



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**Impacto de las condiciones viales en los costos de mantenimiento de los
buses urbanos en el cantón Riobamba**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Alvarez Gavin, David Samuel

Vallejo Buenaño Emilio Salvador

Tutor:

MgSc. Carlos Sebastián Saldaña García

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, David Samuel Álvarez Gavin y Emilio Salvador Vallejo Buenaño, con cédula de ciudadanía 0605387232 y 0605357581, autores del trabajo de investigación titulado: IMPACTO DE LAS CONDICIONES VIALES EN LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LOS BUSES URBANOS EN EL CANTÓN RIOBAMBA, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



David Samuel Alvarez Gavin

C.I: 0605387232



Emilio Salvador Vallejo Buenaño

C.I: 0605357581

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Carlos Sebastián Saldaña García MGs. catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Impacto de las condiciones viales en los costos de mantenimiento de los buses urbanos en el cantón Riobamba, bajo la autoría de David Samuel Álvarez Gavin y Emilio Salvador Vallejo Buenaño; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 30 días del mes de Julio de 2025.



Carlos Sebastián Saldaña García
C.I: 0301496584

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Impacto de las condiciones viales en los costos de mantenimiento de los buses urbanos en el cantón Riobamba presentado por Álvarez Gavin David Samuel y Vallejo Buenaño Emilio Salvador, con cédula de identidad número 0605387232 y 0605357581, bajo la tutoría de Ing. Carlos Sebastián Saldaña García MGs.; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de Julio de 2025.

Ing. Angel Paredes, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Vladimir Pazmiño, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Julio Fiallos, MGs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **Alvarez Gavin David Samuel** con CC: **0605387232**, y **Vallejo Buenaño Emilio Salvador** con CC: **0605357581**, estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "Impacto de las condiciones viales en los costos de mantenimiento de los buses urbanos en el cantón Riobamba", cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio COMPILATIO MAGISTER, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 25 de Julio del 2025.



Firmado digitalmente por:
**CARLOS SEBASTIAN
SALDANA GARCIA**

Validar únicamente con FirmaAC

Ing. Carlos Saldaña García, Mgs.
TUTOR(A)

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación se lo dedico primeramente a Dios ya que ha sido quien me ha guiado por todo este camino y me ha dado sabiduría y discernimiento.

A mis padres Juan y Juana, hermanos Nelson, Juan y Daniel porque siempre han estado apoyándome y dándome palabras de ánimo para que pueda superarme y seguir adelante.

A mi novia Nataly A. quien ha compartido conmigo la etapa universitaria, por su amor y todas sus enseñanzas que han hecho de mi un buen hombre.

David Samuel Alvarez Gavin

AGRADECIMIENTO

A Dios, Padre, Hijo y Espíritu Santo por ser mi guía, y fortaleza en todo momento, por enseñarme que los planes de él son más grandes que los míos, por ayudarme a cumplir cada uno de mis sueños y acompañarme en todo momento, dándome sabiduría para tomar decisiones, estoy tan agradecido por todas las bendiciones que me ha otorgado.

A mis padres Juan y Juana quienes han hecho todo lo posible para ayudarme en toda la etapa universitaria, quienes con mucho esfuerzo y sacrificio me han dado todo lo necesario para mis estudios, estoy muy agradecido por su infinito amor, mis hermanos quienes me han animado a nunca darme por vencido.

A mi novia Nataly A. por ser mi apoyo en todo momento, por estar conmigo en las buenas y en las malas porque me ha enseñado que, con esfuerzo, dedicación podemos salir adelante ante cualquier situación.

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Civil, por brindarme sus conocimientos y sus valores con cada enseñanza impartida en el aula

Al Ing. Carlos Saldaña quien, como docente tutor, nos ha ofrecido su amistad y ayuda para solventar cualquier duda en todo el proceso del desarrollo de nuestra investigación culminándolo con éxito.

David Samuel Alvarez Gavin

DEDICATORIA

A Dios y a la Madre Dolorosa por hacer que este viaje en la universidad haya sido lleno de fe, bendiciones y pruebas constantes para probar mi valor como verdadero creyente.

A mis padres, Carola y Mario, pilares fundamentales en mi vida, por ser el ejemplo de esfuerzo, dedicación y amor incondicional. Cada sacrificio suyo ha sido la base sobre la cual se construye este logro, que les pertenece tanto a ustedes como a mí.

