0	\$ 1,114,925
Variación	-4.70%
Escenario Conjunto	
VP Ingresos inicial	\$ 2,866,302
VP Ingresos VAN 0	\$ 2,802,900
Variación	-2.21%

Fuente: Elaboración propia



Flujos de costos descontados: Se realizó un análisis para dimensionar el impacto generado en el VAN ante variaciones en el rendimiento del bus bajo el consumo energético estimado ante distintas situaciones (Tabla 32).

Tabla 32: Sensibilidad por costos descontados

Bus Articulado	
VP Costos inicial	\$ 989,596
VP Costos VAN 0	\$ 1,635,942
Variación	65.31%
Bus Alimentador	
VP Costos inicial	\$ 767,291
VP Costos VAN 0	\$ 822,408
Variación	7.18%
Escenario Conjunto	
VP Costos inicial	\$ 1,756,888
VP Costos VAN 0	\$ 1,820,436
Variación	3.62%

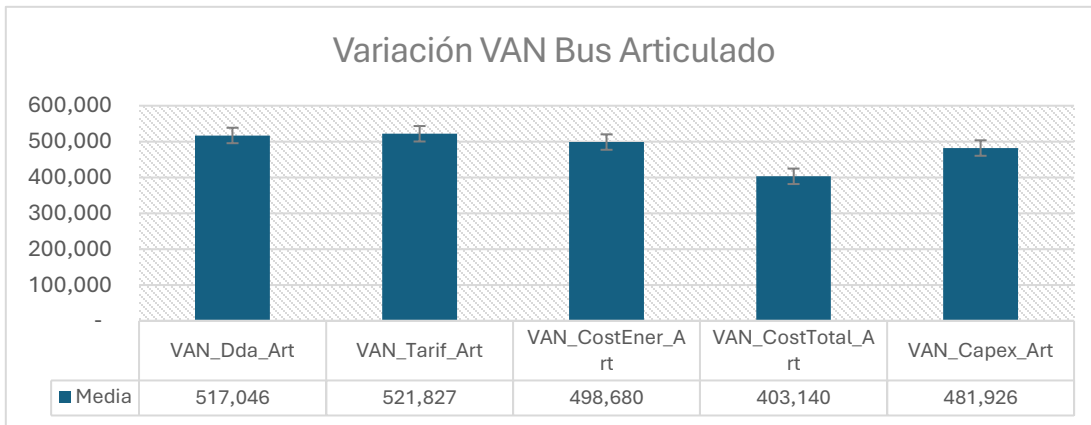
Fuente: Elaboración propia

10.6 Simulación de Montecarlo

Dados los datos obtenidos anteriormente en el análisis de sensibilidad aplicados para cada variable considerada en el modelo, se realizó una simulación con 20.000 datos aleatorios bajo una distribución normal que contempla el promedio y la desviación estándar de los distintos escenarios evaluados. De lo anterior, se obtuvo el promedio de las simulaciones en VAN y TIR por cada variable analizada, donde se obtuvieron los siguientes resultados (Figuras 7 al 12).

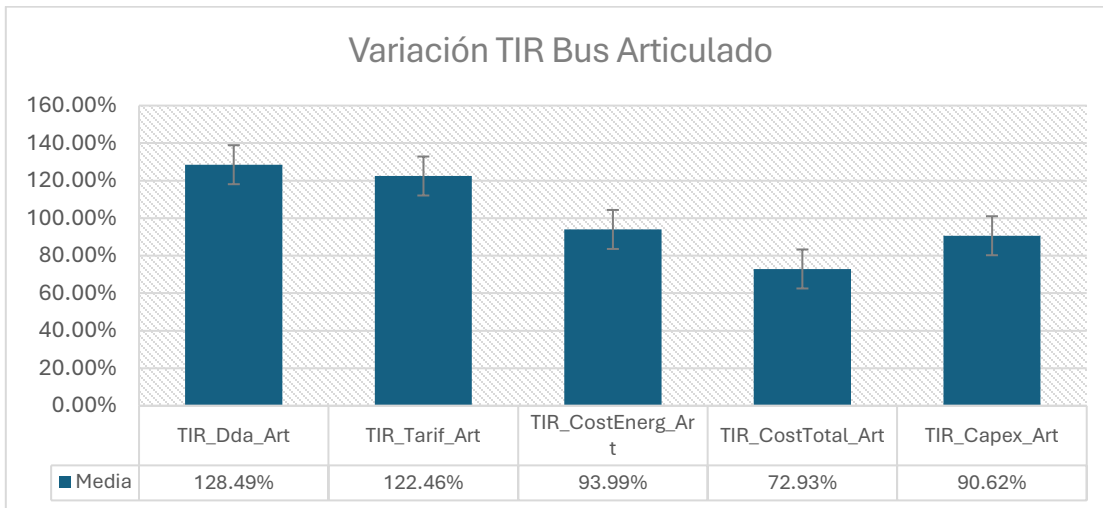
Bus Articulado:

Figura 7: Variación VAN Montecarlo bus articulado



Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Variación TIR Montecarlo bus articulado

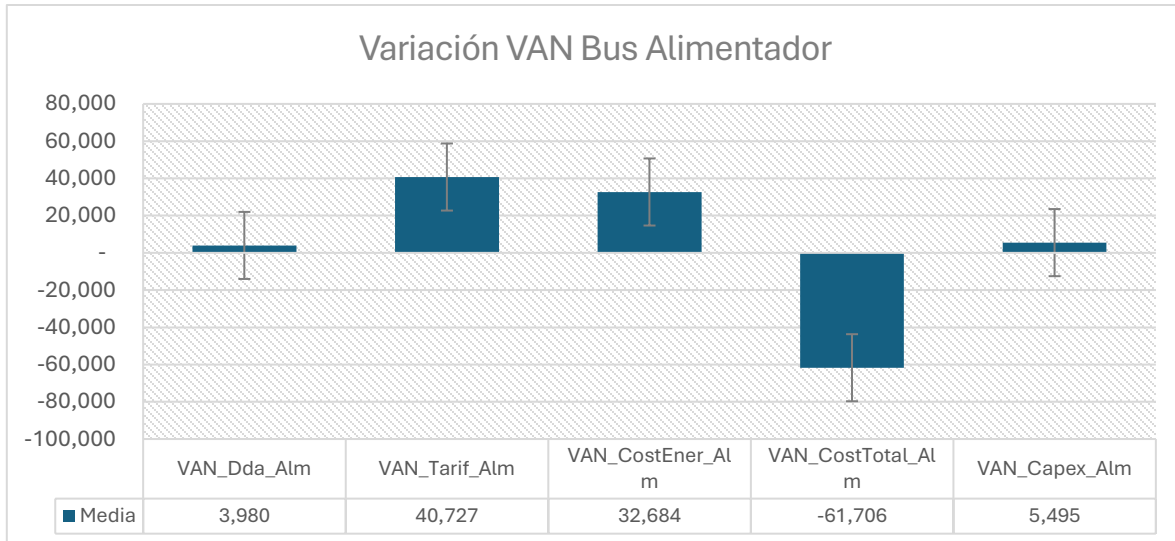


Fuente: Elaboración propia

Para el bus articulado, la rentabilidad del proyecto es afectada en orden decreciente por demanda > tarifa > costo energético > CAPEX > costo operativo. Sin embargo, en todos los escenarios se obtiene un VAN positivo.

