



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**MODELACIÓN DE FRECUENCIAS Y PROGRAMAS DEL TRANSPORTE URBANO DEL
CANTÓN AZOGUES MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACION PARA LA
OPTIMIZACION DEL SERVICIO**

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

**AUTORES: EDGAR JOSUE REDROVAN VERDUGO
DIEGO VICENTE LOAIZA GODOY
TUTOR: ING. JAVIER STALIN VÁZQUEZ SALAZAR, MsC.**

Cuenca - Ecuador

2026

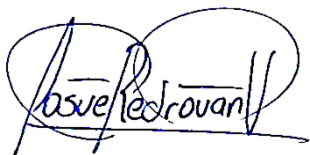
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edgar Josue Redrovan Verdugo con documento de identificación N° 0350130928 y Diego Vicente Loaiza Godoy con documento de identificación N° 1105704629; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 20 de enero del 2026

Atentamente,



Edgar Josue Redrovan Verdugo

0350130928



Diego Vicente Loaiza Godoy

1105704629

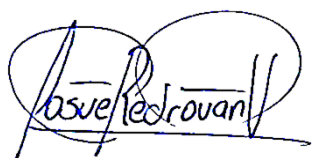
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Edgar Josue Redrovan Verdugo con documento de identificación N° 0350130928 y Diego Vicente Loaiza Godoy con documento de identificación N° 1105704629, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Modelación de frecuencias y programas del transporte urbano del cantón Azogues mediante software de simulación para la optimización del servicio”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de enero del 2026

Atentamente,



Edgar Josue Redrovan Verdugo

0350130928



Diego Vicente Loaiza Godoy

1105704629

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Javier Stalin Vázquez Salazar con documento de identificación N° 0301448353, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **MODELACIÓN DE FRECUENCIAS Y PROGRAMAS DEL TRANSPORTE URBANO DEL CANTÓN AZOGUES MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACION PARA LA OPTIMIZACION DEL SERVICIO**, realizado por Edgar Josue Redrovan Verdugo con documento de identificación N° 0350130928 y por Diego Vicente Loaiza Godoy con documento de identificación N° 1105704629, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de enero del 2026

Atentamente,



Ing. Javier Stalin Vázquez Salazar

0301448353

DEDICATORIA

*A mis ángeles en el cielo, EJ y MJ, faros que guían
mis pasos.*

*A mis ángeles en la tierra, Papi, Mami, Nico, María
Emilia, Mis Abuelitas y Mis Tíos,
por su amor incondicional, por sostenerme en cada
momento
y por ser la razón de todo lo que soy.*

Edgar Josue Redrovan Verdugo

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, por haber sido el espacio de formación académica y humana que me permitió crecer como profesional y como persona. Gracias por brindarme los conocimientos, las herramientas y los valores necesarios para afrontar futuros retos de la vida laboral y contribuir al desarrollo de la sociedad.

Mi sincero agradecimiento al Ing. Javier Vázquez S, tutor de esta tesis, por su guía, dedicación y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo. Su orientación profesional y humana fue fundamental para alcanzar este objetivo.

A todos ustedes, mi gratitud eterna.

Edgar Josue Redrovan Verdugo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia

Papá, Mamá, hermanos, y mi novia.

Por su ayuda y apoyo a lo largo de este camino.

Diego Vicente Loaiza Godoy

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, institución que me brindó no solo una formación académica sólida, sino también un entorno que fomentó el desarrollo del pensamiento crítico, responsabilidad profesional y el compromiso con la sociedad. Los conocimientos y valores adquiridos durante este proceso constituyen una base fundamental para mi ejercicio profesional futuro.

Extiendo un reconocimiento especial al Ing. Javier Vázquez S., tutor de esta tesis, por su acompañamiento constante, criterio técnico y disposición para orientar cada etapa de este trabajo. Sus observaciones y sugerencias fueron determinantes para la correcta estructuración y culminación de la presente investigación.

A todos quienes contribuyeron directa o indirectamente a este proceso, expreso mi más sincero agradecimiento.

Diego Vicente Loaiza Godoy

RESUMEN

La presente investigación analiza el desempeño del transporte público urbano del cantón Azogues mediante la evaluación de demanda real y factores operativos, con énfasis en las líneas 5, 6 y 7. Para ello se aplican estudios de ascenso y descenso y se complementan con registros de conteo automático de pasajeros, lo que permite identificar la sección de máxima demanda, la variación espacial y temporal de la carga y el nivel de utilización de la flota.

Con base en estos insumos se calculan indicadores operativos y de productividad, destacando el Índice de Pasajeros por Kilómetro (IPK), la ocupación, la velocidad comercial y los tiempos de viaje, con el fin de caracterizar el escenario actual y compararlo con un escenario optimizado. Los resultados evidencian comportamientos diferenciados: la Línea 6 concentra la mayor presión operativa en el tramo central, mientras que las líneas 5 y 7 presentan subutilización de capacidad y duplicidad parcial de recorrido sobre corredores compartidos.

A partir de la simulación y del análisis comparativo, se plantea una optimización del programa de servicios basada en la reducción y ajuste de frecuencias según demanda, la optimización del sistema de paradas y la integración parcial de rutas con alto traslape (Línea 5 con una línea estructurante y Línea 7 con la Línea 6), además de medidas de gestión de capacidad en horas pico para la Línea 6 mediante refuerzos focalizados. La propuesta permite reducir vehículo-kilómetros improductivos, mejorar la productividad del sistema y sostener niveles adecuados de accesibilidad y cobertura, constituyéndose en una base técnica para la toma de decisiones operativas y el seguimiento de indicadores en el tiempo.

***Palabras clave:** Transporte público urbano; simulación; ascensos y descensos; IPK; frecuencia; paradas; optimización operativa.*

ABSTRACT

This research evaluates the operational performance of the urban public transport system in Azogues by analyzing observed demand and key operating indicators, focusing on routes 5, 6, and 7. Passenger boarding and alighting surveys are conducted and complemented with automatic passenger counting records, enabling the identification of the maximum-load segment, the spatial-temporal variation of passenger loads, and fleet utilization patterns.

Based on these data, operational and productivity indicators are computed, particularly passengers per kilometer (IPK), occupancy, commercial speed, and travel time, to characterize the current scenario and compare it with an optimized scenario. Results show differentiated patterns: Route 6 experiences the highest operational pressure in the central corridor, whereas Routes 5 and 7 show underutilized capacity and partial route duplication along shared corridors.

Using simulation and comparative analysis, an optimized service plan is proposed, including frequency reduction and adjustment according to demand, stop system optimization, and partial route integration in high-overlap sections (Route 5 with a trunk route and Route 7 with Route 6). Additionally, capacity management measures are proposed for Route 6 during peak periods through targeted short-run reinforcements. The proposed optimization reduces unproductive vehicle-kilometers, improves system productivity, and maintains adequate accessibility and coverage, providing a technical basis for operational decision-making and long-term performance monitoring.

Keywords: *Urban public transport; simulation; boarding and alighting; passengers per kilometer (PPK/IPK); service frequency; bus stops; operational optimization.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	18
------------------------------	----

2. PROBLEMA DE ESTUDIO	19
2.1 ANTECEDENTES	19
2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCE	20
2.3 DELIMITACIÓN	21
3. OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GENERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
4. CAPITULO I: ESTADO DEL ARTE	24
4.1 Movilidad urbana y transporte público	24
4.1.1 Tipos de movilidad	24
4.1.2 Importancia del transporte público en ciudades intermedias.....	24
4.1 Características del sistema de transporte urbano	25
4.1.2 Línea	25
4.1.3 Ruta.....	25
4.1.4 Recorrido.....	26
4.1.5 Itinerario.....	26
4.1.6 Parada.....	26
4.1.7 Flota	26
4.1.8 Tipo de operación por rutas	27
4.1.9 Tipo de operación por corredores	27
4.1.10 Esquema troncal–alimentador.....	27
4.2 Frecuencias y programación operativa	28
4.2.1 Frecuencia.....	28

4.2.2	Intervalo	28
4.2.3	Tiempo de ciclo.....	28
4.2.4	Flota necesaria	29
4.2.5	Regularidad y puntualidad	29
4.3	Indicadores de desempeño del transporte urbano.....	30
4.3.1	Ocupación	30
4.3.2	Tasa de ascenso–descenso	30
4.3.3	Tiempo de espera del usuario	30
4.3.4	Nivel de servicio	31
4.3.5	Carga máxima y dispersión.....	31
4.4	Inteligencia de datos para transporte	31
4.4.1	Concepto	31
4.4.2	Relevancia del análisis de datos en movilidad.....	32
4.4.3	Uso de software para optimización.....	32
4.5	Fundamentación teórica de la simulación	33
4.5.1	Modelos macroscópicos.....	33
4.5.2	Modelos mesoscópicos	33
4.5.3	Modelos microscópicos	33
4.6	Importancia de la simulación para evaluar reorganización	34
4.6.1	Parámetros esenciales para modelar frecuencias	34
4.6.2	Parámetros de oferta del servicio.....	35
4.6.3	Parámetros de demanda de pasajeros.....	35
4.6.4	Parámetros de operación y control.....	35

4.6.5	Determinación de parámetros operativos.....	36
4.7	Parámetros operativos.....	36
4.7.1	Tiempos de viaje promedio.....	36
4.7.2	Índice de pasajeros por kilómetro (IPK).....	37
4.7.3	Velocidad comercial	38
4.7.4	Frecuencia.....	38
4.7.5	Sección de máxima demanda.....	39
4.8	Estado del arte.....	40
4.8.1	Contexto internacional	40
4.8.2	Contexto nacional	41
4.8.3	Contexto local	42
5	CAPITULO II: METODOLOGÍA	43
5.2	Enfoque y diseño metodológico	43
5.2.1	Zona de estudio	43
5.2.2	Enfoque de la investigación	43
5.2.3	Secuencia metodológica general.....	44
5.3	Sistema de transporte	44
5.3.1	Localización y contexto del área.....	44
5.3.2	Red urbana actual de TRURAZ.....	45
5.3.3	Nivel global de demanda y distribución por líneas.....	46
5.3.4	Patrones temporales de uso.....	47
5.3.5	Selección de líneas	48
5.3.6	Estructura urbana y patrón general de movilidad	49

5.3.7	Características técnicas de la flota de transporte	50
5.3.8	Parque automotor	51
5.4	Métodos de recolección de información de campo.....	54
5.4.1	Encuestas Origen–Destino	54
5.4.2	Encuestas de ascenso – descenso y conteo automático	56
5.4.4	Distancia entre paradas	64
5.4.5	Kilómetros compartidos entre líneas urbanas	65
5.5	Mapeo y levantamiento de rutas.....	66
5.5.1	Georreferenciación de recorridos y paradas	66
5.5.2	Georreferenciación de recorridos y paradas	67
5.6	Simulación	69
5.7	Índice de Pasajeros por Kilómetro – Escenario actual.....	72
6	CAPITULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTA DE MEJORA.....	74
6.2	Optimización del programa de servicios de transporte.....	74
6.3	Frecuencias de operación obtenidas mediante la simulación del escenario optimizado.....	75
6.4	Propuesta de optimización del sistema de paradas.....	77
6.5	Análisis comparativo de escenarios simulados.....	78
6.5.1	Dimensionamiento de unidades requeridas	81
6.6	Análisis de indicadores operativos del escenario optimizado	83
6.7	IPK por línea escenario optimizado	85
6.8	Evaluación de la mejora operativa del sistema: costos.....	87
6.9	Discusión de resultados.....	90

6.10 Limitaciones del estudio	92
7. CONCLUSIONES	94
8. RECOMENDACIONES	96
9. REFERENCIAS	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa del cantón Azogues	22
Figura 2 Demanda de pasajeros por línea	47
Figura 3 Distribución temporal de la demanda.....	48
Figura 4 Distribución del parque automotor por porcentaje.....	54
Figura 5 Líneas de deseo de encuestas O-D	55
Figura 6 Diagrama de cargas por línea y paradas Línea 5.....	62
Figura 7 Diagrama de cargas por línea y paradas Línea 6.....	63
Figura 8 Diagrama de cargas por línea y paradas Línea 7.....	64
Figura 9A Caracterización de línea 5	67
Figura 9B Caracterización de línea 6.....	68
Figura 9C Caracterización de línea 7	69
Figura 10 Captura del modelo de simulación– Línea 5.....	70
Figura 11 Captura del modelo de simulación– Línea 6.....	71
Figura 12 Captura del modelo de simulación– Línea 7	72
Figura 13 Propuesta de Integración de rutas L1-L5	80
Figura 14 Propuesta de Integración de rutas L6-L7	81

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Flota Necesaria.....	29
Ecuación 2 Tiempo de viaje promedio	37
Ecuación 3 Índice de pasajeros por kilómetro	37
Ecuación 4 Velocidad comercial.....	38
Ecuación 5 Frecuencia	39
Ecuación 6 Número mínimo de unidades requeridas.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias diarias de transporte público Azogues	45
Tabla 2 Características de línea 5, línea 6 y línea 7	49
Tabla 3 Características de oferta de TRURAZ.....	50
Tabla 4 Parque automotor de TRURAZ	51
Tabla 5 Encuesta Ascenso descenso / unidad, línea 5	56
Tabla 6 Encuesta Ascenso descenso / unidad, línea 6	57
Tabla 7 Encuesta Ascenso descenso / unidad, línea 7	58
Tabla 8 Ascensos por perímetro Línea 5	59
Tabla 9 Ascensos por perímetro Línea 6	60
Tabla 10 Ascensos por perímetro Línea 7	60
Tabla 11 Distancia entre paradas	65
Tabla 12 Kilómetros compartidos entre líneas de transporte.....	65
Tabla 13 IPK Escenario Actual.....	73
Tabla 14 Problemas identificados, soluciones propuestas e indicadores de seguimiento	74

Tabla 15 Frecuencias optimizadas	75
Tabla 16 Distancia entre paradas optimizadas	77
Tabla 17 Comparativa de unidades requeridas vs unidades reales	82
Tabla 18 Indicadores operativos del escenario optimizado por línea	84
Tabla 19 IPK Escenario Optimizado	86
Tabla 20 Costos operativos por unidad y por km	88
Tabla 21 Costos operativos por unidad y por km	90

1. INTRODUCCIÓN

El transporte público urbano constituye un componente esencial para la movilidad cotidiana en ciudades intermedias, donde cumple una función social de acceso a oportunidades (educación, trabajo, salud y servicios) y, al mismo tiempo, enfrenta restricciones operativas asociadas a flota limitada, superposición de rutas, variabilidad de la demanda y dificultades de control y regularidad del servicio (Vuchic, 2007).

En estos contextos, la eficiencia del sistema no depende únicamente de incrementar recursos, sino de gestionar adecuadamente la oferta mediante programación operativa, definición de frecuencias coherentes con la demanda y evaluación de desempeño a través de indicadores como ocupación, velocidad comercial y productividad de vehículo-kilómetros (Ceder, 2016).

En el cantón Azogues, el sistema urbano operado por TRURAZ presenta retos típicos de redes por rutas: segmentos con alta demanda y presión operativa, coexistiendo con recorridos de baja ocupación y tramos redundantes por solapes entre líneas. Estas condiciones inciden en la calidad del servicio (tiempos de viaje y espera, regularidad) y en la sostenibilidad económica del operador (costos por kilómetro y por pasajero), por lo que resulta necesario aplicar metodologías cuantitativas apoyadas en datos reales y herramientas de simulación para evaluar escenarios de mejora antes de su implementación (Ibarra-Rojas et al., 2015).

En este marco, el presente trabajo modela frecuencias y programas del transporte urbano de Azogues mediante software de simulación y datos de demanda/operación, con el fin de plantear una optimización integral del servicio, enfocada en la racionalización de la oferta, reducción de kilómetros improductivos, ajuste de paradas y mejora de indicadores operativos y de productividad.

2. PROBLEMA DE ESTUDIO

El transporte público urbano en ciudades intermedias suele enfrentar desafíos asociados a la eficiencia operativa, la cobertura del servicio y la gestión de frecuencias, variables que inciden de forma directa en el nivel de servicio percibido por el usuario. En términos operativos, la programación de frecuencias y la estabilidad de los intervalos dependen críticamente del tiempo de ciclo, de la flota disponible y de la variabilidad del tráfico, por lo que decisiones basadas solo en promedios tienden a producir desajustes entre oferta y condiciones reales de operación (Ceder, 2016).

En el caso de Azogues, el diagnóstico del PMS-Azogues documenta una operación urbana con diferencias relevantes entre líneas en cuanto a demanda, número de buses en servicio y longitudes de recorrido, lo cual sugiere una estructura heterogénea del sistema que exige criterios técnicos para ajustar la oferta y evitar tanto la sobrecarga como la subutilización. Este comportamiento se evidencia, por ejemplo, en la concentración de pasajeros en determinadas líneas y en el contraste de operación entre rutas de alta y baja utilización (GAD Municipal del cantón Azogues, 2025).

2.1 ANTECEDENTES

La planificación del transporte público ha evolucionado desde enfoques basados en reglas fijas hacia esquemas apoyados en medición de desempeño, programación dinámica y análisis de datos, especialmente para gestionar la relación entre oferta y demanda, mejorar regularidad y dimensionar flota en función de secciones críticas del recorrido (Ceder, 2016).

A nivel conceptual, las variables como frecuencia/intervalo, tiempo de ciclo, velocidad comercial y ocupación determinan la eficiencia operativa y la percepción de calidad del usuario; por tanto, su análisis debe realizarse de manera integrada

De forma complementaria, (Ibarra-Rojas et al., 2015) destaca que el uso de simulación y optimización permite evaluar estrategias de operación (ajuste de frecuencias, servicios reforzados, control de intervalos y cambios de paradas) sin intervenir directamente el sistema real, reduciendo riesgos y facilitando decisiones basadas en evidencia

En América Latina, se ha enfatizado la necesidad de fortalecer la movilidad urbana con criterios de accesibilidad, eficiencia y equidad, particularmente en ciudades intermedias donde la red tiende a concentrarse en pocos corredores y a generar superposición de rutas en ejes centrales (Alcalá et al., 2023). En el ámbito tecnológico, los Sistemas Inteligentes de Transporte y el análisis de grandes volúmenes de datos (GPS/AVL, contadores automáticos de pasajeros, registros operativos) permiten caracterizar demanda real y desempeño del servicio con mayor precisión que los enfoques exclusivamente manuales, ofreciendo una base técnica para la programación operativa y el seguimiento de indicadores (Perallos et al., 2015).

En el contexto local, los insumos institucionales (por ejemplo, el Plan de Movilidad Sostenible del cantón) reportan la estructura del sistema, su distribución de demanda, y evidencian desigualdad en el uso de líneas, así como la existencia de tramos compartidos entre rutas. Sin embargo, persiste la necesidad de traducir estos diagnósticos en programas de servicio optimizados, sustentados por modelación, simulación y comparación de escenarios, de modo que las propuestas tengan trazabilidad técnica mediante indicadores verificables (Ceder, 2016).