A mi hermana Carolina, por su cariño, apoyo constante y por recordarme siempre la importancia de luchar con determinación.

A mis abuelos, que con su sabiduría, consejos y amor inagotable me brindaron la fuerza necesaria para seguir adelante en este camino.

Dedico también este trabajo a toda mi familia, por ser parte esencial de mi vida y por mostrarme que la unión y el apoyo mutuo hacen posible alcanzar cualquier meta.

A mis amigos, con quienes compartí momentos de aprendizaje, esfuerzo y alegría, que quedarán grabados en mi memoria como parte de esta etapa tan significativa.

Este logro no es solo mío, sino de todos quienes han estado presentes en mi vida, brindándome su apoyo, cariño y confianza.

***Con cariño,
Emilio Salvador Vallejo Buenaño***

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincera gratitud a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta etapa.

En primer lugar, a mis padres, Carola y Mario, quienes con su amor, esfuerzo y confianza me enseñaron a luchar por mis sueños y a no rendirme frente a las dificultades.

A mi hermana Carolina, que siempre estuvo a mi lado brindándome apoyo y palabras de ánimo.

A mis abuelos, cuyo respaldo y consejos me han acompañado en cada paso de este camino académico.

A mi familia en general, por estar presente y demostrarme que juntos todo es más llevadero.

Extiendo mi agradecimiento a mis amigos, por las experiencias compartidas, las risas, los retos superados en equipo y los recuerdos que permanecerán siempre conmigo.

Un reconocimiento especial a mis maestros, quienes con sus enseñanzas, guía y paciencia me ayudaron a superar dificultades académicas y a fortalecer mi formación profesional.

No puedo olvidar a mis mascotas, que con su compañía hicieron más llevaderas las largas jornadas de estudio, recordándome la importancia de las pequeñas alegrías en medio del esfuerzo.

Finalmente, agradezco a todos quienes, de una u otra forma, aportaron en mi vida académica y personal. Cada gesto de apoyo ha sido valioso para que este sueño hoy se haga realidad.