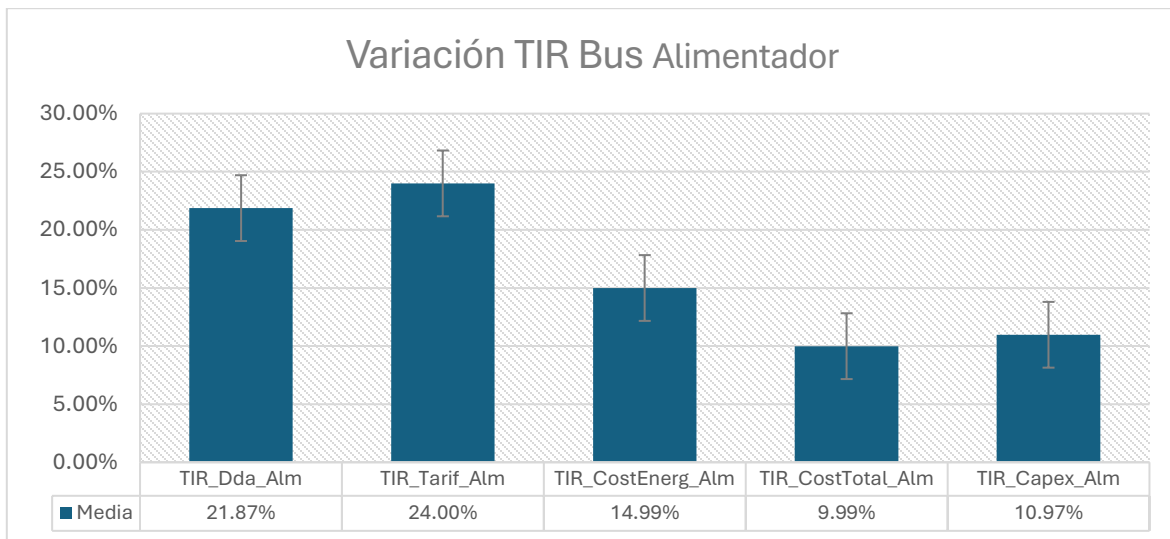
Bus Alimentador:

Figura 9: Variación VAN Montecarlo bus alimentador



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Variación TIR Montecarlo bus alimentador

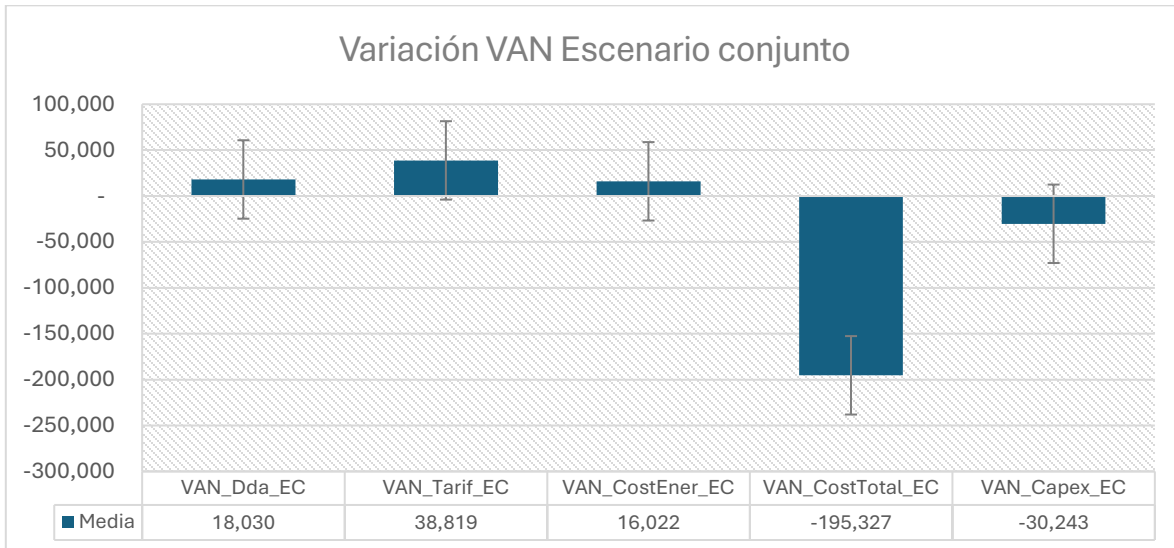


Fuente: Elaboración propia

Para el bus alimentador, las variables con mayor sensibilidad en el modelo son: proyección de demanda, costos operativos totales y variaciones en el CAPEX. Por lo que es importante considerar variaciones en aquellas variables con escenarios pesimistas para la integración de buses al sistema BRT.

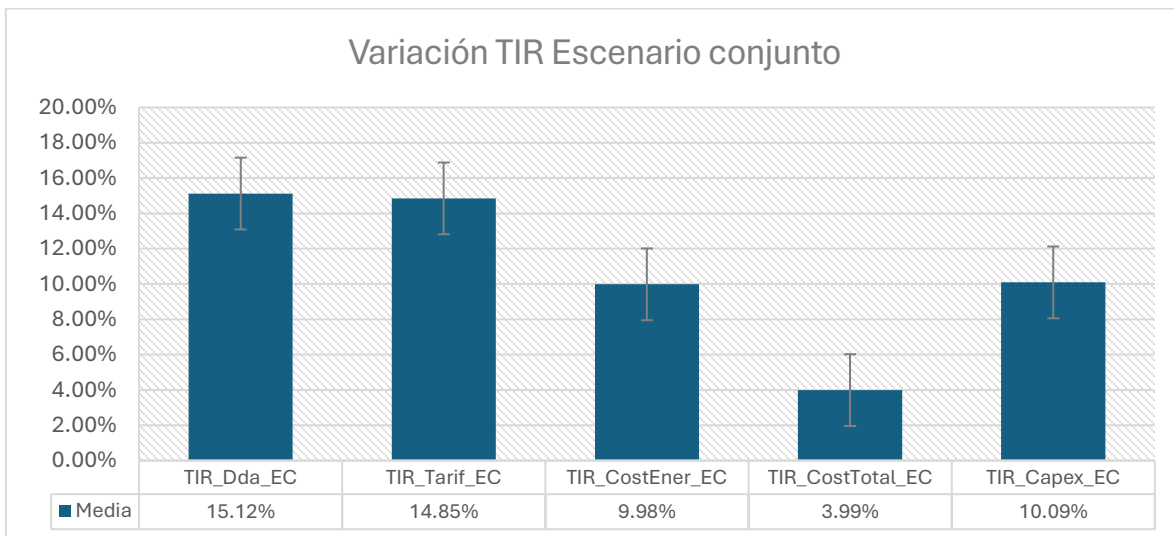
Escenario conjunto:

Figura 11: Variación VAN Montecarlo escenario conjunto



Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Variación TIR Montecarlo escenario conjunto



Fuente: Elaboración propia

En el escenario conjunto se puede identificar un fuerte impacto de la mayoría de las variables, sin embargo, las de mayor sensibilidad en el modelo es en el escenario de costos operativos totales, este se debe a la disminución del margen bruto que no es capaz de absorber los costos del financiamiento (intereses) y los demás egresos de dinero.