2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCE

La importancia de esta investigación radica en abordar un problema operativo central del transporte urbano: la desalineación entre oferta y demanda, expresada en frecuencias poco consistentes con los patrones reales de uso, coexistencia de líneas estructurantes con líneas subutilizadas y presión operativa en secciones críticas.

La optimización de la programación (frecuencias, paradas y organización funcional de líneas) es una medida de alta incidencia, porque modifica directamente tiempos de espera, regularidad del servicio, ocupación y utilización de flota, sin requerir inversiones de infraestructura equivalentes a las de ampliaciones viales o cambios mayores de red (Vuchic, 2007).

Además, la adopción de simulación como soporte permite evaluar resultados esperados y cuantificar impactos en indicadores clave, alineándose con enfoques contemporáneos de planificación y operación de sistemas de buses (Ceder, 2016).

El alcance del estudio se centra en el sistema urbano del cantón Azogues operado por TRURAZ, delimitando el análisis a tres líneas representativas por contraste operativo: una de baja demanda (Línea 5), una de alta demanda (Línea 6) y una de recorrido corto con demanda moderada-baja (Línea 7). La investigación incorpora información de campo y registros automáticos (ascensos/descensos, conteo automático), métricas de red (distancia entre paradas, kilómetros compartidos) y parámetros operativos (tiempos de viaje, velocidad comercial, ocupación e IPK), para construir y comparar un escenario base y un escenario optimizado.

2.3 DELIMITACIÓN

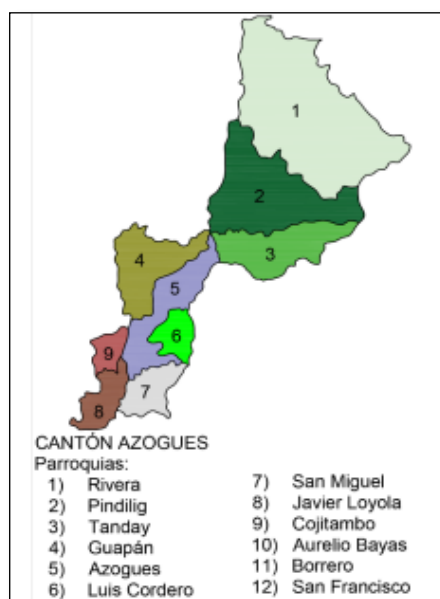
El presente proyecto se desarrollará en la Provincia del Cañar específicamente en el cantón Azogues (Figura 1), ubicado en la región interandina del Ecuador con una altitud aproximada de 2.200 metros sobre el nivel del mar. El Cantón está conformado por cinco parroquias urbanas y seis parroquias rurales, abarcando una extensión territorial de 122 km².

Según los resultados del Censo de Población 2022, el cantón Azogues registró una población total de 74.515 habitantes. Esta cifra corresponde al conteo censal más reciente a nivel cantonal publicado por (INEC, 2022).

De los cuales aproximadamente 66 % residía en el área urbana y 34 % en las parroquias rurales (INEC, 2022). Esta distribución poblacional evidencia la concentración demográfica en la zona urbana.

Figura 1

Mapa del cantón Azogues



(Crespo et al., n.d.)

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Modelar las frecuencias y programas del transporte urbano del cantón Azogues mediante el uso de software de simulación, con el fin de optimizar el servicio y mejorar la eficiencia operativa del sistema, a través del análisis de datos reales de oferta y demanda que permitan proponer ajustes en la programación, reducir los tiempos de espera y elevar la calidad del transporte público.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el marco teórico y normativo relacionado con la planificación del transporte urbano y la modelación de sistemas de transporte, mediante la revisión bibliográfica de estudios, normas y modelos aplicados en contextos similares identificando los principales conceptos e indicadores para aplicarlos al caso del cantón Azogues.
- Aplicar una metodología de análisis de transporte para caracterizar la oferta y la demanda del transporte urbano de Azogues, a través de la información de campo proveniente de encuestas origen–destino, ascenso–descenso y mapeo de rutas, para determinar frecuencias reales, tiempos de viaje y factores de ocupación.
- Realizar el análisis de resultados de la simulación de un modelo de transporte urbano mediante el software utilizado, que permita evaluar la eficiencia del servicio actual y proponer escenarios de mejora operativa, tales como la reorganización de rutas y frecuencias, la prioridad semafórica al transporte público, la optimización de tiempos de ciclo y paradas, y la implementación de sistemas de información al usuario.

4. CAPITULO I: ESTADO DEL ARTE

4.1 Movilidad urbana y transporte público

Se entiende como movilidad urbana el conjunto de desplazamientos de personas y mercancías que se realizan dentro de la ciudad y están limitados por la ubicación de destinos (vivienda, trabajo, estudio, servicios) y por la oferta de infraestructura, como también de los tipos de transporte disponibles (Rodrigue et al., 2016). De esta forma se logra evidenciar que la movilidad no solo se limita al movimiento de vehículos, sino va un poco más allá mostrando el resultado de la organización de una ciudad y las oportunidades de movilidad que puede tener el ciudadano a su alcance.

4.1.1 Tipos de movilidad

Dentro de la movilidad urbana, (Rodrigue et al., 2016) distingue de forma amplia entre movilidad colectiva, movilidad individual y movilidad de carga. La movilidad colectiva agrupa los desplazamientos realizados en servicios de transporte compartido, como autobuses urbanos, sistemas de Buses de transporte rápido (Bus Rapid Transit, BRT por sus siglas en ingles), metro o tranvía; la movilidad individual incluye los viajes en automóvil, motocicleta, bicicleta y los desplazamientos a pie; y la movilidad de carga corresponde al transporte de mercancías mediante camiones u otros vehículos de reparto.

4.1.2 Importancia del transporte público en ciudades intermedias

La movilidad urbana no se limita únicamente a la cuantificación de viajes, sino que integra nuevos conceptos importantes como: dimensiones, tiempo, costo, comodidad y seguridad. En este sentido, se diferencia de la noción de transporte, entendido como el sistema técnico de infraestructuras y servicios y se conecta estrechamente con el concepto de accesibilidad, que alude a la facilidad efectiva para llegar a oportunidades de empleo, educación, salud o recreación.

Organismos como Corporación Andia de Fomento (CAF) destacan que la movilidad urbana debe evaluarse no solo por el volumen de viajes, sino por su contribución a la accesibilidad, la equidad social y la sostenibilidad ambiental en las ciudades latinoamericanas (Alcalá et al., 2023).

En muchos contextos urbanos de América Latina, la movilidad colectiva y la movilidad activa (caminar y pedalear) siguen siendo fundamentales para los grupos de menores ingresos, pero a menudo se planifican con menos información y menos recursos que la infraestructura destinada al automóvil (Alcalá et al., 2023).

4.1 Características del sistema de transporte urbano

4.1.2 Línea

Una línea de autobús es un servicio de transporte público que conecta dos puntos de interés o zonas de la ciudad, identificado comercialmente por un número o nombre y por un conjunto de horarios de operación.

Desde la perspectiva del usuario, la línea es la unidad visible del sistema: cuando una persona elige tomar la línea 1, está seleccionando un paquete de ruta, frecuencia, paradas y tiempos de viaje (Ibarra-Rojas et al., 2015)

4.1.3 Ruta

La ruta es el trazado físico que sigue una línea sobre la red vial, es decir, la secuencia ordenada de calles, avenidas y segmentos por los que circulan los vehículos. Mientras que la línea se define como un servicio desde el punto de vista comercial y de la demanda, la ruta se refiere a la geometría del servicio sobre el plano de la ciudad. Esta distinción es útil ya que, permite analizar, por ejemplo, la longitud de los recorridos, la superposición entre diferentes líneas y la accesibilidad espacial que ofrece el sistema (Ibarra-Rojas et al., 2015).

4.1.4 Recorrido

El recorrido es el viaje completo que realiza un bus en un sentido de una línea, siguiendo la ruta definida, desde la terminal de origen hasta la terminal de destino. Cada recorrido incluye todos los tramos de la ruta, todas las paradas servidas y todos los tiempos de circulación y detención que se producen en ese viaje específico (Ibarra-Rojas et al., 2015).

4.1.5 Itinerario

En los modelos de planificación y control revisados por (Ibarra-Rojas et al., 2015), la programación operativa se expresa como un conjunto de itinerarios para cada línea. A partir de ese conjunto de itinerarios se derivan la frecuencia ofrecida en cada franja horaria, los intervalos teóricos y el uso de la flota a lo largo del día, por lo que el itinerario es la unidad básica de decisión en la programación diaria.

4.1.6 Parada

Las paradas de autobús son los puntos donde los usuarios acceden y salen del sistema, y en donde se produce el transbordo entre la caminata y el viaje en bus o entre distintas líneas. Su localización y espaciamiento determinan el área de influencia del sistema y el esfuerzo de acceso a pie que deben realizar los usuarios. Además, se destaca que una ubicación adecuada de las paradas mejora la accesibilidad y puede reducir los tiempos de viaje puerta a puerta para los pasajeros (National Academies of Sciences, 2013).

4.1.7 Flota

La flota de un sistema de transporte público está formada por el conjunto de vehículos disponibles para prestar servicio. A efectos de planificación, se suele distinguir entre la flota total registrada, la flota técnicamente habilitada y la flota efectivamente en operación en una franja

horaria determinada, ya que parte de los vehículos puede encontrarse en mantenimiento, en reserva o fuera de servicio por fallas (Ibarra-Rojas et al., 2015).

4.1.8 Tipo de operación por rutas

En el tipo de operación por rutas, cada línea mantiene un trazado propio sobre la red vial y opera de forma relativamente independiente de las demás. Este esquema es característico de muchos sistemas de buses tradicionales en América Latina, en donde las rutas se han ido incorporando de manera incremental a lo largo del tiempo, respondiendo a demandas específicas o por acuerdos con los operadores. Como resultado, suelen ser tramos de fuerte superposición de varias líneas en los corredores principales, competencia por pasajeros en algunos segmentos y dificultades para coordinar horarios y frecuencias en secciones compartidas (Giesen et al., 2025).

4.1.9 Tipo de operación por corredores

En los esquemas de operación por corredores, la red se organiza en torno a uno o varios ejes troncales de alta demanda, sobre los cuales se concentra la mayor parte de la oferta de transporte público. En estos corredores es más factible aplicar medidas de prioridad (carriles exclusivos, prioridad semafórica) y estrategias de control que permitan mantener frecuencias y regularidad cercanas a las programadas. El Transit Capacity and Quality of Service Manual (National Academies of Sciences, 2013), resalta que este enfoque facilita tratar el corredor como una unidad de planificación de alta capacidad, simplificando el dimensionamiento (Guihaire & Hao, 2008). control operativo (Guihaire & Hao, 2008).

4.1.10 Esquema troncal–alimentador

El esquema troncal–alimentador es una forma particular de operación por corredores en la que se combinan líneas troncales de alta capacidad y frecuencia con rutas alimentadoras que conectan áreas periféricas o de menor densidad con estaciones de transferencia. En los sistemas

(BRT), las líneas troncales suelen operar en corredores exclusivos o preferenciales, con vehículos de mayor capacidad y estándares de servicio más altos, mientras que las rutas alimentadoras se encargan de recoger y distribuir pasajeros en los barrios, llevando el flujo hacia las estaciones en donde se realizan los transbordos (Giesen et al., 2025).

4.2 Frecuencias y programación operativa

4.2.1 Frecuencia

La frecuencia (f) se define como el número de vehículos que pasan por un punto específico de una línea en una unidad de tiempo, usualmente expresada en buses por hora. Por ejemplo, una frecuencia de seis vehículos/hora significa que, en promedio, seis buses de la línea pasan por una parada dada cada hora. La frecuencia es, en la práctica, la forma más directa en la que la autoridad o el operador fijan la “cantidad de oferta” que se asigna a una línea para una determinada franja horaria (Ibarra-Rojas et al., 2015).

4.2.2 Intervalo

El intervalo o headway por su traducción al inglés (h) es el tiempo que transcurre entre el paso de dos buses consecutivos de la misma línea por un mismo punto, normalmente medido en minutos. Cuando los buses están uniformemente espaciados, existe una relación simple entre frecuencia e intervalo: si la frecuencia es $f_{\text{buses/hora}}$, el intervalo teórico es $h = 60/f_{\text{minutos}}$. Así, una frecuencia de seis buses/hora equivale a un intervalo de 10 minutos entre buses (National Academies of Sciences, 2013).

4.2.3 Tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo (T_c) de una línea se define como el tiempo total que requiere un bus para completar un recorrido de ida y vuelta, incluyendo tiempos de circulación, tiempos de detención en paradas y tiempos de regulación o descanso en las terminales. Este parámetro vincula

directamente la programación con la flota disponible: a mayor tiempo de ciclo, se necesita un mayor número de vehículos para sostener una misma frecuencia (National Academies of Sciences, 2013).

4.2.4 Flota necesaria

La flota necesaria es el número mínimo de vehículos que se requiere para operar una línea con una frecuencia determinada, dado su tiempo de ciclo. En términos simplificados, si el tiempo de ciclo es T_c (en horas) y la frecuencia deseada es f (en vehículos/hora), el número mínimo de buses necesarios está definido por la ecuación 1:

$$N = T_c \cdot f.$$

Ecuación 1 Flota Necesaria

Esta relación, ampliamente utilizada en manuales y estudios de planificación, permite comprobar si la flota disponible es suficiente para sostener los intervalos programados (Ibarra-Rojas et al., 2015).

4.2.5 Regularidad y puntualidad

La regularidad y la puntualidad son atributos de la programación que reflejan la confiabilidad del servicio. La regularidad se refiere a la estabilidad de los intervalos entre buses: un servicio es regular cuando los intervalos reales se mantienen cercanos al valor programado y no presenta grandes huecos ni racimos de vehículos. La puntualidad, en cambio, compara las horas reales de paso por ciertos puntos de control con las horas previstas en el horario oficial. Es posible que una línea cumpla en promedio con la frecuencia planificada, sin embargo, presente una regularidad muy pobre si los buses tienden a agruparse (National Academies of Sciences, 2013).

4.3 Indicadores de desempeño del transporte urbano

4.3.1 Ocupación

Describe la capacidad utilizada por los pasajeros en una unidad de transporte, la cual se expresa como el cociente entre la carga de pasajeros y la capacidad de diseño del vehículo (factor de carga) o como densidad de pasajeros por metro cuadrado en las zonas de pie. Esta medida permite clasificar las condiciones de viaje en rangos que van desde situaciones cómodas, con asientos disponibles, hasta niveles de saturación en los que el espacio libre es muy reducido (National Academies of Sciences, 2013).

4.3.2 Tasa de ascenso–descenso

Indica la cantidad de pasajeros que suben o bajan de los vehículos en una parada durante un intervalo de tiempo o por cada vehículo atendiendo esa parada. Esta tasa se utiliza para estimar el tiempo que el vehículo permanece detenido, ya que el intercambio de pasajeros es uno de los componentes principales del tiempo de detención en parada y está influido por el volumen de ascensos y descensos y por el diseño del acceso al vehículo (National Academies of Sciences, 2013).

4.3.3 Tiempo de espera del usuario

Es el intervalo que transcurre desde que la persona llega a la parada hasta que llega el siguiente vehículo que puede abordar. En los marcos de evaluación de calidad de servicio, este componente se integra en el tiempo total de viaje y está directamente relacionado con la frecuencia del servicio y con la estabilidad de los intervalos entre vehículos. En condiciones de llegadas aleatorias y vehículos regularmente espaciados, el tiempo de espera medio se aproxima a la mitad del intervalo programado (National Academies of Sciences, 2013).

4.3.4 Nivel de servicio

Son guías recientes de movilidad urbana, en América Latina complementan esta visión proponiendo indicadores que organizan la calidad del servicio en dimensiones como: disponibilidad, confiabilidad, confort, seguridad y asequibilidad, subrayando que el nivel de servicio es una construcción que combina tiempos, ocupación y percepción de los usuarios más que un único valor físico (Alcalá et al., 2023).

4.3.5 Carga máxima y dispersión

La carga máxima se define como el número de pasajeros transportados en el punto más cargado de una línea o ruta durante un periodo de análisis, generalmente en la hora pico. Este valor se compara con la capacidad de diseño para determinar el grado de utilización en la sección crítica y para asignar niveles de servicio en función de la relación entre carga y capacidad (National Academies of Sciences, 2013).

La dispersión de la carga describe la forma en la que cambia el número de pasajeros a lo largo del recorrido y en distintos momentos del día. El análisis de los perfiles de carga permite identificar tramos y periodos con fuerte concentración de pasajeros y otros con baja utilización, lo que ayuda a detectar desequilibrios entre oferta y demanda. En el desarrollo de indicadores para sistemas de buses, se recomienda trabajar explícitamente con diagramas de carga y no solo con promedios de ocupación, para que los puntos críticos de demanda queden correctamente reflejados (Núñez Sepúlveda, 2015).

4.4 Inteligencia de datos para transporte

4.4.1 Concepto

Los Sistemas Inteligentes de Transporte (Intelligent Transportation Systems, ITS) son un conjunto de soluciones que integran dispositivos (sensores, cámaras, detectores), equipos

embarcados (GPS/AVL, validadores, comunicaciones), redes de transmisión y plataformas de software capaces de capturar, procesar y explotar datos para apoyar la operación del sistema de movilidad. Estas soluciones permiten habilitar servicios como: gestión de tráfico, priorización del transporte público, logística inteligente y provisión de información en tiempo real a usuarios y operadores (Perallos et al., 2015).

4.4.2 Relevancia del análisis de datos en movilidad

El avance de los ITS ha generado grandes volúmenes de datos procedentes de tarjetas inteligentes de pago, validadores, sistemas de localización automática de vehículos, aforos automáticos, teléfonos móviles y otras fuentes. Las revisiones en bases de datos permiten analizar con mucho más detalle el comportamiento de los usuarios, utilización de las líneas, calidad del servicio y condiciones de operación, superando las limitaciones de los métodos tradicionales basados únicamente en encuestas y aforos manuales (Rodríguez et al., 2022).

4.4.3 Uso de software para optimización

En el ámbito del transporte público por autobús, (Ibarra-Rojas et al., 2015) en planificación, operación y control muestra que la simulación se combina con técnicas de optimización para resolver problemas como: diseño de líneas, ajuste de frecuencias, asignación de flota o el control de la regularidad. Los enfoques de optimización formulados para sistemas de buses incorporan explícitamente decisiones como horarios, intervalos, despacho de vehículos y estrategias de control, con el objetivo de equilibrar costos operativos, tiempos de viaje, ocupación y calidad percibida del servicio

4.5 Fundamentación teórica de la simulación

4.5.1 Modelos macroscópicos

Los modelos macroscópicos describen el tráfico mediante variables agregadas, siendo estas: flujo, densidad y velocidad, tratando el conjunto de vehículos como un flujo continuo. Se basan en relaciones fundamentales de tráfico y ecuaciones de conservación y son adecuados para analizar el comportamiento promedio en corredores o redes completas, aunque no representan explícitamente decisiones individuales de conducción ni maniobras puntuales como adelantamientos o cambios de carril (Transportation Research Board, 2015).