***Con cariño,
Emilio Salvador Vallejo Buenaño***

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCION..... 17

1.1 Antecedentes..... 17

1.2 Problema..... 18

1.3 Justificación..... 18

1.4 Objetivos..... 19

1.4.1 General..... 19

1.4.2 Específicos..... 19

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO..... 20

2.1. Estado del arte 20

2.2. Marco teórico..... 21

2.2.1. Infraestructural vial..... 21

2.2.2. Transporte público urbano..... 23

2.2.3. Estado vial e Índice de Regularidad Internacional (IRI) 25

2.2.4. Costo de mantenimiento vehicular 26

2.2.5. Correlación entre seguridad y mantenimiento..... 28

2.2.6. Medición de Regularidad Vial con Physics Toolbox Sensor Suite: Uso y
Fiabilidad30

CAPÍTULO III. METODOLOGIA..... 33

3.1. Tipo de Investigación 33

3.2. Diseño de Investigación..... 33

3.3. Técnicas de recolección de Datos..... 34

3.4.	Población de estudio y tamaño de muestra.....	34
3.5.	Métodos de análisis	34
3.6.	Procesamiento de datos	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		36
4.1.	Resultados.....	36
4.1.1.	Análisis de Resultados del IRI por Ruta de Bus Urbano.....	36
4.1.2.	Resultados agrupados	53
4.1.3.	Resultados de las Encuestas Aplicadas a Operadores de Autobuses.....	56
4.3.4.	Índice de Regularidad Internacional (IRI) vs costo de mantenimiento promedio 61	
4.2.	Discusión	64
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		66
5.1.	Conclusiones.....	66
5.2.	Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFÍA		68
ANEXOS		71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación entre la regularidad del pavimento (IRI) y los principales tipos de mantenimiento vehicular afectados.	22
Tabla 2 Tipos de mantenimiento vehicular	26
Tabla 3 Relación entre la regularidad del pavimento (IRI) y los principales tipos de mantenimiento vehicular afectados.	27
Tabla 4 Relación entre valores de IRI	35
Tabla 5 Datos estadísticos valores agrupados	54
Tabla 6 Categorización de valores de IRI.....	55
Tabla 7 Numero de encuestas realizadas a usuarios.....	56
Tabla 8 Costo anual de mantenimiento de los componentes con mayor recambio	57
Tabla 9 Correlación de Pearson entre resultados de las primeras 100 encuestas con las 20 encuestas en la segunda fecha a propietarios de los buses urbanos.....	58
Tabla 10 Costo operativo anual expresado en USD/ (km × día) para cada ruta.....	59
Tabla 11 Contraste de información con el estudio realizado en tres ciudades diferentes .	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Relación estimada entre la regularidad del pavimento IRI y el costo de mantenimiento vehicular, según diferentes tipos de vehículos operando a velocidades urbanas (Caso a y b).	28
Figura 2 Relación estimada entre la regularidad del camino (IRI) y el incremento relativo en los costos de mantenimiento vehicular.	29
Figura 3 Diagrama de flujo Metodología	33
Figura 4 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 1	37
Figura 5 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 1	37
Figura 6 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 2.....	38
Figura 7 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 2	38
Figura 8 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 3.....	39
Figura 9 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 3	39
Figura 10 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 4.....	40
Figura 11 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 4	40
Figura 12 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 5.....	41
Figura 13 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 5	41
Figura 14 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 6.....	42
Figura 15 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 6	42
Figura 16 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 7.....	43
Figura 17 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 7	43
Figura 18 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 8.....	44
Figura 19 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 8	44
Figura 20 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 9.....	45
Figura 21 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 9	45
Figura 22 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 10.....	46
Figura 23 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 10	46
Figura 24 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 11A.....	47
Figura 25 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 11A	47
Figura 26 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 11B	48
Figura 27 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 11B.....	48
Figura 28 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 12.....	49

Figura 29 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 12	49
Figura 30 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 13.....	50
Figura 31 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 13	50
Figura 32 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 14.....	51
Figura 33 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 14	51
Figura 34 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 15.....	52
Figura 35 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 15	52
Figura 36 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 16.....	53
Figura 37 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 16	53
Figura 38 Histograma de Índice de Regularidad Internacional (IRI) promedio	54
Figura 39 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) combinado de las rutas	55
Figura 40 Elementos o repuestos que mayormente requieren remplazo	57
Figura 41 Resultados obtenidos de las encuestas	58
Figura 42 Costos promedios de mantenimiento de los buses urbanos	60
Figura 43 Costos totales de mantenimiento de los buses urbanos.....	60
Figura 44 Índice de Regularidad Internacional (IRI) vs costo de mantenimiento promedio	61
Figura 45 Diagrama caso real de costo anual	62
Figura 46 Histograma Caso Real.....	63
Figura 47 Diagrama caso optimo	63
Figura 48 Grafico radial Caso Real vs Caso optimo	64

RESUMEN

La presente investigación analiza el impacto de las condiciones de la infraestructura vial en los costos de mantenimiento de los buses urbanos en el cantón Riobamba, tomando como referencia metodológica aspectos desarrollados en investigaciones similares. La calidad de las vías de transporte influye directamente en el rendimiento de los vehículos, especialmente en aquellos de uso intensivo como los buses urbanos. Este proyecto busca determinar la relación entre el estado de las vías, evaluado mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), y los costos operativos asociados al mantenimiento de los buses. La metodología empleada combina un enfoque cualitativo-cuantitativo, incluyendo recolección de datos en campo, aplicación de encuestas a propietarios y mecánicos de buses, y el análisis del estado de las rutas utilizando la aplicación Physics Toolbox Suite para medir la regularidad de las vías. Además, se emplean indicadores de serviciabilidad, deterioro del pavimento y coeficientes de correlación estadística para determinar el impacto del mal estado vial en el desgaste mecánico de los buses. El diseño de investigación es no experimental y transversal, centrándose en observar y analizar las variables sin manipularlas. Además, se contrastaron los resultados con estudios previos y datos oficiales para validar las correlaciones establecidas. El estudio tiene como objetivo principal proporcionar información que permita optimizar las condiciones viales y reducir los costos de mantenimiento vehicular. Se espera que los resultados sirvan de base para mejorar la calidad del transporte público, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de Riobamba y beneficiando tanto a los operadores como a los usuarios del servicio.