11. Conclusiones

Dada la información obtenida del análisis realizado, se concluye que económicamente factible integrar buses eléctricos al sistema BRT Metrovía en Guayaquil. En especial, se determinó que la viabilidad del modelo depende en gran medida de la estimación de los ingresos. En Ecuador la demanda es muy sensible ante cambios en las tarifas cobradas en el sistema y la respuesta ante alzas anteriores deriva en paros generalizados y protestas. Es por esto que la determinación de las tarifas logra traspasar el ámbito financiero y se utiliza como herramienta política por parte de los municipios. Esto explica que las tarifas se hayan mantenido fijas durante más de 10 años desde la inauguración del sistema. Para fines del proyecto la determinación de la demanda es más relevante que las tarifas cobradas.

El modelo tomó en consideración las tarifas subsidiadas, esto quiere decir que, si el subsidio complementa los ingresos totales percibidos por el sistema, el modelo resulta en una mayor eficiencia, esto sin contabilizar los costos fijos y variables determinados para un nivel completo de la organización, dado que únicamente se está evaluando la viabilidad financiera en las operaciones del bus eléctrico. La estimación de demanda representativa para la ciudad tomó en consideración distintos factores específicos que determinan el comportamiento promedio que puede estimarse para una “ruta representativa” dependiendo del tipo de escenario que se evaluó. Si la demanda estimada se extrapola a la totalidad de buses operativos, se puede dimensionar que la proyección cubre la demanda estimada completa de 420.000 usuarios que proyecta el servicio (*Menéndez, 2023*).

Por otro lado, determinar una eficiencia energética realista acorde a las condiciones climáticas y de relieve para el país es importante para la determinación de los costos operacionales del bus. Sin embargo, se determinó que el efecto de degradación de las baterías no determina un mayor consumo del bus, dado que la degradación impacta en la capacidad de carga máxima (en KWh) que puede almacenar, por lo que, a medida que la degradación sea mayor, únicamente disminuirá la capacidad máxima de carga, implicando que el bus obtenga una menor autonomía, disminuyendo su distancia máxima recorrida, lo que obligará a realizar cargas con mayor frecuencia, pero no impactando mayormente en los costos operativos finales. Lo que si impacta en la evaluación es el impacto del clima y el relieve geográfico de la ciudad, dado que Guayaquil es el puerto principal a nivel nacional. El relieve de la ciudad se caracteriza por ser mayormente una llanura plana con presencia de cerros de baja elevación, por lo que el efecto sobre el consumo energético del bus es prácticamente nulo. Sin embargo, el efecto climático si es importante de considerar, dado que las baterías están diseñadas para operar en un rango específico de temperatura oscilante entre 20°C y 25°C, por lo que un aumento a partir de los 27°C ya impacta en una reducción del 2,8% en la autonomía final, mientras que, a partir de los 38°C, la pérdida puede ser del 31% de autonomía que finalmente se puede traducir a menor eficiencia en el consumo energético. El impacto financiero es medible gracias al análisis de sensibilidad de consumo energético. Así, en el escenario del bus articulado, un aumento del 20% del consumo energético puede generar pérdidas en el VAN por -5.7%, (\$-37.185), mientras que en el caso del bus alimentador, las pérdidas pueden ascender a una disminución del VAN



en -36,6% (\$-16.843). Para el escenario conjunto genera un impacto aún más agudo que puede mermar las ganancias con una pérdida de VAN en un -89.8% (\$-49.106) al final del periodo. Aunque la pérdida de eficiencia pueda generar un impacto importante en la evaluación, se indica que un aumento del 20% en el consumo energético, todavía mantiene VAN positivos en todos los escenarios.

Respecto a la evaluación del impacto ambiental de reemplazar buses a eléctricos, se determinó que un bus eléctrico es mucho más eficiente y amigable con el medio ambiente, tomando en consideración el CO₂e tanto de la producción de energía utilizada para el funcionamiento del bus y las emisiones finales en operación. Se estimó una reducción del -31,6% para el bus de tipo articulado y un -59.03% para el bus alimentador en las emisiones finales de CO₂e, en comparación a buses de combustión. Adicionalmente, hay que considerar los nuevos lineamientos y políticas de renovación a energías renovables que está adoptando el país que pueden impactar positivamente en el factor de emisión estimado aumentando aún más la brecha de contaminación entre buses eléctricos y a combustión, sin mencionar que los efectos puedan reflejarse en las tarifas de energía eléctrica, lo que puede disminuir los costos operacionales y hacer el proyecto aún más rentable.

12. Recomendaciones

Dado que el presente análisis financiero tiene como objetivo general la integración de buses eléctricos al sistema, se determina a continuación el grado de alcance de implementación bajo el número de buses al sistema.

En una primera instancia, se evaluó el proyecto manteniendo el mismo nivel de tarifas subsidiadas, lo que corresponde al escenario con menor ingreso proyectado (Tabla 33).

Tabla 33: VAN por cantidad de buses

Numero Buses								
Tipo de bus	1	2	3	4	5	6	10	20
Bus Articulado	\$521,765	\$1,006,016	\$1,452,754	\$1,861,979	\$2,233,690	\$2,567,888	\$3,529,544	\$3,307,746
Bus Alimentador	\$45,951	\$79,110	\$72,513	\$5,874	-\$ 112,892	-\$ 279,753	-\$1,428,138	-\$7,665,690
Numero Buses	2	4	6	8	10	12	20	40
Escenario Conjunto	\$54,655	\$30,051	-\$ 76,286	-\$ 266,198	-\$ 542,817	-\$ 907,319	-\$3,257,671	-15,890,761

Fuente: Elaboración propia

Dado que el modelo presenta ingresos reducidos, se evaluó la incorporación de más buses al sistema, sin embargo, el máximo soportado por el escenario conjunto únicamente alcanza para ingresar hasta 4 buses, dos de cada tipo, con el objetivo de mantener la proporción existente entre buses articulados y alimentadores, que es 1:1. Pero donde se obtiene la maximización del VAN en el escenario conjunto, con la adquisición de 6 buses articulados y 3 alimentadores, obteniendo una proporción 2:1 entre articulados y alimentadores respectivamente, con un VAN de \$1.046.856 y un TIR del 21,59%.

Por otra parte, se determinó el comportamiento del modelo incluyendo los ingresos bajo tarifas totales, donde cada pasajero paga un pasaje de \$0.45. Como todos los escenarios son equivalentes, se obtuvo la siguiente tasa de subsidio que aporta el municipio al sistema (Tabla 34).

Tabla 34: Impacto subsidios al sistema

Ingresos diarios por bus articulado				
Tipo pasaje	Ingreso Total	Ingreso con subsidio	Subsidio	% Subsidio
P1	\$127	\$127	-	0%
P2	\$892	\$595	\$297	33%
P3	\$191	\$51	\$140	73%
P4	\$64	-	\$64	100%
Total	\$1,275	\$773	\$501	39%

Fuente: Elaboración propia

Esto determina los ingresos en un contexto realista y suponiendo que el pasaje P1 ("Tarifa General") tampoco esté gradualmente subsidiado, el municipio subsidia aproximadamente un 40% de los ingresos únicamente por tarifas por cada bus operativo. Si se mantienen los ingresos totales, permitiría al sistema integrar más buses de la siguiente manera (Tabla 35).