4.5.2 Modelos mesoscópicos

Los modelos mesoscópicos ocupan una posición intermedia: representan vehículos individuales o grupos de vehículos como entidades discretas, su movimiento se gobierna por reglas simplificadas y por tiempos de viaje agregados, en lugar de reproducir con detalle la dinámica de aceleraciones y frenadas. Esta aproximación permite capturar la formación y disipación de colas y la propagación de la congestión en redes de tamaño medio o grande con un coste computacional menor que los modelos microscópicos y un mayor nivel de detalle que los modelos puramente macroscópicos (Transportation Research Board, 2015).

4.5.3 Modelos microscópicos

Los modelos microscópicos representan el comportamiento de cada vehículo de forma individual, mediante modelos de seguimiento, cambio de carril y obediencia a señales y prioridades. Este enfoque permite estudiar en detalle el impacto de la geometría vial del diseño de intersecciones de estrategias de prioridad al transporte público o de la ubicación de paradas sobre el desempeño del sistema. Estudios como (Baza-Solares et al., 2022) de micro simulaciones muestran que a pesar de que estos modelos requieren más información de entrada y mayor esfuerzo

de calibración, proporcionan una descripción muy detallada de las interacciones entre vehículos y permiten analizar efectos locales de medidas específicas.

4.6 Importancia de la simulación para evaluar reorganización

La simulación adquiere especial relevancia cuando se pretende evaluar reorganizaciones del sistema de transporte, como rediseño de rutas de autobús, ajustes en las frecuencias, cambios en la prioridad semafórica o modificación del esquema de paradas. Estos cambios alteran simultáneamente los tiempos de viaje, la formación de colas la distribución de flujos y la experiencia de los usuarios de modo que resulta necesario disponer de una herramienta capaz de capturar estas interacciones de forma dinámica y bajo distintos escenarios de demanda (Nor Azlan & Md Rohani, 2018).

(Moosavi et al., 2020) muestra que los modelos pueden emplearse para analizar el desempeño de líneas de autobús bajo diferentes patrones de frecuencia y estrategias de operación cuantificando indicadores como: tiempos de espera, ocupación, regularidad del intervalo y utilización de la flota. En este trabajo la simulación sirve para comparar alternativas de configuración del servicio y para identificar combinaciones de parámetros que ofrecen un equilibrio razonable entre eficiencia operativa y calidad de servicio sin depender únicamente de reglas de pulgar sobre la frecuencia adecuada.

4.6.1 Parámetros esenciales para modelar frecuencias

En la simulación de sistemas de transporte público por autobús, la frecuencia de servicio y los intervalos entre vehículos se modelan a partir de un conjunto de parámetros que describen la oferta. Entre ellos se incluyen: tiempos de viaje por tramo y sentido, tiempos de detención en paradas, tiempos de regulación en terminales, capacidad de los vehículos, horarios de salida y número de buses asignados a cada línea. A partir de estos elementos se obtiene el tiempo de ciclo

y se determina la cantidad de vehículos que son necesarios para sostener un cierto intervalo teórico entre buses (Ibarra-Rojas et al., 2015).

4.6.2 Parámetros de oferta del servicio

Los parámetros de oferta describen la configuración del servicio de autobús desde el punto de vista del operador. Entre los más relevantes se encuentran los tiempos de recorrido por tramo y sentido, tiempos de detención en paradas, tiempos de regulación en terminales, la longitud de la línea, la capacidad de los vehículos y el patrón de programación de salidas (frecuencia o intervalo programado). Según (Ibarra-Rojas et al., 2015) estos elementos se combinan para calcular el tiempo de ciclo de cada línea y para establecer la relación entre frecuencia deseada y flota mínima requerida

4.6.3 Parámetros de demanda de pasajeros

Los parámetros de demanda describen cómo, cuándo y dónde utilizan el sistema los pasajeros. Entre ellos destacan: perfiles temporales de demanda, tasas de llegada de pasajeros a las paradas, tasas de ascenso y descenso por parada y tramo y al disponer de información más detallada, las matrices origen–destino que representan los viajes completos en la red. Las revisiones sobre datos en transporte público muestran que actualmente estos parámetros pueden estimarse a partir de fuentes como: tarjetas inteligentes, validadores, GPS de buses y datos de telefonía móvil, superando las limitaciones de los cuestionarios puntuales (Welch & Widita, 2019).

4.6.4 Parámetros de operación y control

Además de la oferta estática y de la demanda, la modelación de frecuencias debe incorporar las reglas de operación y control que rigen el funcionamiento diario del sistema. Entre estos parámetros se encuentran el esquema de despacho en terminales, políticas de regulación en

cabeceras y puntos de control intermedios (retener buses adelantados, no permitir salidas anticipadas, etc.), restricciones de flota disponible por franja horaria y, en su caso, estrategias de prioridad operacional (por ejemplo, prioridad semafórica para buses). (Ibarra-Rojas et al., 2015) con respecto a la operación y control de sistemas de buses muestra que estas reglas influyen directamente en la variabilidad del intervalo real, en la formación de grupos de vehículos y en la capacidad del sistema para mantener la frecuencia planificada.

4.6.5 Determinación de parámetros operativos

Para evaluar el desempeño operativo del transporte público urbano, se calculan tres parámetros: **tiempo de viaje promedio** por línea y sentido, **índice de pasajeros por kilómetro (IPK)** como medida de utilización de la oferta, y **velocidad comercial**. Según (Ceder, 2016), estos parámetros se consideran magnitudes básicas para describir la prestación del servicio, debido a que sintetizan el efecto conjunto de la infraestructura, la explotación (frecuencias y flota) y el comportamiento de la demanda sobre el desempeño observado

4.7 Parámetros operativos

4.7.1 Tiempos de viaje promedio

Los parámetros operativos describen el desempeño funcional de una línea o red de buses desde la perspectiva de operación (tiempos, velocidades y productividad del servicio). En la planificación y operación del transporte público, estos parámetros son indispensables para dimensionar la oferta, analizar confiabilidad y sustentar decisiones de programación, siempre que se definan con estabilidad (unidad, periodo, sentido del recorrido y fuente de datos) para evitar comparaciones sesgadas entre líneas u horarios (Ceder, 2016).

$$\bar{T}_{viaje} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Ecuación 2

Tiempo de viaje promedio

Este parámetro presentado en la ecuación 2 es fundamental para la programación operativa, ya que condiciona el tiempo de ciclo, la flota necesaria y la regularidad del servicio, sin embargo, en la práctica los tiempos de viaje presentan una variabilidad significativa asociada a la congestión, operación en paradas y condiciones topográficas de la zona de estudio, por lo que trabajar solo con “tiempos promedio” sin considerar dispersiones (desviación estándar, percentiles) puede enmascarar problemas de confiabilidad del servicio (Vuchic, 2007).

4.7.2 Índice de pasajeros por kilómetro (IPK)

El Índice de Pasajeros por Kilómetro (IPK) es un indicador de productividad del transporte público que expresa la relación entre el número de pasajeros transportados y los kilómetros recorridos por el servicio en un periodo determinado. Este índice permite evaluar el nivel de aprovechamiento de la oferta de transporte en términos de vehículo-kilómetro, mostrando cuántos pasajeros se movilizan, en promedio, por cada kilómetro producido por la flota. (Vuchic, 2007).

El Índice de pasajeros por kilómetro (IPK) se define en la ecuación 3 como:

$$IPK = \frac{\text{Pasajeros transportados en un periodo}}{\text{Kilómetros recorridos en el mismo periodo}}$$

Ecuación 3

Índice de pasajeros por kilómetro

En términos operativos, el numerador corresponde al total de pasajeros transportados por una línea en el periodo de análisis (por ejemplo, una semana típica), mientras que el denominador corresponde a la suma de kilómetros recorridos por todos los buses asignados a esa línea en el

mismo periodo. Así como el rango de variación diaria y los días de operación, clasificando los valores en rangos de desempeño: $IPK < 1,0$ se considera bajo rendimiento; IPK entre 1,0 y 2,0–2,5 se interpreta como desempeño medio o aceptable; IPK entre 2,0 y 4,0 indica buen rendimiento; y valores superiores a 4,0 reflejan una utilización muy elevada de la flota (Ceder, 2016).

4.7.3 Velocidad comercial

La velocidad comercial se define como la velocidad promedio del bus mientras presta servicio, considerando tanto el movimiento, como las detenciones asociadas a la operación. Esta variable sintetiza el efecto combinado de infraestructura, interferencias del tráfico, control en intersecciones y patrón de paradas, y es determinante, ya que velocidades bajas incrementan el tiempo de ciclo y presionan el requerimiento de flota para sostener intervalos de operación (Vuchic, 2007).

A continuación, se presenta la ecuación 4 la cual permitirá calcular la velocidad comercial.

$$V_{com} = \frac{L}{T_{viaje}}$$

Ecuación 4 *Velocidad comercial*

Donde L es la longitud del recorrido (km) y T_{viaje} es el tiempo de viaje correspondiente a partir de las longitudes y tiempos de recorrido reportados para cada línea urbana.

4.7.4 Frecuencia

La frecuencia del servicio se define como el número de vehículos que circulan por una línea durante una unidad de tiempo, expresada en la ecuación 5, en vehículos por hora. En la planificación del transporte público urbano, la frecuencia representa una de las principales variables de diseño de la oferta, ya que determina la disponibilidad del servicio para los usuarios y condiciona el desempeño operativo del sistema (Ceder, 2016).

$$f = \frac{N}{T_c}$$

Ecuación 5
Frecuencia

Donde N es el número de vehículos asignados, T_c es el tiempo de ciclo de la línea y f es la frecuencia.

4.7.5 Sección de máxima demanda

De acuerdo con los principios de planificación y operación del transporte público urbano, el dimensionamiento de la flota constituye un elemento fundamental para garantizar una adecuada relación entre la oferta del servicio y la demanda de pasajeros. Presentada en la ecuación 6.

En este contexto, (Molinero, 1997) establece que el número de unidades necesarias para operar una línea debe determinarse a partir del análisis de la sección de máxima carga o sección crítica, es decir, aquel tramo del recorrido en donde se concentra la mayor cantidad de pasajeros de manera simultánea.

También señala que el dimensionamiento no debe realizarse utilizando la capacidad nominal total del vehículo, sino una capacidad efectiva u operativa, la cual considera márgenes de confort, seguridad y regularidad del servicio. Esta capacidad efectiva suele situarse entre el 60 % y el 80 % de la capacidad nominal del vehículo, dependiendo de las condiciones de operación y de los objetivos de calidad del servicio. Además, este enfoque permite evitar situaciones de saturación excesiva y contribuye a una operación más estable del sistema, por lo que se utilizara el 70%. Bajo este criterio, el número mínimo de unidades requeridas para atender una línea puede expresarse mediante la siguiente relación:

$$N = \frac{D_{max}}{C_{ef}}$$

Ecuación 6

Número mínimo de unidades requeridas

En donde, N : representa el número de unidades requeridas, D_{max} : corresponde a la demanda máxima observada en la sección crítica del recorrido, C_{ef} : es la capacidad efectiva del vehículo, definida como una fracción de la capacidad nominal.

4.8 Estado del arte

4.8.1 Contexto internacional

En el contexto internacional, la investigación en transporte público urbano se ha orientado a fortalecer la eficiencia operativa y la calidad del servicio mediante enfoques integrados de planificación, programación y control. Un eje recurrente es la necesidad de relacionar la demanda real con la oferta producida (vehículo-kilómetros) y con el desempeño observable del servicio (regularidad, tiempos de viaje, velocidad comercial y ocupación), con el fin de sustentar intervenciones que no dependan exclusivamente del aumento de flota, sino del mejor aprovechamiento de los recursos existentes. En este marco, se destaca que las estrategias operativas deben diseñarse de forma diferenciada por tramos y periodos del día, debido a la concentración espacial de la demanda en corredores específicos y a la variación temporal entre horas pico y valle. Estudios aplicados con herramientas de simulación demuestran que la evaluación de escenarios permite medir impactos antes de la implementación real, especialmente en variables de confiabilidad y regularidad del servicio, donde la simple reducción o incremento de frecuencias no siempre corrige la acumulación de pasajeros ni la irregularidad operacional (Moosavi et al., 2020). De manera complementaria, revisiones del estado del arte sobre sistemas de buses subrayan que los problemas más frecuentes se relacionan con la programación del servicio, el control de intervalos, la asignación de flota y la gestión de secciones críticas de alta demanda; por ello, recomiendan metodologías que vinculen indicadores de rendimiento con

decisiones operativas concretas y verificables (Ibarra-Rojas et al., 2015). En conjunto, estas aportaciones respaldan que la optimización del transporte público urbano requiere intervenciones basadas en evidencia que integren demanda, operación y desempeño, priorizando la reducción de ineficiencias y la gestión focalizada de tramos críticos.

4.8.2 Contexto nacional

A escala nacional, los estudios en Ecuador muestran que la movilidad urbana se ve condicionada tanto por factores operativos como por la estructura territorial y las desigualdades de accesibilidad. Las investigaciones que analizan políticas de movilidad en ciudades como Quito destacan que la planificación del transporte público no puede desligarse de los efectos socioespaciales del sistema, debido a que las intervenciones (por ejemplo, cambios de red o proyectos de transporte masivo) modifican patrones de acceso a oportunidades, tiempos de viaje y distribución de beneficios entre zonas urbanas (Vecchio et al., 2020). Esta evidencia enfatiza la importancia de incorporar métricas de desempeño y accesibilidad como soporte de decisiones técnicas. En la misma línea, trabajos orientados al análisis cuantitativo de la demanda en corredores de transporte público han empleado modelos espaciales y herramientas SIG para explicar la distribución de abordajes en función de variables urbanas y de entorno, evidenciando que la demanda se concentra en zonas con mayor conectividad, densidad de actividades y accesibilidad, y que estas relaciones deben considerarse al ajustar frecuencias y programas de servicio (Núñez, 2022). En conjunto, el estado del arte nacional respalda que las propuestas de optimización operativa deben apoyarse en datos observables de demanda y en lectura territorial, especialmente en ciudades donde la centralidad y la concentración de actividades generan picos de carga en tramos definidos.

4.8.3 Contexto local

En el ámbito local, existen antecedentes relevantes que abordan la movilidad urbana en Azogues desde diferentes perspectivas. Un aporte directo es el trabajo desarrollado por (Flores, 2017), que analiza problemáticas del transporte en el cantón y plantea lineamientos de mejora en términos de organización del servicio y funcionamiento en el área urbana. Sin embargo, su aplicación se enmarca en el contexto operativo existente en el año de publicación, por lo que no necesariamente refleja la configuración actual de rutas, frecuencias y patrones de demanda, los cuales suelen modificarse con el crecimiento urbano, los cambios de centralidad y la evolución del servicio. De forma complementaria, se han propuesto indicadores para evaluar movilidad sostenible en Azogues, aportando una base útil para la medición y el seguimiento del sistema en términos generales, aunque sin profundizar en la reprogramación operacional p(León & Carriel, 2021)anda real por tramo (León & Carriel, 2021).

5 CAPITULO II: METODOLOGÍA

5.2 Enfoque y diseño metodológico

5.2.1 Zona de estudio

La zona de estudio corresponde al área urbana del cantón Azogues, en donde se concentra la movilidad cotidiana intraurbana y opera el sistema de Transporte Urbano de Azogues (TRURAZ). La delimitación y caracterización básica de este ámbito se sustenta en los insumos técnicos del PMS-Azogues (Plan de Movilidad Sostenible), que sintetiza la estructura de rutas, paradas, tiempos de recorrido y patrones de demanda del transporte público urbano en la ciudad.

En coherencia con el PMS-Azogues, el alcance espacial del estudio se restringe a la movilidad urbana servida por TRURAZ, excluyendo del análisis principal las rutas y servicios de naturaleza rural o intracantonal que no formen parte del sistema urbano, salvo cuando generen condiciones de borde (p. ej., conexiones o puntos de intercambio) que influyan en el funcionamiento urbano. Esta decisión metodológica evita mezclar dinámicas con lógicas de operación distintas (demanda, distancias, tiempos de ciclo y frecuencias), lo cual podría distorsionar la interpretación de indicadores y la calibración del modelo de simulación (GAD Municipal del cantón Azogues, 2025).

5.2.2 Enfoque de la investigación

La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo de carácter descriptivo–explicativo, orientado a medir y analizar el desempeño operativo del transporte público urbano en Azogues a partir de recolección de datos y factores como frecuencias, tiempos de viaje y ocupación. Esto permite describir con precisión la situación actual del sistema urbano de buses, por ende, explicar la incidencia de la combinación de parámetros operativos y patrones de demanda en la calidad del servicio y en la eficiencia de la red.

5.2.3 Secuencia metodológica general

El estudio se organiza en una secuencia de fases:

- Revisión y obtención de datos e información otorgada por la empresa TRURAZ para entender el contexto actual de la movilidad del transporte público.
- La obtención de datos específicos del sistema urbano que se pretenden analizar son: flota, rutas, horarios, frecuencias, georreferenciación de recorridos, paradas, ascensos y descensos de pasajeros a partir de conteos automáticos y datos levantados con herramientas como Geo Tracker y registros en tiempo real de ascensos y descensos.
- Construcción y aplicación de un modelo de simulación que permita evaluar escenarios alternativos diferentes al escenario actual con su estructura original y la demanda observada.

5.3 Sistema de transporte

5.3.1 Localización y contexto del área

El área de estudio que se pretende estudiar es la zona urbana del cantón Azogues, capital de la provincia del Cañar. La ciudad tiene como punto de interés el centro de la ciudad, ya que es donde se encuentran lugares administrativos, comerciales y educativos, rodeado por barrios residenciales de demanda cotidiana intensa de viajes hacia el núcleo central. Siendo TRURAZ el principal modo de transporte colectivo para las personas que realizan desplazamientos dentro del casco urbano de la ciudad, por lo que su análisis resulta clave para comprender el funcionamiento de la movilidad urbana en Azogues.

5.3.2 Red urbana actual de TRURAZ

La empresa encargada de brindar el servicio de transporte público en la ciudad de Azogues está compuesta por nueve líneas, las cuales están operadas exclusivamente por TRURAZ, distribuidas sobre el territorio urbano y periurbano de Azogues.

El permiso de operación vigente autoriza a la empresa a explotar estas nueve rutas con una flota de 42 unidades, que prestan servicio de lunes a domingo con variaciones en la oferta según el día de la semana. El permiso de operación y el contrato de operación son los instrumentos jurídicos, mediante los cuales el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Azogues permite el uso legal de las nueve líneas de transporte público.

El total de frecuencias del sistema urbano de TRURAZ (Tabla 1) alcanza 678 frecuencias diarias en días laborables, reduciéndose a 574 los sábados y a 428 los domingos, en respuesta al ajuste operativo frente a la menor demanda registrada en días no laborales (GAD Municipal del Cantón Azogues, 2025).