Palabras clave: Infraestructura vial, costos de mantenimiento, regularidad, serviciabilidad, deterioro del pavimento, coeficiente de correlación, desgaste mecánico.

ABSTRACT

This research examines the impact of road infrastructure conditions on urban bus maintenance costs in the city of Riobamba, based on methodologies adopted from similar studies. Roadway quality directly influences vehicle performance, particularly in high-usage units such as urban buses. The study aims to establish the relationship between road conditions—measured through the International Roughness Index (IRI)—and the operational costs associated with vehicle maintenance. A mixed-methods approach was applied, integrating field data collection, surveys conducted with bus owners and mechanics, and route assessments using the Physics Toolbox Suite application to evaluate pavement regularity. Additionally, indicators such as serviceability levels, pavement deterioration, and statistical correlation coefficients were used to assess the mechanical wear caused by poor road conditions. The research design is non-experimental and cross-sectional, focused on observing and analyzing variables without manipulation. Results were cross-referenced with prior studies and official data to validate the correlations identified. The main objective is to provide evidence supporting road condition optimization as a strategy to reduce vehicle maintenance costs. The findings are expected to contribute to the improvement of public transport quality and to promote the socioeconomic development of Riobamba, ultimately benefiting both operators and users.

Keywords: Road infrastructure, maintenance costs, roughness, serviceability, pavement deterioration, correlation coefficient, mechanical wear.



Mario Nicolas Salazar
Ramos



Revised by
Mario N. Salazar
0604069781

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1 Antecedentes

La infraestructura vial desempeña un papel fundamental en el desarrollo urbano, ya que constituye el soporte físico para el tránsito vehicular y peatonal. En ciudades como Riobamba, cuya actividad económica y social depende en gran medida del transporte público, la calidad de las vías tiene un impacto directo en la eficiencia del sistema de movilidad. En este contexto, los buses urbanos se convierten en el eje central del transporte colectivo, ya que conectan los diferentes sectores del cantón y permiten el desplazamiento diario de miles de ciudadanos hacia sus lugares de trabajo, estudio, comercio o recreación. Sin embargo, con el paso del tiempo, el crecimiento urbano descontrolado, la falta de mantenimiento preventivo y la sobrecarga vehicular han provocado un deterioro progresivo en la red vial urbana. Este deterioro se manifiesta principalmente en forma de grietas, baches, deformaciones, parches mal aplicados y pérdida de la regularidad en el pavimento, estas condiciones afectan negativamente no solo la comodidad y seguridad de los usuarios, sino también el desempeño mecánico de los vehículos que circulan constantemente por estas rutas. En particular, los buses urbanos, al operar bajo un régimen de uso intensivo y continuo, son altamente sensibles a las condiciones del pavimento. El tránsito frecuente sobre superficies irregulares provoca vibraciones excesivas, impactos repetitivos y cargas dinámicas las cuales aceleran el desgaste de componentes importantes como el sistema de suspensión, los amortiguadores, la dirección, los frenos, las llantas, entre otros. Esto conduce a un incremento significativo en los costos de mantenimiento y reparación, así como en la reducción de la vida útil de las unidades de transporte (Aguirre Mora, 2015).

Al revisar el enfoque de esta investigación, se observa que el IRI se ha consolidado como una herramienta útil y confiable para evaluar el estado de las vías. Este indicador permite identificar el deterioro en la superficie vial a partir de cómo responde el vehículo al transitar por ella. Gracias a esto, es posible clasificar las condiciones del pavimento en distintos niveles, desde excelente hasta deficiente. Diversos estudios han evidenciado que, mientras mayor sea el valor del IRI, mayores serán también los costos asociados al mantenimiento y operación del transporte.(Huanca, 2022).

A nivel nacional, se comenzó a desarrollar investigaciones que abordan esta problemática enfocada a una perspectiva técnica y económica. Un claro ejemplo es el estudio realizado por (Vaca et al., 2023) en el cantón Tena, donde se analizó la relación entre el estado de las vías urbanas y los costos de mantenimiento de los buses. En este trabajo se utilizaron métodos como la medición de la regularidad con rugosímetros portátiles tipo Merlín, encuestas a operadores de transporte, y análisis estadísticos para establecer correlaciones significativas entre la calidad del pavimento y los gastos de mantenimiento. Los resultados obtenidos confirmaron que el deterioro vial incrementa en gran medida fallas en los sistemas mecánicos de los buses y por ende obliga a los conductores a destinar muchos más recursos para su reparación. Así mismo, se ha comprobado que la falta de inversión en mantenimiento vial preventivo genera un círculo vicioso: el mal estado de las vías aumenta