Tabla 35: VAN por cantidad de buses (Ingresos totales)

Numero Buses								
Tipo de bus	1	2	3	4	5	6	10	20
Bus Articulado	\$1,705,055	\$3,372,596	\$5,002,623	\$6,595,138	\$8,150,139	\$9,667,626	\$15,362,441	\$26,973,540
Bus Alimentador	\$637,596	\$1,279,509	\$1,925,739	\$2,576,288	\$3,229,342	\$3,872,554	\$6,142,263	\$7,504,691
Numero Buses	2	4	6	8	10	12	20	40
Escenario Conjunto	\$1,506,337	\$2,937,648	\$4,293,932	\$5,575,188	\$6,781,418	\$7,912,622	\$11,687,165	\$15,871,646

Fuente: Elaboración propia

La maximización del escenario conjunto se obtiene cuando se adquieren 34 buses del tipo articulado y 17 alimentadores (51 buses totales), manteniendo una relación de 2:1 entre buses articulados y alimentadores respectivamente. Con esta maximización se proyecta un VAN máximo de \$28.370.197 y un TIR del 156.23%, cumpliendo con las proyecciones de integración que se busca proyectar con el proceso de licitación para la operadora privada “Metrobastión” comentado anteriormente en el apartado de “Estado del Arte”. Sin embargo, para mantener la relación 1:1 que el modelo actual sostiene bajo la composición de la flota, se proyecta la incorporación óptima de 21 buses de cada tipo (42 buses en total), una inversión estimada en \$20.664.000 donde se proyecta un VAN de \$15.877.446 con un TIR del 95%, por lo que nuevamente se concluye que la integración de buses eléctricos es rentable para el sistema BRT en la ciudad de Guayaquil.

13. Bibliografía

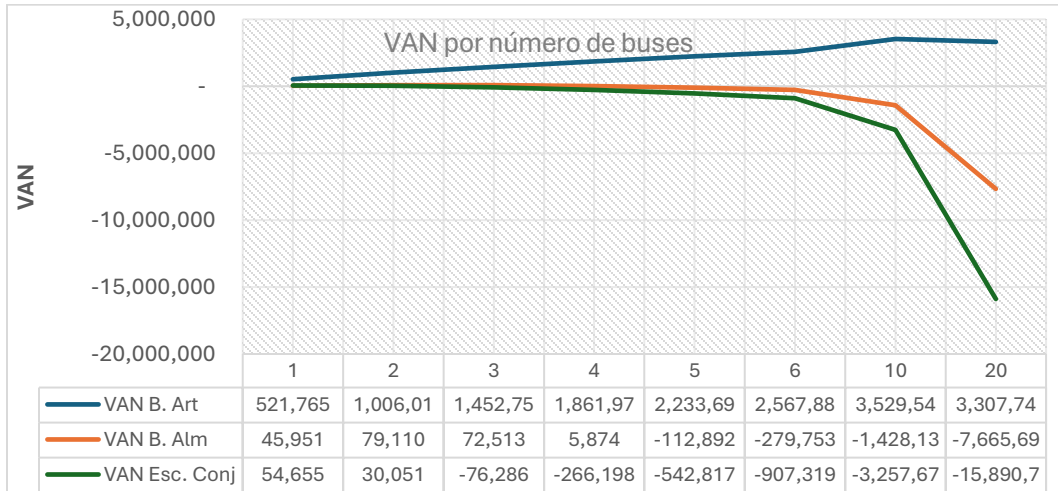
- Nuestra flota. (2017, March 24). https://www.pasajerosquito.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=5
- EPMT PQ. (2024, September 26). Corredores del Sistema - EPMT PQ. https://pasajeros.quito.gob.ec/?page_id=1913
- Rueda, R. (2025, September 7). Puntos y horarios en los que la AMT hará operativos de control de velocidad del 8 al 14 de septiembre. Primicias. <https://www.primicias.ec/quito/control-velocidad-amt-operativo-accidentes-quito-104623/>
- Emission Factors – GTX. (n.d.). <https://www.gtx.ai/emission-factors/>
- <https://www.bydchile.com/comercial.php?mod=K9>
- Michelena, G., Iannuzzi, P., & Barafani, M. (2023). Hacia una integración sostenible: el potencial de la electromovilidad en América Latina y el Caribe. <https://doi.org/10.18235/0005179>
- Avanza la compra de 10 nuevos autobuses eléctricos con la propuesta de adjudicación a la empresa Irizar « Notas de prensa. (2023, November 21). <https://blogs.vitoria-gasteiz.org/medios/2023/11/21/avanza-la-compra-de-10-nuevos-autobuses-electricos-con-la-propuesta-de-adjudicacion-a-la-empresa-irizar/#:~:text=Irizar%20plantea%20en%20su%20propuesta,de%20euros%20sin%20incluir%20IVA.>
- Portal, M. (2022, March 28). De mayor a menor autonomía estos son los buses eléctricos homologados en Chile - Mobility Portal: Noticias. Mobility Portal: Noticias sobre vehículos eléctricos. <https://mobilityportal.lat/de-mayor-a-menor-autonomia-estos-son-los-buses-electricos-homologados-en-chile/#:~:text=Entre%20100%20y%20200%20kil%C3%B3metros,consumo%20de%201.24%20kwh/km.>
- Alejandra, C. L. M., Guillermo, V. V., & Tomás, V. V. J. (2021). Emisiones de CO2 asociadas a los procesos de fabricación y uso de buses con motor diésel y eléctricos del sistema de transporte público de la ciudad de Santiago de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/184052#:~:text=Un%20bus%20di%C3%A9sel%20emite%201%20C12%20kg%20de.su%20fabricaci%C3%B3n%20pero%20no%20en%20su%20operaci%C3%B3n.>
- Indicadores Ambientales - Factor de emisiones GEI del Sistema Eléctrico Nacional | Ministerio de Energía. (n.d.). <https://energia.gob.cl/indicadores-ambientales-factor-de-emisiones-gei-del-sistema-electrico-nacional>
- Coordinador Eléctrico Nacional. (2024, 11 enero). Sistema eléctrico redujo 21% sus emisiones en 2023 y se espera que siga creciendo participación de energía renovable variable. www.coordinador.cl. <https://www.coordinador.cl/novedades/sistema-electrico-redujo-21-sus-emisiones-en-2023-y-se-espera-que-siga-creciendo-participacion-de-energia-renovable-variable/>
- <https://revistaempresarial.com/actualidad-empresarial/lanzamientos/bus-articulado-100-electrico/#:~:text=El%20precio%20de%20un%20kil%C3%B3metro,di%C3%A9sel%20de%20motor%20Euro%20V.>
- García, A. (2025, June 23). La Troncal 4 de la Metrovía inició operación entre expectativas y dudas por sistema de alimentadores. Primicias. <https://www.primicias.ec/guayaquil/troncal4-metrovia-inicio-operaciones-expectativa-dudas-salida-lineas-buses-99117/>