Tabla 1

Frecuencias diarias de transporte público Azogues

Línea	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Línea 1	107	107	107	107	107	101	70
Línea 2	50	50	50	50	50	47	26
Línea 3	40	40	40	40	40	49	22
Línea 4	55	55	55	55	55	51	47
Línea 5	25	25	25	25	25	25	12

Línea 6	147	147	147	147	147	98	91
Línea 7	14	14	14	14	14	14	14
Línea 8	23	23	23	23	23	23	8
Línea 9	87	87	87	87	87	87	69
Total	678	678	678	678	678	574	428

Fuente. Base de datos TRURAZ

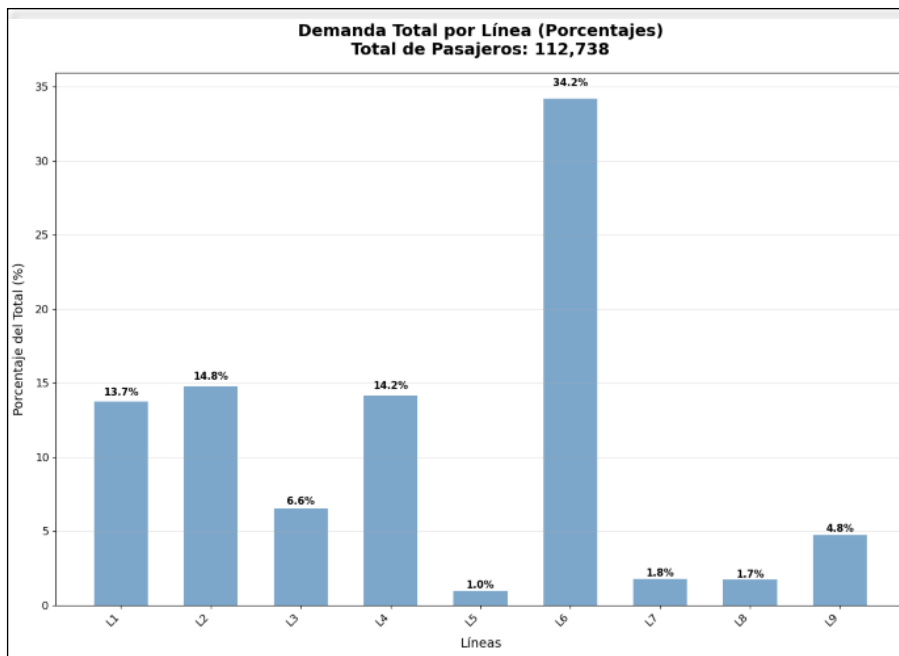
En ciudades intermedias ecuatorianas, facilita el acceso directo desde los barrios y parroquias cercanas al núcleo urbano, así mismo también tiende a concentrar el flujo de buses en unos pocos corredores de ingreso, con el riesgo de aglomeración de rutas y saturación en determinados tramos. Desde el punto de vista operativo, la red urbana de transporte público tiene una extensión total de 129,95 km, considerando la suma de las longitudes de las nueve líneas en ambos sentidos, y opera con 42 buses, tanto de lunes a viernes, como los sábados, reduciendo la flota a 30 unidades los domingos, sin contar buses de reserva asignados (GAD Municipal del cantón Azogues, 2025).

5.3.3 Nivel global de demanda y distribución por líneas

En el registro semanal de ascensos y descensos, TRURAZ contabiliza un total de 112.738 pasajeros, concentrados de manera muy desigual entre las nueve líneas (Figura 2). Como se muestra en la Figura 2, la Línea 6 es claramente dominante, con el 34,2 % de la demanda semanal, seguida por las líneas L2 (14,8 %), L4 (14,2 %) y L1 (13,7 %); en conjunto, estas cuatro líneas concentran alrededor del 76,4 % de todos los pasajeros del sistema. En el extremo opuesto, L3 (6,6 %), L9 (4,8 %), L7 (1,8 %), L8 (1,7 %) y L5 (1,0 %) muestran niveles de uso significativamente menores (GAD Municipal del Cantón Azogues, 2025).

Figura 2

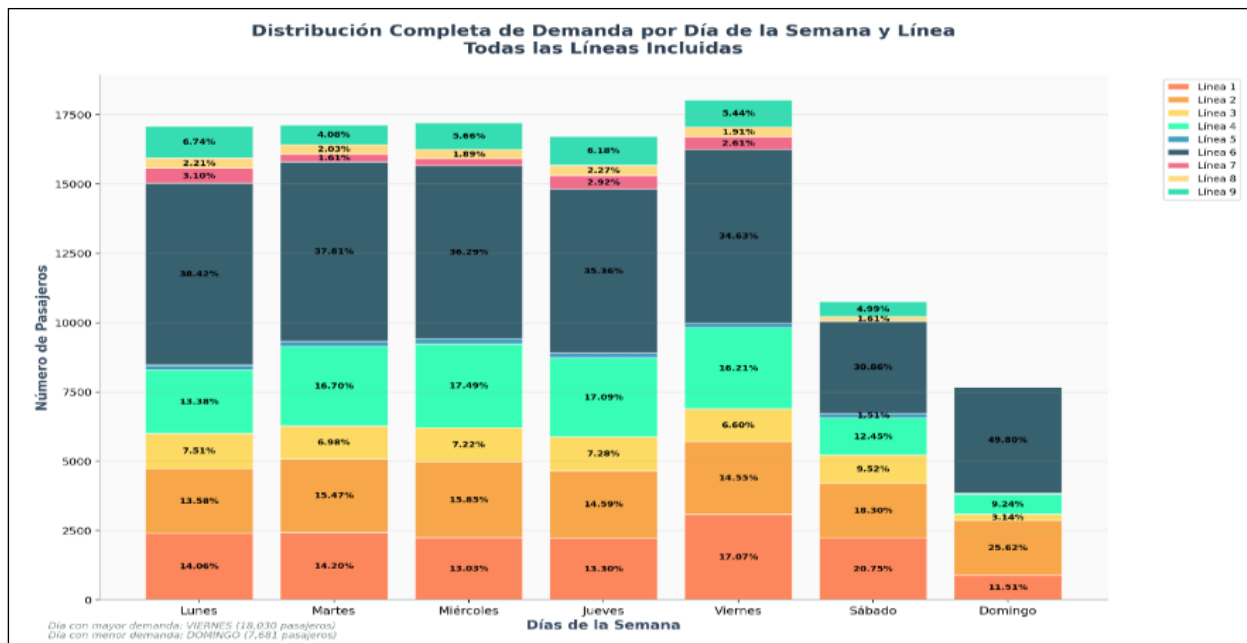
Demanda de pasajeros por línea



Nota. (GAD Municipal del Cantón Azogues, 2024)

5.3.4 Patrones temporales de uso

A medida que pasan los días de la semana la demanda por día cambia, es así como TRURAZ presenta una clara variación a lo largo de la semana (Figura 3). El día de mayor demanda es el viernes, con 18.030 pasajeros, mientras que el domingo registra el nivel más bajo, con 7.681 pasajeros. A lo largo de la semana, la Línea 6 mantiene un predominio constante, superando el 30% de participación diaria y alcanzando el 49,8 % de la demanda del sistema el domingo, lo que evidencia su rol estructurante incluso en días de baja demanda (GAD Municipal del Cantón Azogues, 2025).

Figura 3*Distribución temporal de la demanda*

Fuente. (GAD Municipal del Cantón Azogues, 2024, p. 193)

5.3.5 Selección de líneas

El análisis se delimita a las Líneas 5, 6 y 7 del sistema urbano TRURAZ, debido a que constituyen casos contrastantes en: participación de demanda semanal y atributos operativos. En particular como se observa en la Tabla 2, la Línea 6 representa el comportamiento de una ruta de alta demanda dentro del sistema, mientras que las Líneas 5 y 7 corresponden a rutas de baja participación, y adicionalmente exhiben configuraciones operativas diferenciadas. Esta combinación permite analizar de manera manejable la heterogeneidad del sistema urbano, justificando técnica y empíricamente el enfoque del estudio

A nivel metodológico, la delimitación a tres líneas se justifica como una selección intencional del sistema urbano de TRURAZ, ya que se busca trabajar con líneas que representen

condiciones operativas y niveles de demanda claramente diferentes, de manera que el análisis sea comparable y manejable.

Tabla 2

Características de línea 5, línea 6 y línea 7

Criterio	Línea 5	Línea 6	Línea 7
% de demanda de pasajeros	1,00%	34,20%	1,80%
Buses en operación (días laborables)	2 buses	10 buses	2 buses
Distancia por sentido (ida)	8,95 km	6,82 km	6,30 km
Distancia por sentido (vuelta)	8,56 km	6,11 km	5,43 km
Perfil representado (síntesis)	Baja demanda	Alta demanda	Recorrido corto

5.3.6 Estructura urbana y patrón general de movilidad

La estructura urbana de Azogues presenta un patrón con respecto a su movilidad, ya que la mayor zona comercial se encuentra en el centro de la ciudad, como también los principales atractores de viajes. Los levantamientos realizados en el marco de este estudio, a partir de la toma de datos, muestran que una proporción significativa de los viajes motorizados se realiza en transporte público, especialmente entre los sectores periféricos y el centro, mientras que la caminata mantiene un peso relevante en los desplazamientos de corta distancia dentro del núcleo urbano.

Este patrón implica que la mayoría de los flujos de pasajeros convergen hacia un conjunto limitado de vías de acceso al centro, lo cual tiene implicaciones directas sobre la configuración de la red de buses, la saturación de ciertas líneas y la prioridad relativa que se le otorga al transporte colectivo frente al vehículo particular.

5.3.7 Características técnicas de la flota de transporte

Como se muestra en la Tabla 3, la flota urbana de TRURAZ está compuesta por 42 buses, que en conjunto ofrecen una capacidad estimada de 2 940 plazas, considerando un promedio de 32 asientos y 38 pasajeros de pie por unidad cumpliendo lo que exige el RTE INEN 038 y NTE INEN 2205 (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2010a). La totalidad de la flota cuenta con sistemas GPS y contadores de pasajeros, lo que permite el seguimiento en tiempo real del registro de la demanda, al menos en forma de conteos de ascenso, constituyendo una base relevante para futuros sistemas de gestión inteligente del transporte.

Tabla 3

Características de oferta de TRURAZ

Componente	Indicador	Valor	Unidad
Oferta física	Flota urbana total	42	Buses
Capacidad por unidad	Promedio de asientos por bus	32	Asientos/bus
Capacidad por unidad	Promedio de pasajeros de pie por bus	38	Pasajeros de pie/bus
Oferta	Capacidad sentados (flota)	1344	Pasajeros
Oferta	Capacidad de pie (flota)	1596	Pasajeros

Oferta total	Capacidad total estimada (flota)	2940	Pasajeros (1344+1596)
Equipamiento tecnológico	Unidades con GPS	100%	De la flota
Equipamiento tecnológico	Unidades con contador de pasajeros	100%	De la flota

Nota. Adaptado de base de datos de TRURAZ

5.3.8 Parque automotor

El año de fabricación de las unidades como se puede observar en la tabla 4, revela una flota mayoritariamente envejecida y heterogénea. Predominan los vehículos fabricados en 2007 y 2004, que en conjunto representan más del 30 % del total (GAD Municipal del Cantón Azogues, 2025).

Tabla 4

Parque automotor de TRURAZ

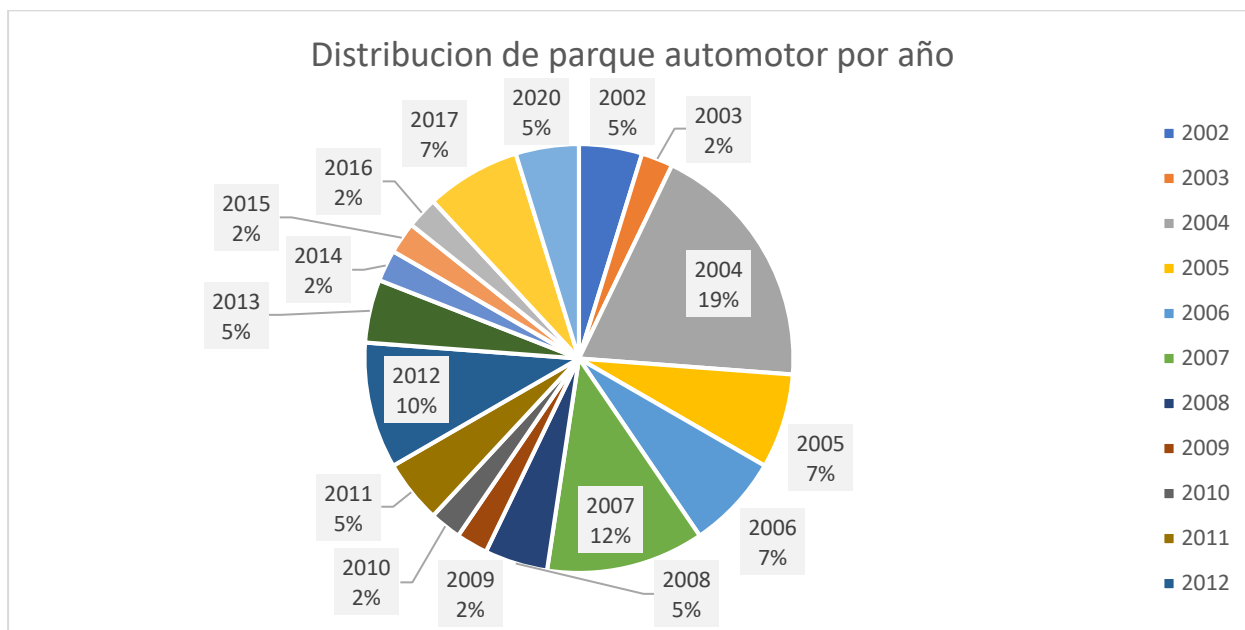
No	Año	Marca
1	2017	Hino
2	2014	Hino
3	2003	Hino
4	2002	Hino
5	2012	Hino
6	2009	Hino
7	2015	Hino
8	2006	Hino

9	2004	CHEVROLET
10	2011	Hino
11	2012	Hino
12	2004	CHEVROLET
13	2016	Hino
14	2017	Hino
15	2013	Hino
16	2012	Hino
17	2007	Hino
18	2007	Hino
19	2007	Hino
20	2004	Hino
21	2004	CHEVROLET
22	2007	Hino
23	2008	CHEVROLET
24	2005	Hino
25	2005	Hino
26	2020	Hino
27	2013	Hino
28	2011	Hino
29	2010	Hino
30	2008	Hino
31	2004	CHEVROLET

32	2005	Hino
33	2004	Hino
34	2006	Hino
35	2004	CHEVROLET
36	2006	CHEVROLET
37	2020	CHEVROLET
38	2017	Hino
39	2002	Hino
40	2007	CHEVROLET
41	2004	Hino
42	2012	CHEVROLET

Fuente. Base de datos TRURAZ

La flota está compuesta por vehículos de 17 años de fabricación distintos y más del 57 % de los buses fueron fabricados antes de 2010, de modo que una parte importante supera los 15 años de antigüedad como se puede observar en la Figura 4, con efectos potenciales sobre la confiabilidad mecánica, los costos operativos y también siendo afectado el usuario del servicio (GAD Municipal del Cantón Azogues, 2025).

Figura 4*Distribución del parque automotor por porcentaje*

Fuente. Base de datos TRURAZ

5.4 Métodos de recolección de información de campo

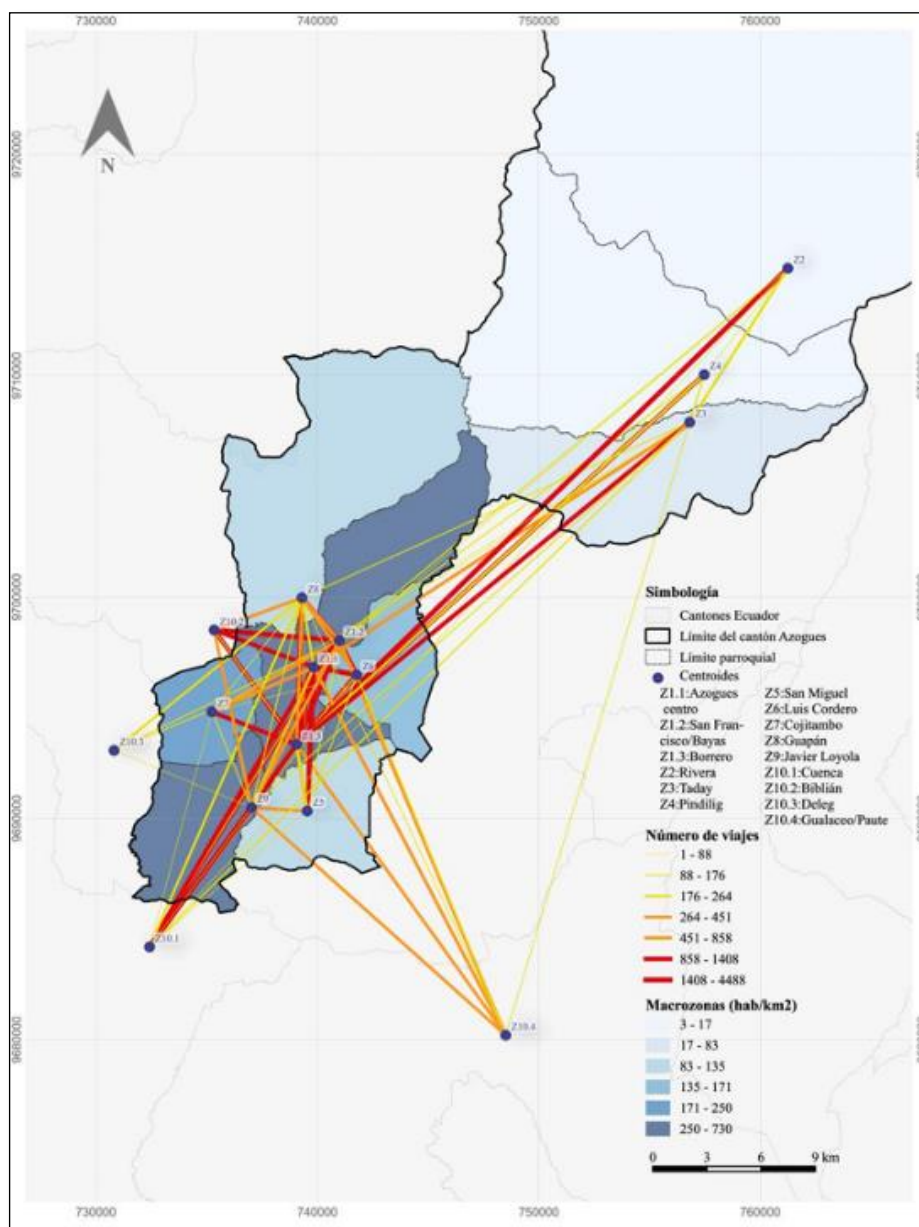
5.4.1 Encuestas Origen–Destino

En esta investigación se utiliza la encuesta Origen–Destino (O–D) reportada en el PMS-Azogues como fuente secundaria oficial para caracterizar patrones espaciales básicos de la movilidad cantonal. La O–D no se restringe al sector urbano, lo que permite capturar desplazamientos intraurbanos, urbano–rurales e interzonales que inciden en el funcionamiento del transporte urbano, especialmente en cantones donde el centro urbano actúa como nodo de atracción de servicios y empleo (GAD Municipal del Cantón Azogues, 2025).