el desgaste de los vehículos, lo cual incrementa los costos de operación del servicio de transporte público. Esto repercute en tarifas más altas o en una reducción de la calidad del servicio, afectando directamente a los usuarios y limitando el acceso equitativo a la movilidad. Bajo este contexto, la presente investigación propone abordar esta problemática en el cantón Riobamba, donde el sistema de buses urbanos constituye la columna vertebral de la movilidad cotidiana. A través del uso de herramientas tecnológicas como la aplicación “Physics Toolbox Suite”, se realizará la medición del índice de regularidad en las principales rutas del transporte urbano. Esta información será complementada con encuestas dirigidas a propietarios, conductores y mecánicos de buses, con el fin de conocer los costos reales de mantenimiento y establecer una relación cuantitativa entre ambos factores.

El enfoque metodológico mixto de esta investigación permitirá realizar un análisis integral que considere tanto los aspectos técnicos de la infraestructura como las consecuencias económicas en el sistema de transporte. Además, los resultados obtenidos nos ayudaran a obtener una base técnica para la toma de decisiones por parte de las autoridades locales, especialmente en lo que representa la planificación del mantenimiento vial y la mejora del servicio de transporte público.

Este estudio busca evidenciar cómo las condiciones actuales de la infraestructura vial urbana de Riobamba inciden en los costos operativos de los buses urbanos, y cómo esta relación puede ser utilizada como un criterio técnico para priorizar intervenciones viales, optimizar recursos municipales y contribuir al desarrollo de una movilidad urbana sostenible, segura y eficiente.

1.2 Problema

En Riobamba, muchas vías urbanas presentan un alto grado de deterioro, lo que afecta directamente a los buses urbanos que circulan por ellas. Esta situación genera un mayor desgaste en los componentes mecánicos y por ende eleva los costos de mantenimiento. Actualmente, no existen estudios técnicos locales que relacionen el estado de las vías con dichos costos. Esta falta de información limita la toma de decisiones para el mejoramiento del transporte público y la infraestructura vial. Por ello, se plantea la necesidad de analizar esta relación mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y la herramienta Physics Toolbox Suite, complementado con encuestas a operadores de buses urbanos del cantón.

1.3 Justificación

El transporte público urbano es esencial para la movilidad de los habitantes de Riobamba. No obstante, el mal estado de las vías por las que transitan los buses representa un factor que incide directamente en los costos de mantenimiento vehicular, afectando la eficiencia operativa del servicio. A pesar de ello, no se cuenta con estudios técnicos que evidencien de forma cuantitativa esta relación. Por tanto, esta investigación es necesaria para aportar datos reales que sirvan como base para una mejor gestión de la infraestructura vial y una toma de decisiones fundamentada en evidencia.

Esta investigación permitirá comprender cómo el estado de las vías influye en el mantenimiento de los buses urbanos, utilizando herramientas tecnológicas como “Physics Toolbox Suite”. Además que ofrecerá información valiosa para autoridades, operadores y planificadores del transporte, facilitando la toma de decisiones en futuras intervenciones que busquen mejorar la calidad del servicio y disminuir los costos operativos.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Determinar la relación entre el estado de la infraestructura vial y los costos de mantenimiento de los buses urbanos en el cantón Riobamba, mediante mediciones de regularidad y recolección de información técnica de las unidades de transporte.

1.4.2 Específicos

- Evaluar el estado de las vías del cantón Riobamba utilizando el Índice de Regularidad Internacional (IRI) mediante la aplicación Physics Toolbox Suite.
- Identificar los costos anuales de mantenimiento de los buses urbanos a través de encuestas aplicadas a propietarios y mecánicos.
- Analizar la relación entre el estado de la infraestructura vial y el incremento de costos de mantenimiento de los buses.
- Proporcionar información técnica que sirva como base para mejorar la planificación vial y optimizar el sistema de transporte público urbano.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Estado del arte

La correlación entre el estado de la infraestructura vial y los costos asociados a la operación y mantenimiento vehicular ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones desarrolladas en el contexto ecuatoriano. Los hallazgos evidencian que una gestión deficiente de la red vial, sumada a la falta de estrategias adecuadas de mantenimiento, esto conlleva a un incremento significativo en los costos operativos del transporte y una reducción en la vida útil del pavimento, generando impactos negativos tanto en los usuarios como en el desarrollo económico regional (Caiza Monge & Ochoa García, 2025).