- Menéndez, T. (2023, January 9). Transporte municipal de Guayaquil se queda sin pasajeros. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/quayaquil-transporte-municipal-metrovia-aerovia-pasajeros/>
- Temperatura de los COCHES eléctricos: impacto al rendimiento. (n.d.). <https://www.aixam-mega.com/es/como-afecta-la-temperatura-al-rendimiento-de-los-coches-electricos#:~:text=Si%20las%20temperaturas%20est%C3%A1n%20bajo,se%20sobrecalienta%20disminuye%20su%20autonom%C3%ADa.>
- von Buchwald, F. (2009). METROVIA: SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO URBANO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL. https://metroparaquito.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/04/metroviaguayaquil_von-buchwald.pdf
- Torres-Moscoso, D. F., Cordero-Moreno, D. G., Tonon-Ordóñez, L. B., & Fernández-Palomeque, E. E. (2022). Análisis Financiero para la Implementación de un Bus Eléctrico Urbano en la Ciudad de Cuenca. *Economía Y Negocios*, 13(1), 133–149. <https://doi.org/10.29019/eyn.v13i1.939>
- Steer. (2023). Estudio de mercado para movilidad eléctrica en Ecuador para desarrollar una línea de financiamiento del BID. In Banco Interamericano de Desarrollo, Informe Final.
- Loaiza, Y. (2025, Julio 1). Daniel Noboa anunció una matrícula de diez dólares para vehículos eléctricos en Ecuador. Infobae. <https://www.infobae.com/america/america-latina/2025/07/01/daniel-noboa-anuncio-una-matricula-de-diez-dolares-para-vehiculos-electricos-en-ecuador/>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). Imposición efectiva a las empresas en Ecuador. BID. https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Imposici%C3%B3n_efectiva_a_las_empresas_en_Ecuador_es_es.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2023). Panorama del Desarrollo Sostenible No. 45: Ecuador, política tributaria. PNUD. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-12/pds-number45_tributario_ecuador_es.pdf
- Servicio de Rentas Internas del Ecuador. (s. f.). RIMPE – Régimen Simplificado para Emprendedores y Negocios Populares. Recuperado el 19 de agosto de 2025, de <https://www.sri.gob.ec/rimpe>
- Morales, R. (2021, Octubre 14). El servicio integrado que ofrece el Trole y la Ecovía lo diferencia de otros sistemas de transporte. https://www.pasajerosquito.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=629&catid=84&Itemid=599
- Reyes-Clavijo, M. A., Pinos-Luzuriaga, L. G., Orellana-Osorio, I. F. y Tonon-Ordóñez, L. B. (2023). Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM) aplicado al sector empresarial de Ecuador. *Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 13(25), 113-126. <https://doi.org/10.17163/ret.n25.2023.08>

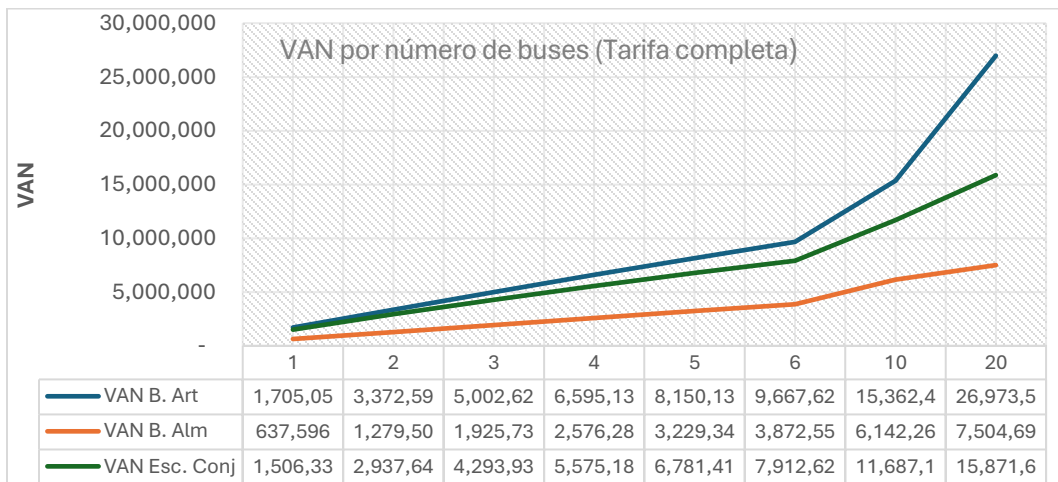
14. Anexos

Anexo 1: VAN por número de buses evaluados



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: VAN por número de buses evaluados con tarifas completas



Fuente: Elaboración propia



Anexo 3: Estadística descriptiva bus articulado

	VAN_Dda_A rt	VAN_Tarif_ Art	VAN_Cost Ener_Art	VAN_CostT otal_Art	VAN_Capex _Art	TIR_Dd a_Art	TIR_Tar if_Art	TIR_Cost Energ_Art	TIR_Cost Total_Art	TIR_Ca pex_Art
Media	517,045.58	521,827.41	498,680.2	403,140.28	481,925.97	1.28	1.22	0.94	0.73	0.91
Error típico	1,999.42	1,770.49	194.87	1,015.91	1,527.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Mediana	514,390.02	522,950.32	498,448.4	402,889.31	480,936.26	1.29	1.23	0.94	0.73	0.91
Moda	238,061.78	458,850.02	547,704.7 4	686,701.97	- 80,353.05	0.59	1.12	0.95	0.74	- 0.90
Desviación estándar	282,760.47	250,385.28	27,559.32	143,670.92	215,963.91	1.08	0.91	0.08	0.31	0.77
Varianza de la muestra	79,953,485 ,530.03	62,692,790 ,754.72	759,516,1 54.10	20,641,333 ,602.03	46,640,411, 003.76	1.16	0.83	0.01	0.10	0.59
Curtosis	0.05	0.05	0.34	0.79	0.84	0.35	0.70	0.34	- 0.05	0.38
Coficiente de asimetría	0.02	- 0.01	- 0.02	- 0.06	- 0.08	- 0.04	- 0.08	- 0.03	0.03	- 0.02
Rango	2,653,440. 10	2,003,942. 14	368,937.4 8	2,132,520. 08	3,241,375.0 9	16.09	12.17	1.07	2.43	10.30
Mínimo	- 617,073.93	- 480,206.07	235,715.2 3	- 962,689.85	1,593,211.0 6	- 9.01	- 7.45	0.18	- 0.51	- 6.34
Máximo	2,036,366. 18	1,523,736. 07	604,652.7 2	1,169,830. 23	1,648,164.0 3	7.08	4.73	1.25	1.92	3.96
Suma	10,340,911 ,622.62	10,436,548 ,290.78	9,973,604, 520.86	8,062,805, 603.83	9,638,519,3 55.30	25,698 .84	24,492 .34	18,798.0 2	14,585.5 0	18,124. 69
Cuenta	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000 .00	20,000 .00	20,000.0 0	20,000.0 0	20,000. 00
Nivel de confianza (95.0%)	3,919.03	3,470.31	381.97	1,991.26	2,993.23	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Límite Inferior	513,126.56	518,357.11	498,298.2 6	401,149.02	478,932.73	1.27	1.21	0.94	0.72	0.90
Límite Superior	520,964.61	525,297.72	499,062.1 9	405,131.54	484,919.20	1.30	1.24	0.94	0.73	0.92