El PMS-Azogues estructura el levantamiento mediante una zonificación de 15 zonas O-D (urbanas, rurales y externas) y reporta la distribución de encuestas por zona, como se muestra en la Figura 5. En términos de cobertura muestral.

Figura 5

Líneas de deseo de encuestas O-D



Nota. GAD Municipal del Cantón Azogues (2025, p. 118).

5.4.2 Encuestas de ascenso – descenso y conteo automático

Los estudios de ascenso y descenso de pasajeros se aplican con el objetivo de analizar el comportamiento operativo del transporte público urbano del cantón Azogues, identificando la cantidad de usuarios que suben y bajan de las unidades a lo largo de los recorridos, así como la variación espacial y temporal de la demanda. Esta metodología permite evaluar la carga de pasajeros por tramo, detectar los puntos de máxima ocupación y analizar la regularidad del servicio en distintos periodos del día.

El levantamiento de información se realiza mediante dos mecanismos complementarios. En primer lugar, se efectuaron registros manuales de ascensos y descensos mediante observación directa a bordo de las unidades, anotando el número de pasajeros que ingresan y descienden en cada parada, así como el abordo acumulado por tramo. Los resultados de estos levantamientos se presentan en las Tablas 5, 6 y 7, correspondientes a las líneas 5, 6 y 7, respectivamente, donde se detalla para cada parada el número de ascensos, descensos y pasajeros a bordo. Estas tablas permiten identificar la sección de máxima demanda de cada línea y analizar la evolución de la carga a lo largo del recorrido.

Tabla 5

Encuesta Ascenso descenso / unidad, línea 5

ID PARADA	ASCENSO	DESCENSO	ABORDO
PARADA 1	4	0	4
PARADA 2	1	0	5
PARADA 3	14	0	19
PARADA 4	6	0	25

PARADA 5	0	1	24
PARADA 6	0	1	23
PARADA 7	0	2	21
PARADA 8	0	2	19
PARADA 9	0	1	18
PARADA 10	0	3	15
PARADA 11	0	1	14
PARADA 12	0	2	12
PARADA 13	0	4	8
PARADA 14	0	3	5
PARADA 15	0	3	2
PARADA 16	0	2	0

Tabla 6

Encuesta Ascenso descenso / unidad, línea 6

ID PARADA	ASCENSO	DESCENSO	ABORDO
PARADA 1	2	0	2
PARADA 2	3	0	5
PARADA 3	6	0	11
PARADA 4	0	0	11
PARADA 5	12	6	17
PARADA 6	0	0	17
PARADA 7	8	4	21
PARADA 8	10	12	19
PARADA 9	3	6	16
PARADA 10	6	9	13
PARADA 11	0	0	13
PARADA 12	0	1	12
PARADA 13	9	0	21

PARADA 14	2	2	21
PARADA 15	1	9	13
PARADA 16	1	3	11
PARADA 17	0	0	11
PARADA 18	0	3	8
PARADA 19	0	8	0

Tabla 7

Encuesta Ascenso descenso / unidad, línea 7

ID PARADA	ASCENSO	DESCENSO	ABORDO
PARADA 1	22	0	22
PARADA 2	1	0	23
PARADA 3	1	0	24
PARADA 4	3	12	15
PARADA 5	0	9	6
PARADA 6	3	0	9
PARADA 7	0	0	9
PARADA 8	1	6	4
PARADA 9	3	0	7
PARADA 10	1	0	8
PARADA 11	0	4	4
PARADA 12	0	0	4
PARADA 13	0	3	1
PARADA 14	0	1	0

De manera complementaria, se utiliza el sistema de conteo automático de pasajeros, instalado en cada unidad de transporte, el cual permite obtener información continua y objetiva del número de ascensos por viaje. A partir de estos registros, se construyen las Tablas 8, 9 y 10, que

presentan el conteo automático de ascensos por unidad y por perímetro de operación para las líneas 5, 6 y 7. Este sistema permite reducir posibles errores asociados a la observación manual y contar con una base de datos más amplia y representativa de la demanda real del servicio.

Tabla 8

Ascensos por perímetro Línea 5

PERIMETRO	ID PARADA	ASCENSO
ZHA-CEMENT	1	15
CEMENT-5ESQUIN	2	5
	3	0
5 ESQ-TABA	4	0
VUELTA	1	2
	2	
TABAC-TERMINA TRS	3	
	4	
	5	3
TERM-COLI	6	
	7	
	8	1
COLI-CEMENT	9	
	10	
	11	
CEMENT-ZHAPA	12	0
	13	
	14	
	15	
	TOTAL	26

Fuente. Adaptado de base de datos de TRURAZ

Tabla 9*Ascensos por perímetro Línea 6*

PERIMETRO	ID PARADA	ASCENSO
BAYAS- SANFRANCISCO	1	5
	2	8
	3	
	4	
SANFRANCISCO - BOSQUEAZUL	5	1
	6	14
	7	
	8	
BOSQUEAZUL- TERMINAL TRANSFERENCIA	9	2
	10	12
	11	
	12	
TERMINAL TRANSFERENCIA - COLISEO	13	3
	14	6
	15	
	16	
COLISESO-TERMINAL TERRESTRE	17	7
	18	6
	19	
	20	
	TOTAL	64

Fuente. Adaptado

de base de datos

de TRURAZ

Tabla 10*Ascensos por perímetro Línea 7*

PERIMETRO	ID PARADA	ASCENSO
CHAVAY-COLISEO	1	7
	2	
	3	
	4	

	5	
	6	
	7	8
	8	
COLI-TERMINAL	9	
TRANSFERENCIA	10	
	11	
	12	
	TOTAL	15

Fuente. Adaptado de base de datos de TRURAZ

La información obtenida es procesada y analizada para determinar la demanda por unidad, por recorrido y por franja horaria, identificando patrones de carga, variaciones diarias y diferencias entre rutas. Estos resultados fueron utilizados para validar y complementar los estudios manuales de ascenso y descenso, contrastando la coherencia entre el abordaje acumulado observado en las paradas y el volumen total de pasajeros registrado por el sistema automático.

5.4.3 Diagramas de carga por línea

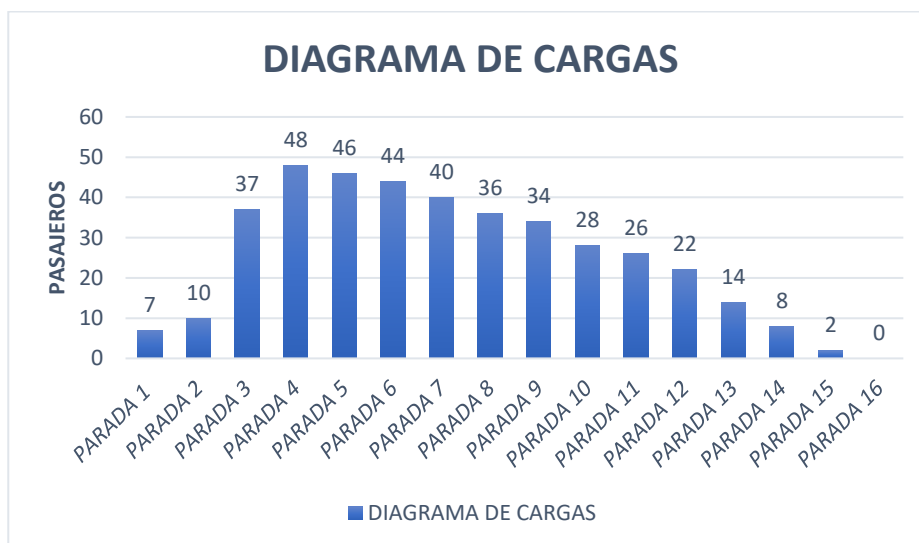
El diagrama de cargas de la línea 5 presentado en la Figura 6, muestra la variación del número de pasajeros transportados a lo largo del recorrido, desde la Parada 1 hasta la Parada 16. Se observa un incremento progresivo de la demanda en los primeros tramos del recorrido, alcanzando su máximo entre las Paradas 4 y 6, donde se concentran los mayores volúmenes de pasajeros. Esta zona corresponde a sectores de alta atracción de viajes, posiblemente asociados a actividades comerciales, educativas o de conexión con otros modos de transporte.

A partir de la Parada 7, la carga comienza a disminuir de manera gradual, evidenciando un proceso continuo de descenso de pasajeros hasta las paradas finales. Este comportamiento es típico de líneas radiales o troncales, donde el flujo principal se concentra en el tramo medio del recorrido.

En las últimas paradas se registran valores bajos de ocupación, lo que indica una menor presión operativa en estos sectores y posibles oportunidades de optimización de frecuencias o extensión del servicio.

Figura 6

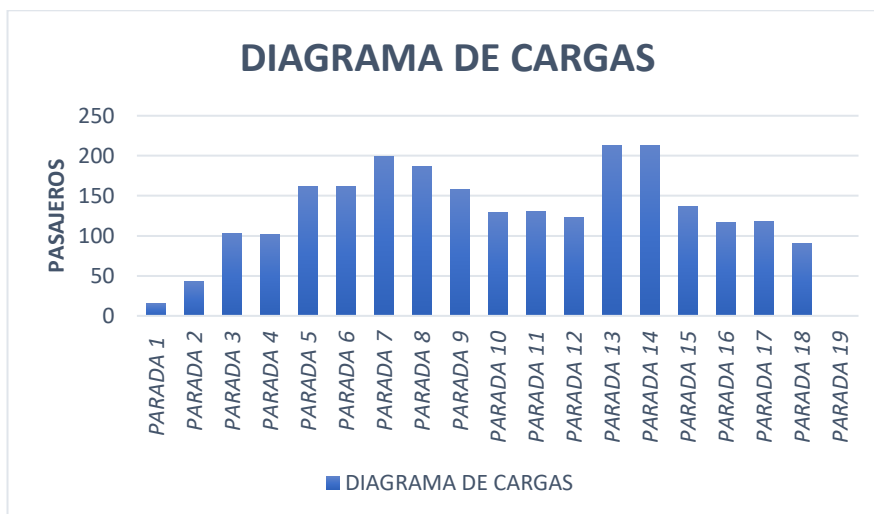
Diagrama de cargas por línea y paradas Línea 5



En la Figura 7, se muestra el diagrama de cargas de la línea 6 presentando una demanda considerablemente más elevada en comparación con los otros dos, con valores que superan los 200 pasajeros en los puntos de mayor carga, lo que evidencia que esta línea corresponde al corredor de mayor demanda del sistema analizado.

Figura 7

Diagrama de cargas por línea y paradas Línea 6



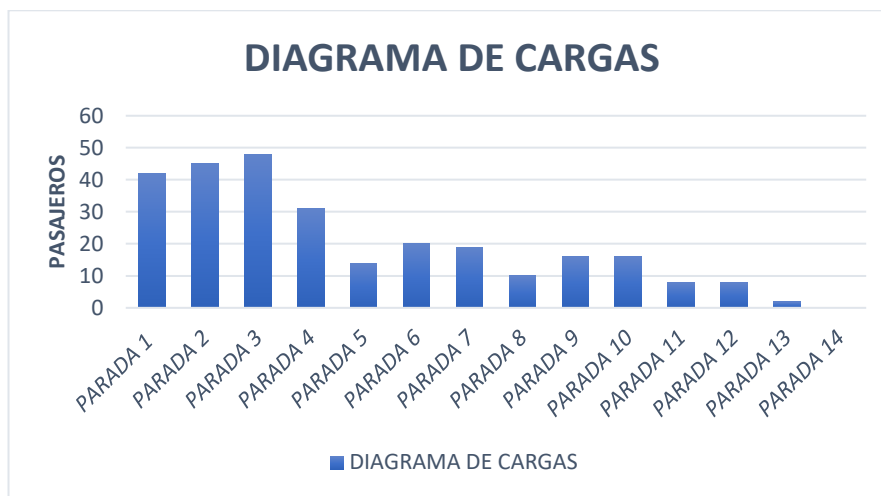
La carga se incrementa de forma sostenida desde las primeras paradas, alcanzando un primer pico entre las Paradas 7 y 9, seguido de una ligera reducción. Posteriormente, se registra un segundo pico de carga aún más alto en las Paradas 13 y 14, lo cual indica la existencia de dos zonas críticas de acumulación de pasajeros a lo largo del recorrido.

Este comportamiento refleja una línea con alta presión operativa, donde la capacidad de los vehículos y la frecuencia de paso son factores determinantes para evitar sobreocupación. La persistencia de cargas elevadas incluso en paradas posteriores sugiere que esta línea requiere la planificación de frecuencias por hora pico y hora valle, así como una planificación cuidadosa del programa de servicios para garantizar niveles adecuados de confort y regularidad.

El diagrama de cargas de la línea 7 presentado en la Figura 8, evidencia un patrón distinto, caracterizado por una concentración temprana de la demanda. Los mayores valores de carga se registran en las Paradas 1, 2 y 3, donde se alcanza el máximo de pasajeros transportados. Esto indica que la mayoría de los usuarios aborda el servicio en los primeros tramos del recorrido.

Figura 8

Diagrama de cargas por línea y paradas Línea 7



A partir de la Parada 4, se observa una disminución marcada de la carga, con valores cada vez menores hacia las paradas finales. Este comportamiento es típico de líneas de menor extensión o con función alimentadora, donde el recorrido se vacía progresivamente conforme los pasajeros descienden en puntos intermedios.

Las bajas cargas registradas en las últimas paradas sugieren que la línea opera con niveles reducidos de ocupación en gran parte de su trayecto, lo cual abre la posibilidad de ajustar frecuencias o analizar la redistribución de la ruta sin afectar la calidad del servicio.

5.4.4 Distancia entre paradas

La distancia entre paradas describe el tramo promedio que un usuario debe recorrer a pie para acceder a una parada y, por tanto, condiciona directamente la accesibilidad del sistema. Estas distancias entre paradas en Azogues se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11*Distancia entre paradas*

Líneas	Nro. Paradas	Distancia promedio entre paradas (m)
5	25	729,58
6	29	461,79
7	18	690,00

Fuente. Adaptado de base de datos de TRURAZ

5.4.5 Kilómetros compartidos entre líneas urbanas

Los kilómetros compartidos describen la longitud de tramos de ruta que son utilizados por más de una línea, es decir, segmentos donde existe superposición operacional (Tabla 12).

En el PMS-Azogues esta variable se reporta para el sistema urbano como un insumo que permite reconocer solapamientos entre líneas y, por tanto, posibles zonas de redundancia o concentración de oferta sobre los mismos corredores.

Tabla 12*Kilómetros compartidos entre líneas de transporte*

Km										
compartidos	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	(Km)
entre líneas										
L1	-	1,32	0,97	1,61	4,05	0,99	0,30	0,32	1,12	10,68
L2	1,32	-	2,91	6,08	1,97	4,18	1,43	2,98	1,04	20,59

L3	0,97	2,91	-	3,15	1,77	3,32	3,35	4,02	4,72	23,24
L4	1,61	6,08	3,15	-	1,97	2,75	1,77	2,66	0,87	19,25
L5	4,05	1,97	1,77	1,97	-	1,32	1,24	1,19	1,24	10,70
L6	0,99	4,18	3,32	2,75	1,32	-	4,23	4,96	4,98	25,74
L7	0,30	1,43	3,35	1,77	1,24	4,23	-	5,26	5,15	22,43
L8	0,32	2,98	4,02	2,66	1,19	4,96	5,26	-	4,98	26,05
L9	1,12	1,04	4,72	0,87	1,24	4,98	5,15	4,98	-	22,98

Fuente. Adaptado de base de datos de TRURAZ

5.5 Mapeo y levantamiento de rutas

5.5.1 Georreferenciación de recorridos y paradas

Se realiza el mapeo de las líneas de transporte con la aplicación Geo Tracker, usando el recorrido en las unidades de TRURAZ en operación regular para registrar el trazado real y completo de 3 líneas. El uso de esta herramienta permite georreferenciar con precisión la secuencia de vías recorridas y la ubicación de las paradas generando un conjunto de trazas GPS continuo por línea y sentido.

Paralelamente, para levantar información de ascensos y descensos de pasajeros por parada, lo que permite asociar a cada tramo de ruta no solo su geometría, sino también su carga de demanda y la frecuencia efectiva observada en terreno. Esta última información complementa la data generada por el contador automático de ascensos existentes en cada unidad. La integración de

estos registros espaciales constituye la base empírica en la cual se calculan posteriormente tiempos de recorrido, velocidades comerciales y factores de ocupación por línea.

5.5.2 Georreferenciación de recorridos y paradas

A partir de las trazas georreferenciadas y de los tiempos de viaje registrados, se procede a la caracterización geométrica y operativa de cada línea urbana. Para cada una de las tres rutas se estimaron: longitud del recorrido en cada sentido, tiempo promedio de viaje de extremo a extremo y número de buses asignados por día de la semana. Esta caracterización detallada permite vincular directamente la geometría de la red con la oferta real de servicio y con los patrones de demanda levantados en campo, como se muestra en la Figura 9A, 9B y 9C.