(Salazar Noboa, 2008) diseñó un sistema de gestión enfocado en las vías de segundo orden en Ecuador, con el objetivo de reducir los costos relacionados con el mantenimiento vial y el uso de los vehículos. El estudio pone en evidencia que al no contar con un mantenimiento adecuado este aumentara los gastos operativos y acorta la vida útil de las carreteras, lo que terminara afectando a los usuarios y al desarrollo económico de la zona analizada.

(Rodríguez Gonzáles, 2011) en su trabajo planteó un modelo para gestionar el mantenimiento de las vías rurales en Chimborazo, enfocándose en zonas como Riobamba, San Luis, Punín, Flores y Cebadas. A través de su estudio, evidenció que implementar un sistema de conservación adecuado no solo ayuda a reducir los costos de mantenimiento, sino que también mejorar la conexión entre comunidades, además que favorece al desarrollo social y económico de las áreas rurales.

En el estudio sobre el paso lateral en el cantón El Carmen -Manabí, se aplicó el IRI como indicador principal para medir la regularidad del pavimento. Los resultados indican que un mayor índice de aspereza se asocia con menores velocidades operativas, generan mayor desgaste vehicular y una reducción en la seguridad y confort de conducción, estos factores elevan los costos de operación y mantenimiento (Moreno Ponce et al., 2024).

(Pineda Cruz, 2021), Universidad Técnica de Machala desarrolló un modelo matemático que relaciona el IRI con el índice de serviciabilidad presente (PSI) en vías principales de Loja. El modelo, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,80$, sugiere que evaluaciones precisas de irregularidad permiten decisiones puntuales de mantenimiento, prolongan la vida del pavimento y reducen costos operativos.

(Flores & Mogrovejo, 2023), propuso el análisis de la red vial rural de Portoviejo, se combinaron distintas herramientas como el IRI, PSI y PCI para tener una visión más completa del estado del pavimento. El estudio evidenció que, en las zonas donde las vías están en mal estado, no solo se complica el flujo de tránsito, sino que también aumentan los gastos en mantenimiento de los vehículos, ya que los daños en la vía generan fallas funcionales y estructurales más frecuentes.

Estos estudios analizados denotan lo crucial que es contar con sistemas de gestión y conservación vial que utilicen indicadores técnicos como el IRI para planificar intervenciones realmente efectivas. Sin embargo, todavía hace falta más información que analice de forma concreta cómo el estado de las vías urbanas se relaciona con los costos de mantenimiento de los autobuses, especialmente en ciudades como Riobamba.

Esta investigación busca ayudar a obtener más información, ofreciendo datos reales y un análisis que sirva para mejorar la planificación del transporte público y la organización de la infraestructura vial en el cantón.

2.2.Marco teórico

2.2.1. Infraestructura vial

La infraestructura vial comprende el conjunto de vías, carreteras y calles, tomando en cuenta su diseño, construcción y estado de conservación. Es un componente esencial para el progreso socioeconómico, dado que una red de carreteras en óptimas condiciones promueve el traslado eficaz de personas y bienes. En cambio, carreteras deterioradas o con fallos estructurales producen efectos adversos: disminuyen la comodidad y seguridad de los usuarios, prolongan los periodos de viaje e incrementan los costos operativos de los vehículos a causa de un mayor desgaste y uso de combustible.

Varios estudios han evidenciado que una mala calidad del pavimento, como superficies irregulares, fisuras, deformaciones asocian aumentos considerables en los costos de mantenimiento de vehículos, además del consumo de combustible y el deterioro de los neumáticos. Por lo tanto, conducir en carreteras en mal estado acelera la depreciación del vehículo, reduce la eficiencia de combustible y daña neumáticos y suspensiones (Lara López, 2022).