Fuente: Elaboración propia



Anexo 4: Estadística descriptiva bus alimentador

	VAN_Dda_ Alm	VAN_Tarif_ Alm	VAN_CostE ner_ Alm	VAN_CostT ota_ Alm	VAN_Cap ex_ Alm	TIR_Dd a_ Alm	TIR_Tar if_ Alm	TIR_CostE nerg_ Alm	TIR_CostT ota_ Alm	TIR_Cap ex_ Alm
Media	3,980.11	40,726.90	32,683.56	- 61,705.88	5,494.63	0.22	0.24	0.15	0.10	0.11
Error típico	1,061.31	940.02	112.14	921.64	274.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mediana	3,667.16	39,877.93	32,534.97	- 62,751.01	5,554.96	0.22	0.24	0.15	0.10	0.11
Moda	84,260.06	44,294.92	21,432.47	130,040.66	11,573.6 2	0.29	- 0.24	0.15	0.17	0.18
Desviación estándar	150,092.3 9	132,939.2 3	15,859.50	130,339.71	38,788.8 0	0.27	0.30	0.03	0.11	0.05
Varianza de la muestra	22,527,72 6,715.00	17,672,83 9,239.66	251,523,68 1.70	16,988,441 ,039.12	1,504,57 0,735.37	0.07	0.09	0.00	0.01	0.00
Curtosis	0.39	0.78	0.04	- 0.09	0.37	- 0.04	0.40	0.39	0.02	0.35
Coefficiente de asimetría	- 0.04	- 0.10	0.03	0.02	- 0.03	0.03	- 0.02	- 0.05	- 0.00	- 0.04
Rango	2,025,207 .71	1,756,231 .97	146,276.10	1,046,959. 92	528,785. 05	2.09	4.47	0.40	0.99	0.68
Mínimo	- 1,419,355 .79	- 1,220,792 .26	- 28,299.86	- 584,557.96	- 366,730. 31	- 0.79	- 2.62	- 0.14	- 0.30	- 0.37
Máximo	605,851.9 3	535,439.7 1	117,976.24	462,401.96	162,054. 74	1.30	1.85	0.27	0.69	0.31
Suma	79,602,28 9.09	814,538,0 57.08	653,671,18 7.63	- 1,234,117, 677.62	109,892, 614.32	4,373. 62	4,799. 16	2,998.95	1,997.95	2,194.0 4
Cuenta	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.0 0	20,000 .00	20,000 .00	20,000.00	20,000.00	20,000. 00
Nivel de confianza (95.0%)	2,080.26	1,842.52	219.81	1,806.49	537.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Límite Inferior	1,899.85	38,884.38	32,463.75	- 63,512.38	4,957.02	0.21	0.24	0.15	0.10	0.11
Límite Superior	6,060.38	42,569.42	32,903.37	- 59,899.39	6,032.24	0.22	0.24	0.15	0.10	0.11

Fuente: Elaboración propia

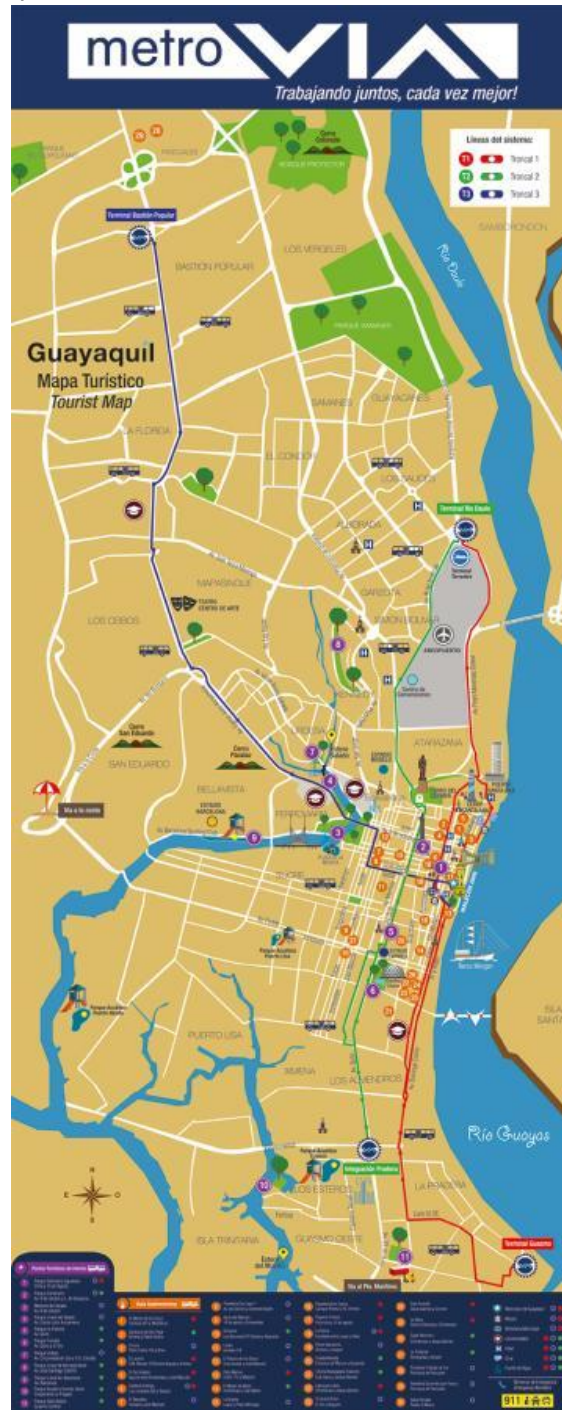


Anexo 5: Estadística descriptiva escenario conjunto

	VAN_Dda_ EC	VAN_Tarif_ EC	VAN_CostE ner_EC	VAN_CostT otal_EC	VAN_Cape x_EC	TIR_Dd a_EC	TIR_Ta rif_EC	TIR_CostE ner_EC	TIR_CostT otal_EC	TIR_Cap ex_EC
Media	18,029.81	38,819.12	16,022.32	195,326.9 2	- 30,243.03	0.15	0.15	0.10	0.04	0.10
Error típico	2,633.40	2,317.21	327.76	2,104.61	1,864.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mediana	20,095.08	40,675.56	16,211.37	196,061.6 0	- 31,539.93	0.15	0.15	0.10	0.04	0.10
Moda	153,903.5 9	162,821.5 0	61,124.47	615,893.3 6	485,423.0 9	0.15	0.19	0.10	- 0.10	0.14
Desviación estándar	372,418.7 9	327,702.3 1	46,352.70	297,636.8 3	263,736.3 7	0.23	0.20	0.02	0.10	0.13
Varianza de la muestra	138,695.7 55,042.55	107,388.8 01,574.52	2,148,573, 250.16	88,587,68 1,174.99	69,556,87 4,779.71	0.05	0.04	0.00	0.01	0.02
Curtosis	- 0.02	0.03	0.01	- 0.06	0.71	0.35	0.82	0.33	- 0.03	0.34
Coefficiente de asimetría	0.01	- 0.02	- 0.00	- 0.01	- 0.08	- 0.04	- 0.04	- 0.02	- 0.03	- 0.07
Rango	2,925,701. 37	3,071,809. 83	424,733.72	2,291,837. 53	3,554,032. 62	3.12	2.98	0.26	0.80	1.76
Mínimo	1,475,743. 93	1,273,912. 95	160,981.93	1,388,563. 18	2,534,259. 16	2.04	1.76	0.09	0.36	1.14
Máximo	1,449,957. 44	1,797,896. 88	263,751.79	903,274.3 5	1,019,773. 46	1.07	1.22	0.17	0.44	0.62
Suma	360,596,1 22.28	776,382,4 32.80	320,446,39 4.76	3,906,538, 469.09	604,860,6 52.95	3,024. 77	2,969. 62	1,996.43	798.42	2,018.4 4
Cuenta	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000 .00	20,000 .00	20,000.00	20,000.0 0	20,000. 00
Nivel de confianza (95.0%)	5,161.68	4,541.91	642.44	4,125.21	3,655.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Límite Inferior	12,868.13	34,277.21	15,379.88	199,452.1 3	- 33,898.39	0.15	0.15	0.10	0.04	0.10
Límite Superior	23,191.48	43,361.04	16,664.76	191,201.7 1	- 26,587.68	0.15	0.15	0.10	0.04	0.10