Figura 9A

Caracterización de línea 5

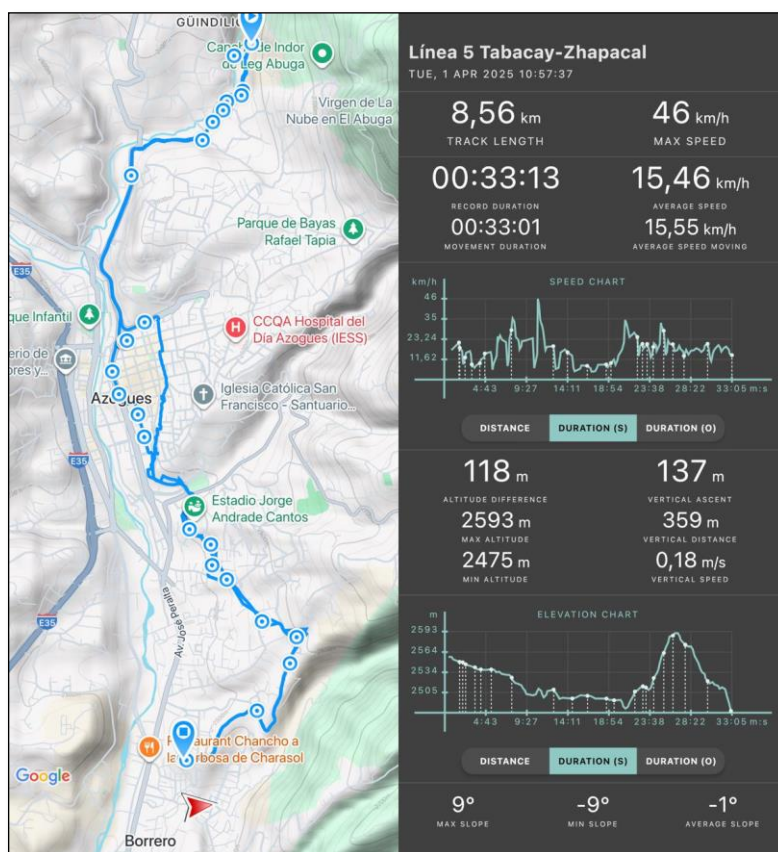


Figura 10

Caracterización de línea 6

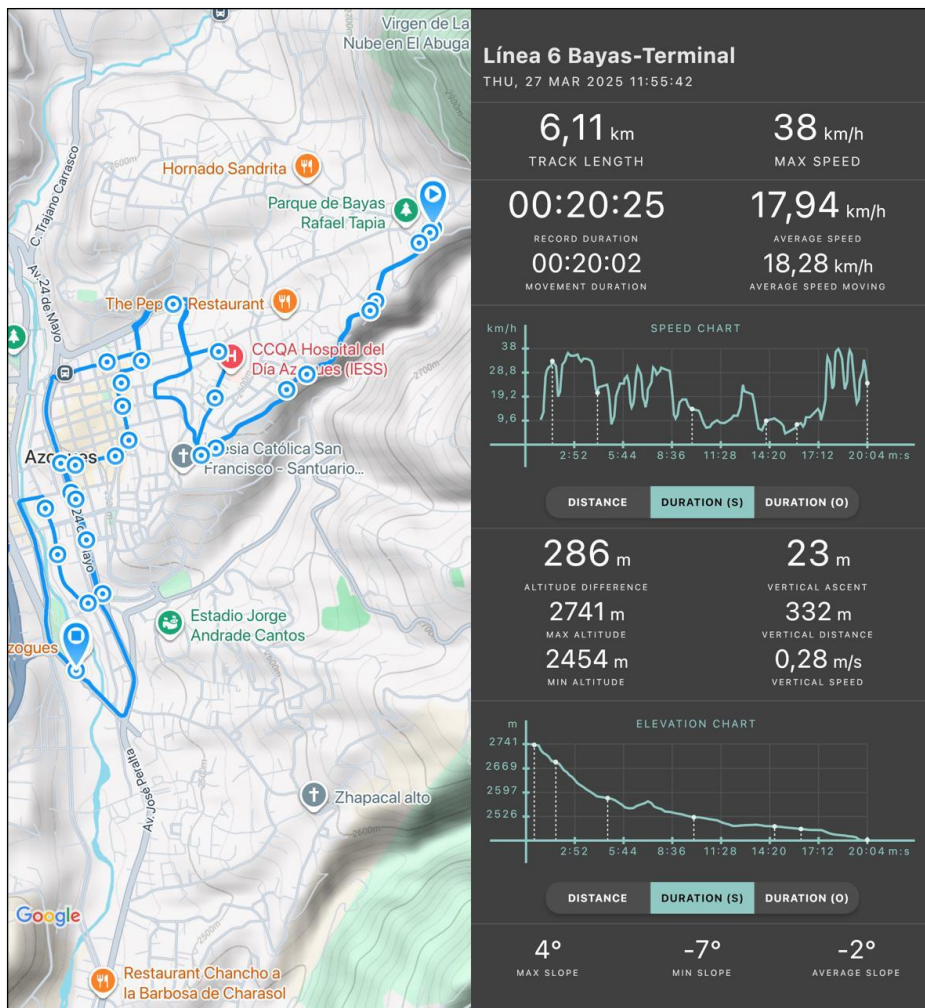
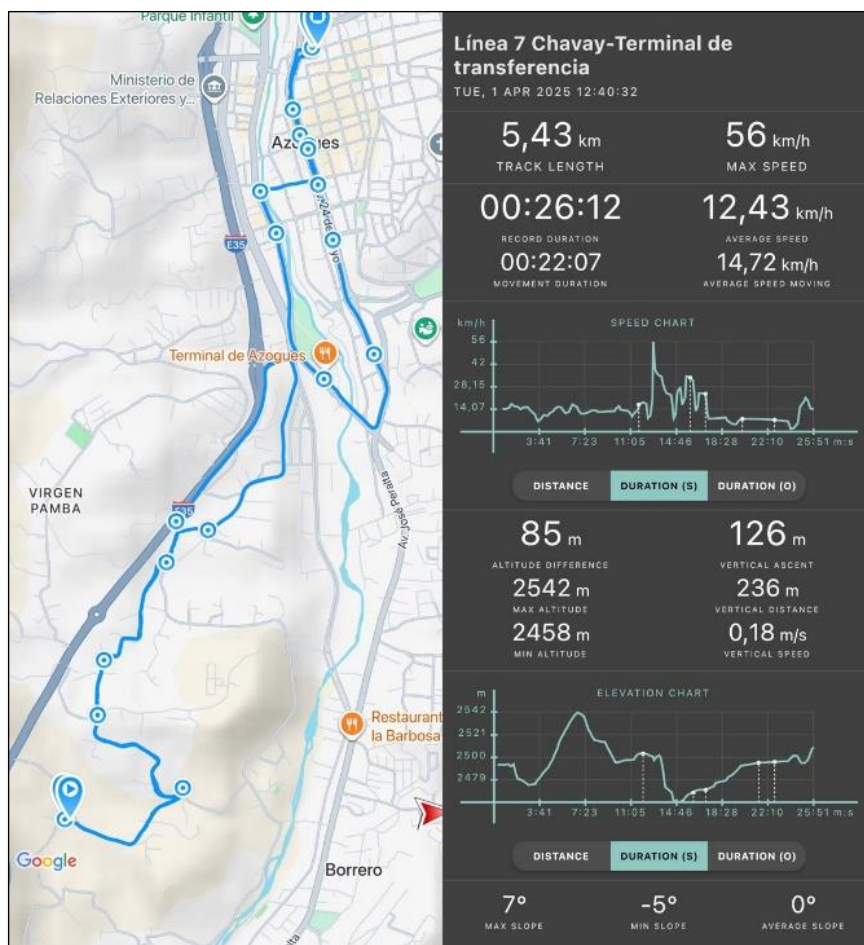
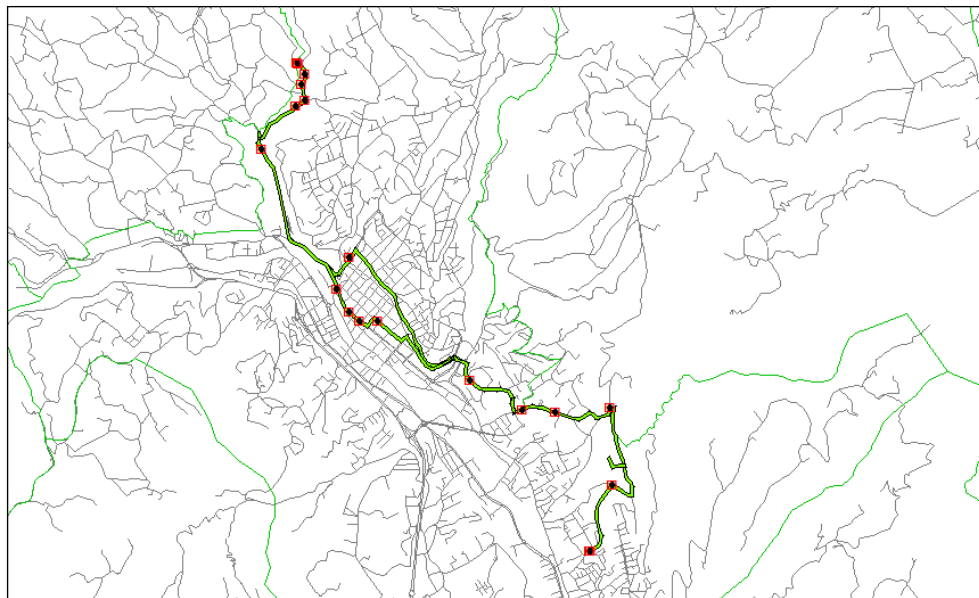


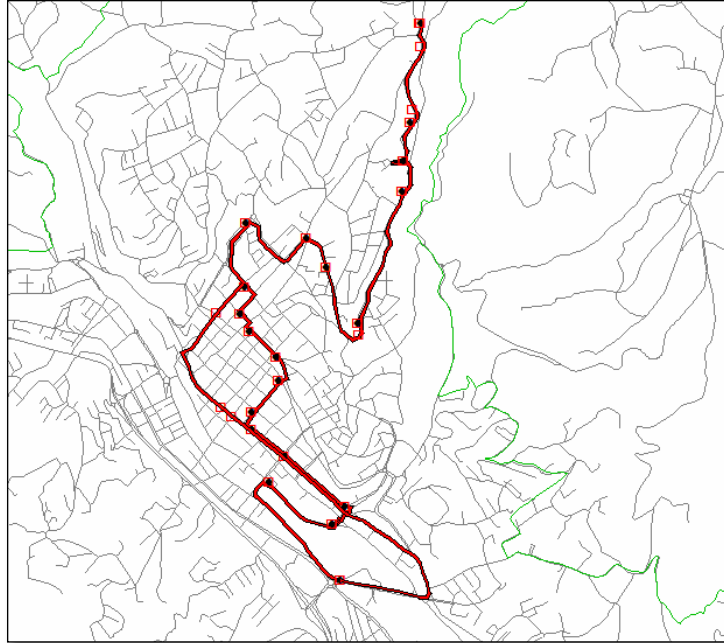
Figura 11*Caracterización de línea 7***5.6 Simulación**

La simulación de la Línea 5, representada en la Figura 10, evidencia una demanda baja a lo largo de la mayor parte del recorrido, lo cual es coherente con los resultados obtenidos en los diagramas de cargas y los conteos de ascenso y descenso. A pesar de contar con un trazado extenso que conecta sectores periféricos con el área urbana central, la captación de pasajeros es limitada, especialmente en los tramos iniciales y finales de la ruta.

Figura 12*Captura del modelo de simulación– Línea 5*

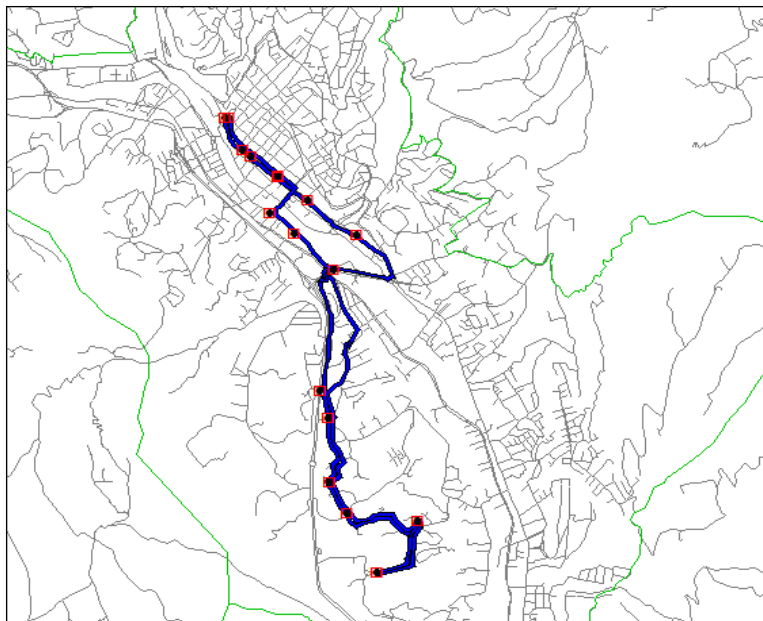
La mayor concentración de usuarios se presenta únicamente en algunos sectores puntuales cercanos al centro urbano; sin embargo, estos incrementos no son suficientes para generar una carga sostenida. La simulación muestra largos tramos con ocupación reducida, lo que se traduce en una baja presión operativa y en un uso poco eficiente de las unidades asignadas. Este comportamiento confirma que la Línea 5 requiere un replanteamiento de frecuencias y número de unidades, orientado a mejorar la eficiencia sin afectar la cobertura del servicio.

La Figura 11, corresponde a la línea 6, ruta de mayor demanda del sistema. La simulación evidencia un recorrido que atraviesa zonas de alta densidad poblacional y polos de atracción de viajes, lo que genera una acumulación significativa y sostenida de pasajeros a lo largo del trazado.

Figura 131*Captura del modelo de simulación– Línea 6*

Se identifican varios tramos críticos con niveles elevados de carga, especialmente en el eje urbano central, donde la ocupación se mantiene alta durante gran parte del recorrido. Este comportamiento justifica la operación con un mayor número de unidades y frecuencias más cortas, siendo la línea que concentra la mayor presión operativa y la principal referencia para el dimensionamiento de flota y evaluación de costos del sistema.

La simulación de la Línea 7, representada en la Figura 14 indica una demanda baja, incluso inferior a la de la Línea 5, concentrada principalmente en los primeros tramos del recorrido. A partir de las paradas intermedias, la carga disminuye de manera marcada, registrándose niveles mínimos de ocupación en los tramos finales.

Figura 142*Captura del modelo de simulación– Línea 7*

El trazado corto y la limitada captación de pasajeros evidencian que esta línea cumple una función secundaria dentro del sistema, con escasa presión operativa. La simulación muestra que, bajo las condiciones actuales, la Línea 7 opera con subutilización de la capacidad disponible, lo que abre un margen importante para la optimización del servicio, ya sea mediante reducción de unidades, ajustes de frecuencia o integración operativa con otras líneas.

5.7 Índice de Pasajeros por Kilómetro – Escenario actual

El cálculo del Índice de Pasajeros por Kilómetro (IPK) en el escenario actual se realiza a partir de los pasajeros diarios estimados y de los kilómetros diarios recorridos por cada línea, obtenidos del análisis de la extensión de los recorridos, las horas de operación y el número de unidades en servicio. Los kilómetros diarios considerados para cada línea se presentan en la Tabla 12, correspondiente a la producción diaria de vehículo-kilómetros del sistema en el escenario actual.

Para la Línea 5, se estima un total de 323 pasajeros diarios y una producción de 409,44 km/día, resultando un IPK de 0,79 pasajeros/km. Este valor refleja una baja productividad operativa, coherente con los resultados del estudio de ascensos y descensos y con la presencia de recorridos con baja ocupación a lo largo de gran parte del trazado.

En el caso de la Línea 6, se registran aproximadamente 5.242 pasajeros diarios y una producción de 1.588,60 km/día, lo que arroja un IPK de 3,3 pasajeros/km. Este resultado confirma el carácter estructurante de la línea y su elevada demanda relativa dentro del sistema, asociada a la concentración de viajes en la sección central del recorrido. Para la Línea 7, el cálculo considera 430 pasajeros diarios y 238,92 km/día, obteniéndose un IPK de 1,8 pasajeros/km. Este valor evidencia un desempeño intermedio, sin niveles críticos de saturación.

El índice de pasajeros por kilómetro (IPK) se calcula utilizando la Ecuación 3, la cual relaciona el número de pasajeros transportados con los kilómetros recorridos por el servicio.

$$IPK = \frac{\text{Pasajeros transportados en un periodo}}{\text{Kilómetros recorridos en el mismo periodo}}$$

Tabla 13

IPK Escenario Actual

Línea	Pasajeros/día	Km/día	IPK (pasajeros/km)
5	323	409,44	0,79
6	5.242	1.588,60	3,3
7	430	238,92	1,8

6 CAPITULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTA DE MEJORA

6.2 Optimización del programa de servicios de transporte

En la Tabla 14 se sintetizan los principales problemas operativos identificados en el sistema de transporte urbano, las soluciones propuestas en el marco de la optimización del programa de servicios y los indicadores definidos para el seguimiento y evaluación de las medidas planteadas. Esta matriz permite vincular de manera directa los resultados del análisis de demanda y de los factores operativos con las estrategias de reorganización del servicio, facilitando la evaluación objetiva de su impacto sobre la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad del sistema.

Tabla 14

Problemas identificados, soluciones propuestas e indicadores de seguimiento

Problema identificado	Solución propuesta	Indicador de seguimiento
Traslape entre rutas	Integración parcial de rutas con alto nivel de kilómetros compartidos (L5 con L1 y L7 con L6)	Km recorridos por ruta de transporte
Baja ocupación en líneas de baja demanda (L5 y L7)	Reorganización de la oferta y redistribución de flota	Nivel de ocupación promedio (%)
Sobreoferta relativa en determinados corredores	Reducción de recorridos redundantes y racionalización del programa de servicios	Índice de pasajeros por kilómetro (IPK)
Saturación en la sección de máxima demanda (L6)	Implementación de servicios reforzados y variantes operativas focalizadas en horas pico	Nivel de ocupación en sección crítica (%)
Ineficiente utilización de la flota	Asignación diferenciada de unidades según rol funcional de cada línea	Vehículo-kilómetros improductivos
Baja velocidad comercial	Optimización del sistema de paradas y reducción de detenciones innecesarias	Velocidad comercial (km/h)
Tiempos de viaje elevados	Reorganización operativa del recorrido y mejora de la regularidad del servicio	Tiempo promedio de viaje (h)

Altos costos operativos por pasajero transportado	Optimización de la producción de kilómetros y mejora del uso de la flota	Costo operativo por km (USD/km)
Ineficiencia en la programación del servicio	Diferenciación de la operación entre horas pico y valle	Regularidad del intervalo de despacho
Subutilización de capacidad	Ajuste de frecuencias en función del dimensionamiento por sección de máxima demanda	Relación demanda/capacidad (%)

6.3 Frecuencias de operación obtenidas mediante la simulación del escenario optimizado

La Tabla 15 presenta las frecuencias optimizadas obtenidas a partir del modelo de simulación, en las cuales se compara la frecuencia actual de operación con la frecuencia resultante del escenario optimizado. El uso del software permite evaluar de manera integrada el comportamiento real de la demanda, capacidad efectiva de las unidades y eficiencia operativa de cada línea, considerando las condiciones dinámicas de operación y no únicamente un criterio estático de unidades por hora.

De esta forma, las frecuencias optimizadas responden al equilibrio entre oferta y demanda alcanzado en la simulación, con el objetivo de optimizar el uso de la flota sin afectar la accesibilidad ni la estabilidad del servicio.

Tabla 15

Frecuencias optimizadas

LINEA	FRECUENCIA ACTUAL	FRECUENCIA OPTIMIZADA
5	30 min	60 min (EXT L1)
6	6 min	10 min hora pico 13 min hora valle

7	35-40 min	60 min (EXT L6)
---	-----------	-----------------

En el caso de la Línea 5, cuya frecuencia actual es de 30 minutos, los resultados del software evidencian una demanda baja y una subutilización sostenida de la capacidad disponible a lo largo del recorrido. El escenario optimizado muestra que la operación con una frecuencia de 60 minutos permite atender la demanda observada sin generar saturación ni pérdidas de cobertura.