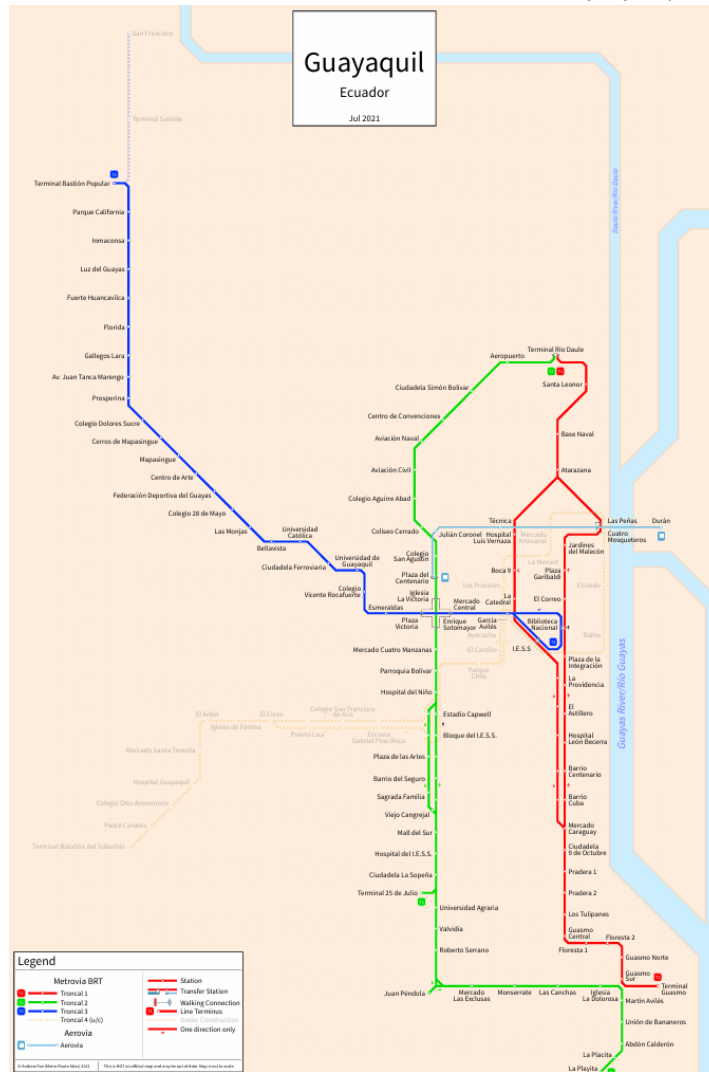
Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Mapa turístico de las líneas Troncales de Metrovía, Guayaquil



Fuente: Mapa turístico de las líneas Troncales de Metrovía Mapas sin requerir internet, en PDF. (n.d.). https://moovitapp.com/index/es-419/transporte_p%C3%BAblico-Mapas-sin-conexi%C3%B3n-Mapa-tur%C3%ADstico-de-las-l%C3%ADneas-Troncales-de-Metrov%C3%ADa-map-Guayaquil-5550-7459

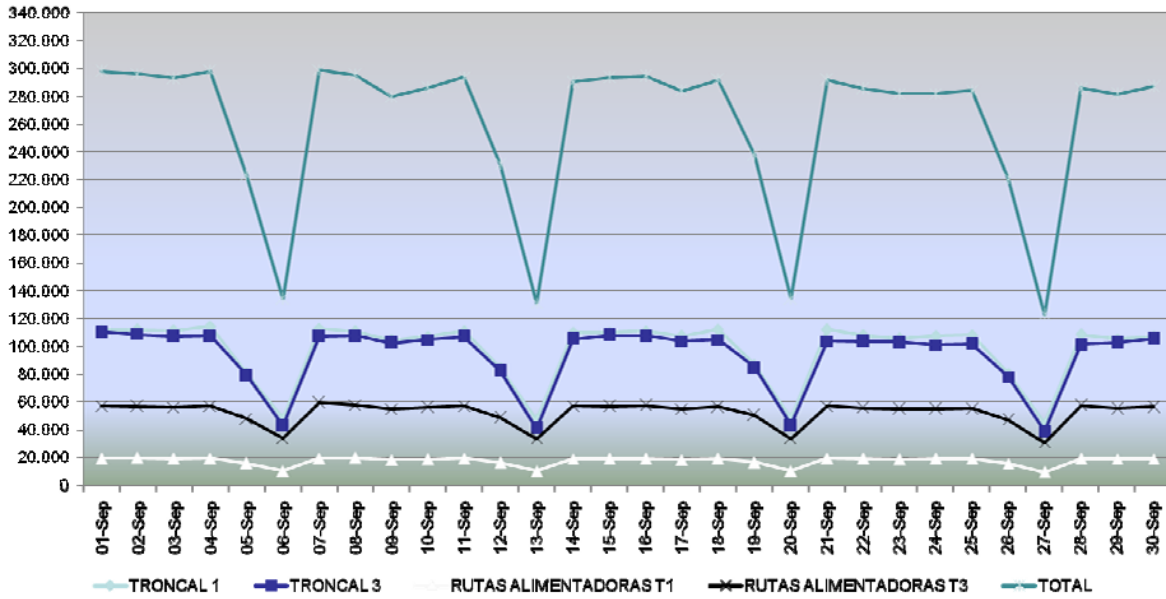
Anexo 7: Mapa no oficial de líneas Troncales de Metrovia, Guayaquil (Incluye Troncal 4)



Fuente: Vueloslina. (n.d.). Troncales Metrovia Guayaquil. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/952223682/Troncales-Metrovia-Guayaquil>