Si bien el modelo identifica que la carga podría ser absorbida con una sola unidad, esta alternativa no se adopta de manera directa debido a consideraciones sociales y operativas. Por ello, el escenario optimizado incorpora la integración de la Línea 5 con la Línea 1, lo que garantiza continuidad operativa, mejora la conectividad y evita la vulnerabilidad asociada a la operación con una única unidad, manteniendo una frecuencia compatible con la demanda real.

Para la Línea 6, que actualmente opera con una frecuencia de 6 minutos, el software confirma su condición de línea estructurante y de mayor demanda del sistema. En consecuencia, el escenario optimizado no plantea una reducción uniforme de la oferta, sino un ajuste diferenciado de la frecuencia según el periodo de demanda.

Los resultados de la simulación indican que una frecuencia de 10 minutos en horas pico permite absorber adecuadamente los mayores volúmenes de pasajeros, mientras que una frecuencia de 13 minutos en horas valle mantiene niveles aceptables de ocupación y reduce la sobreoferta observada en el escenario base. Esta estrategia optimiza la eficiencia operativa y reduce costos en periodos de menor demanda, sin afectar la calidad ni la regularidad del servicio.

En cuanto a la Línea 7, cuya frecuencia actual se sitúa entre 35 y 40 minutos, el escenario optimizado obtenido por el software refleja una demanda reducida y estable, que puede ser atendida con una frecuencia de 60 minutos sin generar problemas de saturación. Al igual que en

la Línea 5, el modelo identifica que la carga podría ser absorbida con una única unidad; sin embargo, esta alternativa se descarta por razones de estabilidad operativa y aceptabilidad social.

En su lugar, el escenario optimizado incorpora la integración de la Línea 7 con la Línea 6, permitiendo vincularla a un corredor de mayor demanda y garantizar un nivel de servicio continuo, aun con una frecuencia mayor, coherente con los patrones reales de demanda identificados en la simulación.

6.4 Propuesta de optimización del sistema de paradas

La propuesta de optimización presentada en la Tabla 16, ajusta el número de paradas y la distancia promedio entre ellas con el propósito de incrementar la velocidad comercial (km/h), entendida como la relación entre la distancia recorrida y el tiempo total de viaje, incluyendo detenciones por ascenso/descenso y penalidades por frenado–aceleración.

Tabla 16

Distancia entre paradas optimizadas

Líneas	Número de paradas	Distancia promedio entre paradas (m)
5	15	800
6	18	500
7	13	700

En sistemas urbanos, el número de paradas influye directamente en el tiempo total del ciclo, debido a que cada parada añade: tiempo de detención y tiempo perdido por desaceleración y aceleración. Por ello, reducir paradas (o aumentar el espaciamiento) se traduce en una mejora de la velocidad comercial, siempre que se mantenga un nivel aceptable de accesibilidad.

En la Línea 5 se adopta un espaciamiento promedio de 800 m, reduciendo el número de paradas, lo cual es coherente con su demanda baja y con la necesidad de disminuir detenciones innecesarias. Al haber menos paradas, se reduce el tiempo total dedicado a detención y a maniobras de desaceleración/aceleración, permitiendo aumentar la velocidad comercial y mejorar la eficiencia del recorrido (menos tiempo por vuelta y menor costo por km operativo).

Para la Línea 6 se mantiene un espaciamiento promedio de 500 m, debido a que es el corredor de mayor demanda. En este caso, el criterio no es maximizar la velocidad a costa de accesibilidad, sino lograr un equilibrio técnico: 500 m permite conservar cobertura peatonal razonable y mantener una captación eficiente de pasajeros sin incrementar excesivamente las detenciones. En términos de velocidad comercial, la mejora proviene más del ajuste operativo (frecuencia y regularidad) que de eliminar paradas de forma agresiva.

En la Línea 7 se propone un espaciamiento promedio de 700 m con 13 paradas, lo cual reduce paradas respecto a un esquema más denso. Considerando que esta línea también presenta demanda baja, la reducción de detenciones mejora el tiempo de recorrido y contribuye a elevar la velocidad comercial. Este ajuste permite que el servicio sea más ágil y reduce tiempos muertos, especialmente en tramos donde los ascensos/descensos son mínimos.

6.5 Análisis comparativo de escenarios simulados

El análisis comparativo entre el escenario base y el escenario optimizado permite evaluar de manera integral el impacto de las medidas propuestas sobre el desempeño del sistema de transporte urbano del cantón Azogues. Mientras que el escenario base representa las condiciones actuales de operación, caracterizadas por una distribución heterogénea de la demanda, duplicidad de recorridos y desequilibrios entre oferta y demanda, el escenario optimizado incorpora

estrategias de gestión operativa orientadas a mejorar la eficiencia del sistema, sin comprometer la cobertura ni la calidad del servicio.

En el escenario base, la simulación evidencia comportamientos diferenciados entre las líneas analizadas. La Línea 6 presenta elevados niveles de ocupación en la sección de máxima demanda, alcanzando valores cercanos o superiores al umbral operativo del 70 % de la capacidad del vehículo, lo que genera episodios de saturación, mayores tiempos de ascenso y descenso y una reducción de la velocidad comercial.

En contraste, la Línea 5 muestra bajos niveles de ocupación en gran parte de su recorrido, con un uso ineficiente de la flota y un índice de pasajeros por kilómetro reducido, asociado a una alta superposición de recorrido con otras líneas del sistema. Por su parte, la Línea 7 registra niveles de demanda moderados, pero presenta ineficiencias operativas vinculadas al elevado número de paradas y a la duplicidad de servicios en corredores compartidos.

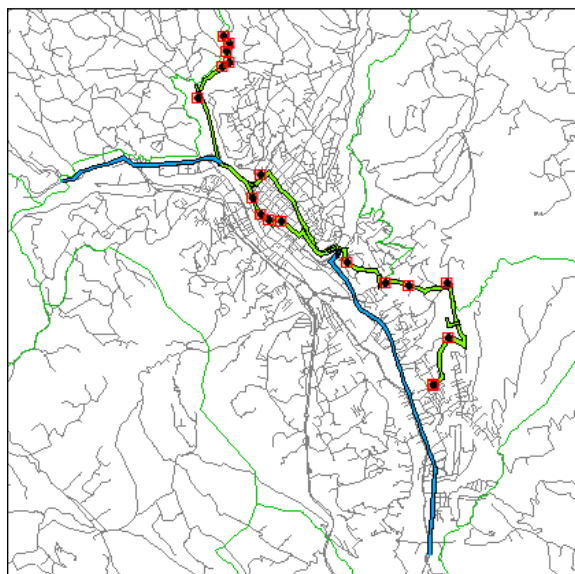
El escenario optimizado, en cambio, incorpora medidas diferenciadas según el rol funcional de cada línea dentro de la red. Para la Línea 6, la simulación considera la implementación de servicios reforzados y variantes operativas focalizadas en el tramo de máxima demanda durante las horas pico, lo que permite absorber los picos de carga sin incrementar de manera generalizada la flota en todo el recorrido.

Como resultado, se observa una disminución de los niveles máximos de ocupación, una mejora en la regularidad de los intervalos de despacho y una reducción del tiempo de espera promedio de los usuarios. Asimismo, la redistribución de la oferta contribuye a mantener una velocidad comercial más estable y a reducir los episodios de saturación interna de las unidades.

En el caso de la Línea 5, el escenario optimizado contempla su integración parcial con líneas estructurantes del sistema, particularmente con la Línea 1, aprovechando el alto nivel de kilómetros compartidos (Figura 13).

Figura 153

Propuesta de Integración de rutas L1-L5

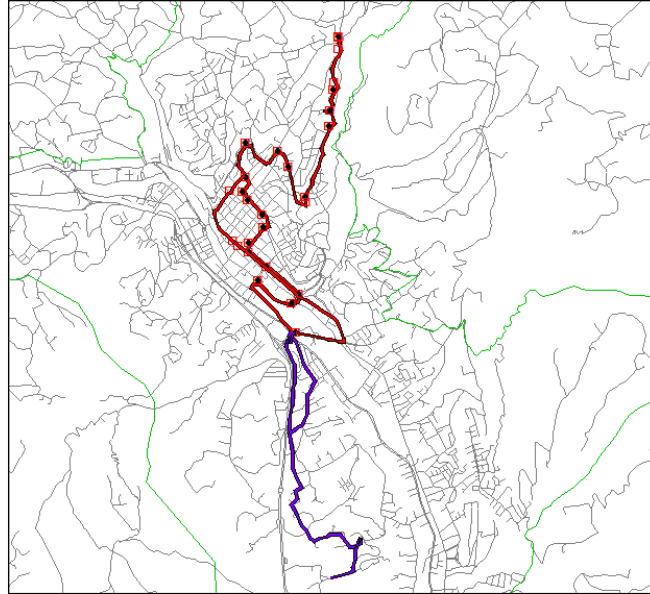


La simulación muestra que esta integración permite reducir la duplicidad de servicios y disminuir la cantidad de kilómetros recorridos con baja ocupación. En consecuencia, se registra una mejora significativa en la utilización de la flota, un incremento del índice de pasajeros por kilómetro y una reducción de los costos operativos por pasajero transportado, manteniendo la cobertura territorial y el acceso al servicio.

Para la Línea 7, el escenario optimizado incorpora una reconfiguración de su rol dentro del sistema, mediante la integración parcial con líneas de mayor coincidencia de recorrido, especialmente con la Línea 6, y la reorganización del sistema de paradas (Figura 14).

Figura 164

Propuesta de Integración de rutas L6-L7



Los resultados de la simulación evidencian una reducción del número de detenciones por viaje, un aumento de la velocidad comercial y una disminución del tiempo total de recorrido. Estas mejoras contribuyen a una operación más eficiente, sin afectar negativamente la accesibilidad de los usuarios ni la estabilidad de la demanda observada.

6.5.1 Dimensionamiento de unidades requeridas

Utilizando la Ecuación 5, el número de unidades requeridas se determina como la relación entre la sección de máxima demanda y la capacidad efectiva del vehículo, definida como el 70 % de la capacidad nominal.

$$N = \frac{D_{max}}{C_{ef}}$$

$$N = \frac{D_{max}}{70 * 0.7}$$

Adicionalmente al análisis comparativo de los escenarios simulados y sus respectivas propuestas, se realiza un dimensionamiento teórico de flota presentado en la Tabla 17 a partir de la sección de máxima demanda identificada en cada línea.

Tabla 17

Comparativa de unidades requeridas vs unidades reales

Líneas	Unidades requeridas (teóricas)	Unidades reales
5	0.97 ≈ 1	2
6	5	10
7	0.97 ≈ 1	2

Para este fin, se divide la demanda máxima observada entre la capacidad efectiva de la unidad, definida como el 70 % de la capacidad total del vehículo (70 pasajeros), equivalente a 49 pasajeros por unidad. Este criterio permite estimar el número mínimo de unidades requeridas para atender la demanda en condiciones operativas aceptables.

Los resultados del dimensionamiento indican que, para la Línea 5, el valor obtenido es de 0,97 unidades, mientras que para la Línea 7 se obtiene igualmente un valor de 0,97 unidades, lo que en ambos casos equivale, desde un punto de vista teórico, a una unidad en operación. En el caso de la Línea 6, el dimensionamiento arroja un requerimiento aproximado de 5 unidades para atender la sección de máxima demanda.

No obstante, al comparar estos valores con la operación real del sistema, se observa que actualmente la Línea 5 opera con 2 unidades, la Línea 6 con 10 unidades y la Línea 7 con 2 unidades. Esta diferencia evidencia que el dimensionamiento obtenido representa un mínimo

técnico, que no puede ser aplicado de manera directa sin considerar otros factores operativos y sociales. Aspectos como la regularidad del servicio, los tiempos de espera, la confiabilidad del sistema y la aceptabilidad social de frecuencias excesivamente bajas hacen inviable operar con una sola unidad en las líneas 5 y 7, o reducir la Línea 6 al número mínimo teórico calculado.

En este sentido, los resultados del dimensionamiento no se interpretan como una propuesta de reducción directa de flota, sino como una herramienta de referencia para la optimización del sistema, que permite identificar márgenes de sobreoferta o presión operativa. Estos valores sustentan las propuestas planteadas en el escenario optimizado, orientadas a la integración parcial de líneas, la redistribución horaria de la flota y la implementación de servicios reforzados focalizados, en lugar de ajustes extremos que afectarían la calidad del servicio.

6.6 Análisis de indicadores operativos del escenario optimizado

El análisis del escenario optimizado evidencia que los ajustes operativos propuestos permiten corregir de manera diferenciada las ineficiencias identificadas en el escenario base, alineando la oferta con la demanda real y mejorando el desempeño global del sistema. En la Línea 5, caracterizada inicialmente por una demanda baja y una sobreoferta relativa, la optimización del esquema de servicio demuestra que es posible reducir la oferta sin afectar la accesibilidad mínima, siempre que se mantenga una estructura operativa estable.

El incremento del nivel de ocupación hasta el 45% confirma que la reorganización del servicio permite absorber la demanda existente con un mejor aprovechamiento de la flota, mientras que la reducción del tiempo de viaje y el aumento significativo de la velocidad comercial reflejan una operación más fluida y menos afectada por detenciones e interferencias operativas, tal como

se sintetiza en la Tabla 18. Estos resultados indican que la eficiencia en líneas de baja demanda depende más de la racionalización de la oferta que de la expansión de la flota.

Tabla 18

Indicadores operativos del escenario optimizado por línea

Líneas	Tiempo de Viaje (Horas)	Frecuencia (Horas)	Ocupación %	Velocidad Comercial km/h
5	0.63	1	45	13.59
6	0.96	0.16	49	7.19
7	0.93	0.5	43	6.77

En el caso de la Línea 6, la optimización no persigue una reducción de la oferta, sino una gestión más eficiente de la capacidad en el corredor de mayor demanda del sistema. El incremento de la ocupación hasta el 49% evidencia que el ajuste de la frecuencia, junto con la diferenciación entre horas pico y valle, permite mejorar la productividad del servicio sin generar saturación ni deteriorar la calidad.

La reducción del tiempo de viaje y la mejora moderada de la velocidad comercial, aunque limitadas por las condiciones urbanas del corredor, confirman que los beneficios de la optimización en líneas de alta demanda se manifiestan principalmente en la regularidad del servicio y en el equilibrio entre capacidad y accesibilidad, más que en incrementos sustanciales de velocidad.

Por su parte, la Línea 7 presenta una mejora consistente del desempeño operativo, aun bajo condiciones de demanda reducida. El aumento de la ocupación hasta el 43% indica que la optimización aplicada permite un uso más eficiente de la flota sin recurrir a recortes drásticos de la oferta, lo cual resulta fundamental desde una perspectiva social.

La reducción del tiempo de viaje y el incremento de la velocidad comercial sugieren que la reorganización de paradas y la eliminación de duplicidades operativas tienen un impacto directo

sobre la productividad del servicio, aun cuando la demanda no sea elevada. En conjunto, los indicadores operativos del escenario optimizado, resumidos en la Tabla 17, confirman que las mejoras observadas responden a una gestión más racional de la oferta y no a un aumento de recursos.

6.7 IPK por línea escenario optimizado

En el escenario optimizado, presentado en la Tabla 19, el IPK se calcula considerando los ajustes operativos propuestos, los cuales incluyen la reducción de frecuencias en líneas de baja demanda, optimización del sistema de paradas y la integración parcial de recorridos con líneas estructurantes, manteniendo niveles adecuados de cobertura y accesibilidad. Estas medidas permiten reducir la producción de kilómetros improductivos sin afectar de manera significativa el volumen de pasajeros transportados, generando una mejora en la productividad del sistema.

Para la Línea 5, la optimización se fundamenta en la reducción de la frecuencia de operación y en su adhesión operativa a la Línea 1, que cumple un rol estructurante en los tramos de mayor coincidencia de recorrido. Esta reorganización permite eliminar recorridos redundantes y concentrar la operación de la Línea 5 en los segmentos donde cumple una función de cobertura local. Como resultado, se reduce la producción diaria de kilómetros, mientras que la demanda atendida se mantiene estable, incrementándose el IPK respecto al escenario actual.

En el caso de la Línea 6, la optimización no se orienta a una disminución de la oferta, sino a una gestión más eficiente de la capacidad mediante la diferenciación de frecuencias entre horas pico y horas valle, así como la implementación de servicios reforzados en la sección de máxima demanda. De forma complementaria, la optimización del sistema de paradas contribuye a mejorar la velocidad comercial y reducir los tiempos de recorrido, lo que se traduce en una mejor

distribución de pasajeros entre unidades y en una reducción de kilómetros improductivos, reflejándose en un aumento moderado del IPK.

Para la Línea 7, el escenario optimizado contempla la reducción de frecuencias y su integración parcial con la Línea 6, permitiendo que los tramos de mayor superposición sean atendidos por la línea estructurante, mientras que la Línea 7 se consolida como un servicio complementario. Adicionalmente, la optimización de paradas reduce el número de detenciones por viaje y mejora la velocidad comercial, disminuyendo la producción de kilómetros con baja carga. Estas medidas generan una mejora sustancial del IPK, alineando la oferta con la demanda real.

En el escenario optimizado, el índice de pasajeros por kilómetro (IPK) se calcula utilizando la misma Ecuación 3, incorporando los valores de pasajeros transportados y de kilómetros recorridos resultantes de los ajustes operativos propuestos.

$$IPK = \frac{\text{Pasajeros transportados en un periodo}}{\text{Kilómetros recorridos en el mismo periodo}}$$

Tabla 19

IPK Escenario Optimizado

Línea	IPK escenario actual	IPK escenario optimizado
5	0,79	1,58
6	3,3	3,70
7	1,8	3,60

En el escenario optimizado, la disminución de kilómetros recorridos se produce por la racionalización de la oferta y la reorganización operativa del servicio, reduciendo la producción de vehículo-kilómetros improductivos. En las líneas de menor demanda, la reducción de

frecuencias implica operar con menos unidades equivalentes durante la jornada, lo que disminuye directamente los km/día: la Línea 5 pasa de 409,44 km/día a 204,72 km/día, y la Línea 7 de 238,92 km/día a 119,46 km/día. En la Línea 6, la reducción se logra mediante una gestión diferenciada hora pico–hora valle, manteniendo 10 unidades en pico y disminuyendo a 8 unidades en valle, lo que reduce la producción diaria de 1.588,60 km/día a 1.417,52 km/día. Estos resultados se presentan de forma consolidada en la Tabla 19, evidenciando la reducción de km/día por línea como efecto directo de los ajustes de frecuencia, la integración operativa y la gestión de flota propuesta.

6.8 Evaluación de la mejora operativa del sistema: Costos

En el escenario actual, la evaluación de los costos operativos del sistema de transporte urbano se realiza a partir del cálculo del costo operativo por unidad, considerando una unidad tipo representativa de la flota. Este enfoque responde a la estructura real de operación del sistema, en la cual las unidades no se asignan de manera permanente a una línea específica, sino que cumplen distintos recorridos a lo largo del tiempo según la programación operativa, los requerimientos del servicio y la rotación de flota.