Anexo 8: Volumen de pasajeros sistema Metrovía

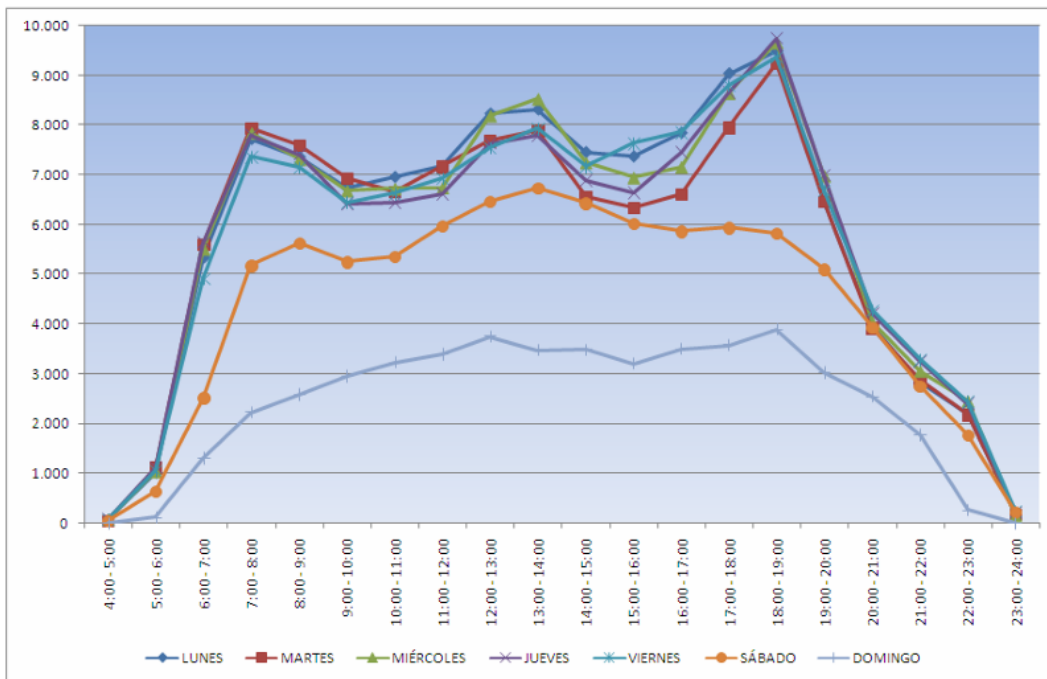
VOLUMEN DE PASAJEROS



Fuente: Informe “Metrovía: Sistema integrado de transporte masivo urbano de la ciudad de Guayaquil” (F. von Buchwald, 2009)

Anexo 9: Flujo de pasajeros por hora (Troncal 1)

FLUJO DE PASAJEROS POR FRANJA HORARIA – TRONCAL 1

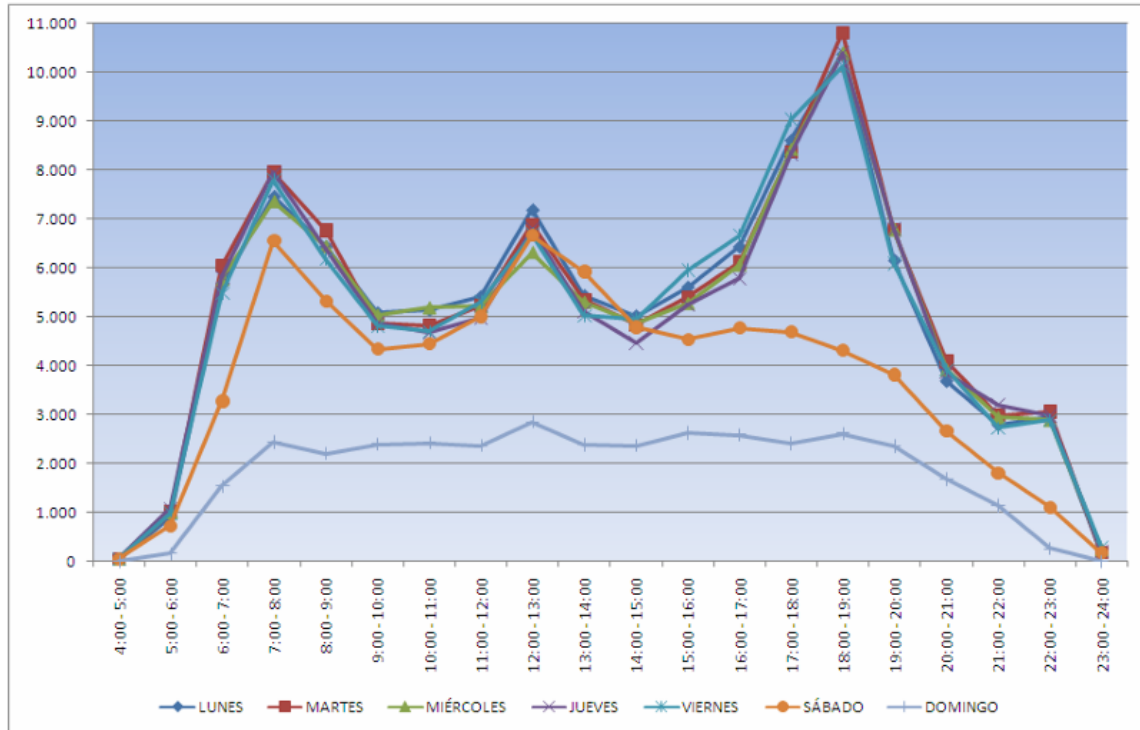


- Promedio agosto 2009

Fuente: Informe “Metrovía: Sistema integrado de transporte masivo urbano de la ciudad de Guayaquil” (F. von Buchwald, 2009)

Anexo 10: Flujo de pasajeros por hora (Troncal 3)

FLUJO DE PASAJEROS POR FRANJA HORARIA – TRONCAL 3



- Promedio entre Agosto 2009.

Fuente: Informe “Metrovia: Sistema integrado de transporte masivo urbano de la ciudad de Guayaquil” (F. von Buchwald, 2009)

Anexo 11: Demanda de pasajeros para la ciudad de Cuenca (por tipo de ruta)

Tabla 1. Rutas, longitud, tiempo y cantidad de pasajeros

Ruta	Nombre	Longitud [km]	Tiempo	Cantidad total de pasajeros por ruta
1	Directa	14.04	31'37''	58.97
2	Eco Campus	18.25	46'16''	76.65
3	Baños	32.56	1h17'33''	136.75
4	Sedes Centro	34.72	1h14'0.5''	145.82
5	Exprés	14.51	33'59''	60.94

Fuente: Análisis Financiero para la Implementación de un Bus Eléctrico Urbano en la Ciudad de Cuenca (Torres-Moscoso, D. F., Cordero-Moreno, D. G., Tonon-Ordóñez, L. B., & Fernández-Palomeque, E. E, 2022).



Anexo 12: Distribución de demanda de pasajeros para la ciudad de Cuenca (por tipo de ruta)

Tabla 2. Cantidad de pasajeros diarios y anuales por ruta

Ruta	Nombre	Número de recorridos diarios	Cantidad pasajeros anuales (pasaje único)	Cantidad pasajeros anuales (pasaje diferenciado)
1	Directa	15	242 611.2	75 816
2	Eco Campus	10	210 240	65 700
3	Baños	6	225 054.7	70 329.6
4	Sedes Centro	6	239 984.6	74 995.2
5	Exprés	14	234 017.3	73 130.4

Fuente: Análisis Financiero para la Implementación de un Bus Eléctrico Urbano en la Ciudad de Cuenca (Torres-Moscoso, D. F., Cordero-Moreno, D. G., Tonon-Ordóñez, L. B., & Fernández-Palomeque, E. E, 2022).