Por esta razón, no resulta técnicamente adecuado ni metodológicamente consistente estimar costos por línea, ya que ello implicaría asumir diferencias operativas que no se mantienen en el largo plazo. El análisis por unidad permite capturar de manera más precisa el comportamiento económico del sistema, incorporando tanto los costos fijos, que se mantienen independientemente del recorrido realizado, como los costos variables, que dependen directamente de la distancia recorrida y de la intensidad de operación.

Los resultados obtenidos evidencian que el costo operativo unitario está fuertemente influenciado por el consumo de combustible y el mantenimiento, seguidos por los costos de

personal y la depreciación de la unidad, lo que refleja la importancia de optimizar la asignación de flota y la programación del servicio como mecanismos para mejorar la eficiencia económica del sistema sin afectar la cobertura ni la calidad del servicio prestado.

A continuación, en la Tabla 20 se presentan los costos operativos del escenario actual, calculados por unidad y expresados en términos de costo anual y costo por kilómetro, considerando una unidad tipo representativa de la flota.

Tabla 20

Costos operativos por unidad y por km

Tipo de Costo	Concepto	Costo anual (USD)	Costo por km (USD/km)
	Sueldo conductor	9.000,00	0,149
COSTOS	Depreciación	5.500,00	0,091
	Matrícula	300,00	0,005
FIJOS	Administrativos	1.200,00	0,020
	Subtotal costos fijos	16.000,00	0,264
	Combustible	15.000,00	0,248
COSTOS	Aceite	1.500,00	0,025
	Mantenimientos	1.500,00	0,025
VARIABLES	Llantas (6 llantas – 50.000 km)	2.906,40	0,048
	Subtotal costos variables	20.906,40	0,345
TOTAL	Costo operativo total	36.906,40	0,609

En el escenario optimizado, los costos operativos del sistema tienden a disminuir o redistribuirse debido a la reducción de recorridos redundantes y a la mejora de la eficiencia operativa en los corredores de mayor demanda.

A diferencia del escenario actual, donde existen tramos duplicados entre líneas y recorridos con baja ocupación, el escenario optimizado incorpora estrategias de reorganización de la oferta, como la integración parcial de líneas con alto nivel de kilómetros compartidos, el ajuste del esquema de paradas y la aplicación de servicios reforzados focalizados en los tramos críticos.

Estas medidas permiten reducir los vehículo-kilómetros improductivos, mejorar la velocidad comercial y optimizar el uso de la flota disponible. En consecuencia, aunque el costo operativo unitario (USD/km) se mantiene como referencia para el cálculo —dado que las unidades rotan entre líneas a lo largo del tiempo—, el costo total del sistema varía principalmente por la modificación en la producción anual de kilómetros y horas operadas.

En particular, la integración de tramos en líneas de menor demanda reduce el costo total al disminuir kilómetros recorridos con baja productividad, mientras que los refuerzos focalizados en la línea de mayor demanda permiten atender los picos de carga sin incrementar de manera generalizada la flota en todo el recorrido, evitando sobre costos operativos y mejorando la calidad del servicio. A continuación, en la tabla N se presenta una comparación de los costos operativos en ambos escenarios

Tabla 21*Costos operativos por unidad y por km*

Línea	Kms recorridos actuales (km/día)	Costo actual (USD/día)	Kms recorridos escenario optimizado (km/día)	Costo optimizado (USD/día)
5	409,44	249,35	204,72	124,67
6	1.588,60	967,46	1.417,52	863,27
7	238,92	145,50	119,46	72,75

6.9 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos a partir de la simulación del sistema de transporte urbano del cantón Azogues evidencian que las problemáticas operativas identificadas no responden únicamente a la magnitud de la demanda, sino principalmente a la forma en que se estructura la oferta y se gestiona la operación del servicio.

El análisis integrado de los estudios de ascensos y descensos, factores operativos, índice de pasajeros por kilómetro (IPK) y la estructura de la red permite comprender el comportamiento diferenciado de las líneas 5, 6 y 7, así como justificar la pertinencia de las propuestas de optimización planteadas.

En el caso de la Línea 6, los resultados confirman su rol como ruta estructurante del sistema, al concentrar los mayores niveles de demanda y presentar los valores más altos de IPK. No obstante, la simulación evidencia que la alta productividad de esta línea se acompaña de episodios de saturación y pérdida de regularidad durante las horas pico, particularmente en la sección de máxima demanda.

Este comportamiento pone de manifiesto que una alta demanda no garantiza, por sí sola, una operación eficiente, y que la gestión de la capacidad y la regularidad del servicio resulta fundamental para mantener niveles adecuados de calidad. En este sentido, la implementación de servicios reforzados y variantes operativas focalizadas en los tramos críticos se alinea con los principios de planificación del transporte urbano, al permitir absorber los picos de carga sin incurrir en una sobreoferta generalizada.

Por su parte, la Línea 5 presenta un comportamiento característico de líneas con sobreoferta relativa, evidenciado por bajos niveles de ocupación, un IPK reducido y una elevada superposición de recorrido con otras líneas del sistema. Los resultados sugieren que la ineficiencia observada no se debe a una deficiencia en la cobertura territorial, sino a una duplicidad operativa en corredores ya atendidos.

La propuesta de integración parcial con líneas estructurantes, especialmente con la Línea 1, se sustenta en la necesidad de racionalizar la oferta, reducir kilómetros improductivos y mejorar la eficiencia del sistema, sin afectar el acceso de los usuarios al servicio. Esta estrategia refuerza la idea de que la optimización del transporte urbano no implica necesariamente la eliminación de servicios, sino su reorganización en función de la demanda real

En cuanto a la Línea 7, los resultados muestran una situación intermedia, con niveles de demanda moderados y estables, pero con un desempeño operativo condicionado por el diseño del sistema de paradas y la duplicidad de recorridos con otras líneas. La corta distancia entre paradas y el elevado número de detenciones afectan la velocidad comercial y el tiempo de recorrido, limitando la eficiencia del servicio.

La propuesta de reconfigurar la Línea 7 como una línea complementaria, mediante su integración parcial con líneas de mayor coincidencia de recorrido y la reorganización del sistema de paradas, responde a la necesidad de mejorar la eficiencia operativa sin comprometer la cobertura local ni la estabilidad de la demanda.

Desde una perspectiva sistémica, los resultados demuestran que la optimización del transporte urbano debe abordarse a nivel de red y no de líneas individuales. La coexistencia de líneas estructurantes, complementarias y redundantes requiere una asignación diferenciada de funciones, frecuencias y recorridos, de modo que la oferta se ajuste a los patrones reales de demanda. En este contexto, indicadores como el IPK, los niveles de ocupación y los kilómetros compartidos se consolidan como herramientas clave para la toma de decisiones operativas.

Finalmente, los resultados obtenidos concuerdan con la literatura especializada en planificación del transporte urbano para ciudades intermedias, que destaca la importancia de la gestión de la oferta, la racionalización de recorridos y la optimización del programa de servicios como elementos fundamentales para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del sistema.

En el caso del cantón Azogues, las estrategias propuestas permiten avanzar hacia un sistema de transporte urbano más equilibrado, eficiente y orientado al usuario, sentando las bases para futuras mejoras y para la incorporación de herramientas de gestión y monitoreo más avanzadas.

6.10 Limitaciones del estudio

Si bien el presente estudio permitió analizar de manera integral el desempeño del sistema de transporte urbano del cantón Azogues y plantear propuestas de optimización basadas en

evidencia cuantitativa y simulación, es necesario reconocer una serie de limitaciones que deben ser consideradas al momento de interpretar los resultados obtenidos.

Una de las principales limitaciones del estudio está relacionada con la toma y representatividad de los datos de demanda. Los estudios de ascensos y descensos y los conteos automáticos se realizaron en periodos específicos del año, los cuales pueden no reflejar completamente la variabilidad estacional de la demanda.

Factores como los periodos de vacaciones escolares y universitarias, feriados y cambios en las actividades laborales influyen de manera significativa en los patrones de viaje. Por tanto, para obtener una caracterización más precisa de la demanda, sería necesario contar con información levantada en diferentes épocas del año, que permita capturar estas variaciones y fortalecer la robustez de los resultados.

Desde una perspectiva social y operativa, el estudio reconoce que no todas las estrategias de optimización técnicamente viables pueden ser implementadas de manera directa. En particular, la reducción excesiva de frecuencias en líneas de baja demanda, aunque eficiente desde el punto de vista económico, puede generar molestia e insatisfacción en los usuarios, especialmente si se traduce en tiempos de espera prolongados, del orden de una hora y media o dos horas. Este tipo de ajustes debe considerar criterios de aceptabilidad social y equidad en el acceso al servicio, ya que el transporte público cumple una función social que trasciende la eficiencia puramente económica.

Además, el estudio se centra en variables cuantitativas y operativas, tales como demanda, ocupación, tiempos de recorrido, velocidad comercial y costos. No se incorporaron de manera directa variables cualitativas, como la percepción del usuario respecto al confort, la seguridad, la confiabilidad del servicio o la calidad de la información proporcionada. Estos aspectos pueden

influir en la elección modal y en el uso del transporte público, por lo que su inclusión en futuras investigaciones permitiría complementar y enriquecer el análisis realizado.

Finalmente, las propuestas planteadas asumen una estructura operativa y de flota relativamente homogénea, sin considerar posibles diferencias en el estado mecánico, antigüedad o configuración de las unidades. Estas diferencias pueden afectar los costos operativos y el desempeño real del sistema, por lo que un análisis más detallado por tipo de unidad podría mejorar la precisión de los resultados.

En conjunto, estas limitaciones no invalidan los resultados del estudio, pero sí delimitan su alcance. No obstante, los hallazgos y propuestas presentadas constituyen una base técnica sólida para la toma de decisiones y para el desarrollo de estudios futuros orientados a la mejora continua del sistema de transporte urbano del cantón Azogues.

7. CONCLUSIONES

El estado del arte permite consolidar un marco técnico y conceptual para interpretar desempeño del transporte público urbano en ciudades intermedias, identificando que eficiencia del servicio depende de relación entre demanda real, programación de oferta y productividad operativa. Esta revisión aporta criterios para analizar indicadores clave como IPK, velocidad comercial, regularidad y ocupación, y sustenta que mejora del sistema no necesariamente requiere incrementar flota, sino reorganizar de forma racional programa de servicios, especialmente en redes con tramos compartidos y variaciones marcadas de demanda por corredor.

En segundo lugar, a nivel metodológico, La investigación cumple objetivos planteados mediante un enfoque basado en datos reales. Con información levantada a través de estudios de ascenso y descenso y apoyo de conteo automático de pasajeros, se identifica variación de carga a lo largo de cada recorrido, se localiza tramos críticos de máxima demanda y se determina grado de alineación entre oferta actual y demanda observada. Esta metodología caracteriza comportamiento operativo del sistema y construye una base consistente para simulación y evaluación comparativa de escenarios.

Finalmente, los resultados confirman que sistema no presenta comportamiento homogéneo entre líneas. Línea 6 se consolida como corredor de mayor presión operativa, con demanda concentrada en tramo central y episodios de alta ocupación que afectan regularidad, tiempo de recorrido y velocidad comercial. En contraste, Línea 5 evidencia demanda baja y dispersa, traduciéndose en subutilización de capacidad y menor productividad. Línea 7 presenta demanda moderada, pero desempeño se condiciona por factores operativos como número de paradas y distancias cortas entre ellas, que limitan velocidad comercial aun con menor extensión de recorrido. A partir de cálculo de indicadores, especialmente IPK, se evidencia que operación actual genera vehículo-kilómetros con baja rentabilidad en líneas de menor demanda, mientras que en línea estructurante enfoque de mejora se orienta a administrar mejor capacidad en sección crítica. En este contexto, simulación y comparación entre escenario actual y escenario optimizado muestran que reducción de frecuencias donde existe sobreoferta, optimización de sistema de paradas e integración parcial de líneas con alto recorrido compartido disminuyen kilómetros improductivos, mejoran eficiencia de uso de flota y sostienen un nivel de servicio aceptable sin afectar cobertura territorial. En particular, integración de Línea 5 con Línea 1 se plantea como

medida coherente al transformar rol redundante en complementario, y articulación de Línea 7 con Línea 6 reduce duplicidad en corredores principales y fortalece rol alimentador. De igual forma, el análisis económico desarrollado a partir de costo operativo por unidad y por kilómetro resulta consistente con rotación real de flota del sistema y facilita proyectar efecto económico del escenario optimizado al reducir producción de kilómetros improductivos y mejorar aprovechamiento operativo.

8. RECOMENDACIONES

Es importante considerar que la presente investigación tiene carácter estrictamente académico y se desarrolla con fines de análisis técnico y formativo. En este sentido, los parámetros, supuestos, valores operativos y propuestas presentadas se fundamentan en la información disponible y en los resultados obtenidos durante el desarrollo del estudio, por lo que su aplicación en el sistema real debe ser evaluada y validada por las entidades competentes, en función de criterios normativos, operativos, financieros y sociales. En consecuencia, los resultados y lineamientos expuestos quedan a consideración de las autoridades y responsables del servicio, quienes podrán valorar su pertinencia e incorporar total o parcialmente las recomendaciones conforme a las necesidades y condiciones reales de operación del transporte público urbano del cantón Azogues.

Se recomienda fortalecer la recolección de datos en distintos periodos del año, incorporando semanas con condiciones particulares como vacaciones, feriados, eventos locales y temporadas de menor movilidad. Esto permitiría recalibrar la programación del servicio con mayor precisión y asegurar que las propuestas se mantengan válidas ante variaciones estacionales de la demanda. Asimismo, sería recomendable consolidar un sistema continuo de monitoreo de

indicadores operativos (ocupación, tiempo de viaje, velocidad comercial, IPK y regularidad), de manera que la optimización no sea un evento único, sino un proceso de mejora permanente.

Finalmente, se sugiere que el análisis de costos operativos se mantenga como herramienta de gestión, utilizando el costo por kilómetro como referencia para evaluar eficiencia económica y vincularlo con decisiones operativas. Esto permitirá que el sistema priorice la reducción de kilómetros improductivos y la mejora de productividad como estrategias sostenibles para mantener la calidad del servicio, sin depender exclusivamente de incrementos de flota o inversiones mayores.

9. REFERENCIAS

- Alcalá, A., Alves, G., Botero, A., Grisales, C., Jacobsen, A., Ortega, D., Palacios, A., Paniagua, C., Rodriguez, E., Scordia, H., & Vanoli, C. (2023). *Movilidad urbana para más y mejores oportunidades*. www.humaga.com.ar
- Baza-Solares, N., Velasquez-Martínez, R., Torres-Bohórquez, C., Martínez-Estupiñán, Y., & Poliziani, C. (2022). TRAFFIC SIMULATION with OPEN-SOURCE and COMMERCIAL TRAFFIC MICROSIMULATORS: A CASE STUDY. In *Communications - Scientific Letters of the University of Žilina* (Vol. 24, Issue 2, pp. E49–E62). University of Žilina. <https://doi.org/10.26552/COM.C.2022.2.E49-E62>

Ceder, A. (2016). Public transit planning and operation: Modeling, practice and behavior, second edition. *Public Transit Planning and Operation: Modeling, Practice and Behavior, Second Edition*, 1–742.

Flores Jenny. (2017). *UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería*.

GAD Municipal del Cantón Azogues. (2024). *CONTENIDO*.

Giesen, R., Hidalgo, D., & Ramos, R. (2025). Public transport: Status and research priorities for Latin America and the Caribbean. *Latin American Transport Studies*, 3, 100025.
<https://doi.org/10.1016/j.latran.2025.100025>

Guihaire, V., & Hao, J. K. (2008). Transit network design and scheduling: A global review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(10), 1251–1273.
<https://doi.org/10.1016/J.TRA.2008.03.011>

Ibarra-Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2015). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. In *Transportation Research Part B: Methodological* (Vol. 77, pp. 38–75). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.03.002>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2010a). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2818/10/INEN-NormaTecnicaBusUrbano.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2010b). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 038:2010 Segunda revisión*. <https://www.pudeleco.com/files/RTE-038-2.pdf>

- León Andrade, M. P., & Carriel Bustamante, V. V. (2021). Indicadores para medir la movilidad sostenible en espacios urbanos de la sierra ecuatoriana. Caso de estudio el cantón Azogues. *ConcienciaDigital*, 4(1.2), 489–515. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1738>
- Molinero, A. and A. (1997). *Molinero, A. and Arellano, L.I.S. (1997) Transporte público Planeación, diseño, operación y administración. Universidad Autónoma del Estado de México. - References - Scientific Research Publishing.*
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3370754>
- Moosavi, S. M. H., Ismail, A., & Yuen, C. W. (2020). Using simulation model as a tool for analyzing bus service reliability and implementing improvement strategies. *PLoS ONE*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232799>
- National Academies of Sciences, E. and M. (2013). Transit Capacity and Quality of Service Manual, Third Edition. *Transit Capacity and Quality of Service Manual, Third Edition.*
<https://doi.org/10.17226/24766>
- Nor Azlan, N. N., & Md Rohani, M. (2018). Overview Of Application Of Traffic Simulation Model. *MATEC Web of Conferences*, 150, 03006.
<https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201815003006>
- Núñez Alba. (2022, January 13). *The relationship between urban environment, sociodemographic variable and the use of BRT public transport in Quito.*
<https://doi.org/10.31428/10317/10582>
- Núñez Sepúlveda, C. L. (2015). *Cálculo de indicadores de calidad de servicio para el sistema de transporte público de Santiago a partir de datos pasivos.*
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133536>

Perallos, A., Hernandez-Jayo, U., Onieva, E., & García-Zuazola, I. J. (2015). Front Matter. In *Intelligent Transport Systems*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118894774.fmatter>

Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2016). The geography of transport systems. *The Geography of Transport Systems*, 1–440.
<https://doi.org/10.4324/9781315618159/GEOGRAPHY-TRANSPORT-SYSTEMS-JEAN-PAUL-RODRIGUE/RIGHTS-AND-PERMISSIONS>

Rodríguez, A. M., Zaldivar, L. L., Adrianzén, M. E. A., & Gonzales, C. E. S. (2022). Proposal for improvement in transport and logistics areas according to TPM and 5S tools to reduce cost overruns in drinking water distribution companies, Trujillo 2021. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.498>

Transportation Research Board. (2015). *Traffic and Transportation Simulation Looking Back and Looking Ahead: Celebrating 50 Years of Traffic Flow Theory, A Workshop*. www.TRB.org

Vecchio, G., Porreca, R., & Rivera, D. J. (2020). Socio-spatial concerns in urban mobility planning: Insights from competing policies in Quito. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12072923>

Vuchic, V. R. (2007). Vehicle acceleration, braking, and stopping distances. *Urban Transit Systems and Technology*, 118–119.

Welch, T. F., & Widita, A. (2019). Big data in public transportation: a review of sources and methods. *Transport Reviews*, 39(6), 795–818.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1616849>