Esto reafirma la importancia de conservar la infraestructura vial en buenas condiciones, un indicador bastante utilizado para evaluar el estado superficial de las vías es la regularidad o irregularidad longitudinal del pavimento. La regularidad vial cuantifica qué tan lisa o dispareja es la superficie de rodadura y como afecta en la comodidad de los usuarios y en las cargas dinámicas que los vehículos soportan. A medida que aumenta el índice de regularidad, disminuye la calidad de marcha y aumenta el impacto de los vehículos en cuanto a vibraciones. Para evaluar de manera objetiva la regularidad, se utilizan procedimientos estandarizados a escala internacional, especificados en normativas técnicas. Por ejemplo, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador (MTOP) adopta procedimientos basados en estándares ASTM para evaluar la regularidad superficial de carreteras, mediante equipos de perfilometría inercial o rugosímetros tipo Bump Integrator que recorren la vía midiendo su perfil longitudinal (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2020).

Estos aparatos registran las variaciones en la elevación del pavimento y determinan índices numéricos que representan la regularidad. El Índice de Regularidad Internacional

(IRI) es el indicador más utilizado en todo el mundo para cuantificar la regularidad, se define como la acumulación de desplazamientos verticales simulados mediante un modelo de cuarto de carro por unidad de distancia recorrida, usualmente expresado en metros por kilómetro (m/km)(Ventura Espinal, 2008).

Un valor bajo de IRI señala un camino muy liso (alta regularidad), en cambio, un valor elevado sugiere un camino áspero o irregular. Los ingenieros emplean el IRI como indicador primario de la condición de una vía, ya que se correlaciona bien con la experiencia de rodadura y la necesidad de mantenimiento(Rodríguez et al., 2022).

Por ejemplo, un IRI cercano a 2 m/km sería característico de una carretera recién construida y bien pavimentada con un excelente confort de marcha, mientras que valores superiores a 6 m/km señalarían un pavimento deteriorado con irregularidades evidentes. La Tabla 1 presenta una categorización comparativa del estado de un pavimento de acuerdo con rangos de IRI, fundamentada en criterios aplicados dentro del medio local. En este esquema, un IRI inferior a 3.5 m/km se establece como "Bueno" (superficie uniforme y cómoda), entre 3.5 y 6 m/km se clasifica como "Regular" (irregularidad notable, con impacto negativo moderado en la comodidad), mientras que valores superiores a 6 m/km corresponden a un estado "Malo" (pavimento extremadamente irregular, causando incomodidad y potencial daño al vehículo)(Gómez González et al., 2015).

Es importante destacar que cada país o entidad tiene la capacidad de modificar levemente estos umbrales; por ejemplo, Ecuador en sus contratos viales exige que el IRI promedio sea ≤ 3.5 m/km en corredores rehabilitados (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2020).

Sin embargo, la clasificación de la tabla 1 ofrece una idea general ampliamente aceptada de cómo se interpreta el IRI en términos de calidad del camino.

Tabla 1 Relación entre la regularidad del pavimento (IRI) y los principales tipos de mantenimiento vehicular afectados.

Condición del pavimento	Rango IRI (m/km)	Principales efectos en el vehículo y mantenimiento
Muy bueno	< 2.5	Pavimento muy uniforme; mínima vibración. Mantenimiento rutinario normal; desgaste despreciable de suspensión y neumáticos.
Bueno	2.5 – 3.5	Ligera irregularidad superficial. Desgaste leve de neumáticos (desgaste uniforme); posibles ajustes ocasionales de alineación y balanceo.
Regular	3.5 – 5.5	Regularidad moderada, baches pequeños. Mayor vibración transferida; aumenta el desgaste de neumáticos (desgaste irregular) y suspensión (amortiguadores, bujes). Se recomiendan inspecciones más frecuentes de suspensión y dirección (alineación).

Malo	5.5 – 10.5	Pavimento deteriorado con baches y depresiones notorias. Sobre esfuerzo en suspensión (acorta vida de amortiguadores, resortes y rótulas); daños recurrentes en llantas (pinchaduras, deformaciones) y desalineación de la dirección. Mantenimiento correctivo frecuente necesario.
Muy malo	> 10.5	Vía muy irregular (baches profundos, deformaciones severas). Fallas graves en suspensión (rotura de componentes, holguras en ejes) y neumáticos (estallidos, cortes) debido a impactos constantes.

Fuente: (Robinns & Tran, 2019)

Es preferible mantener la infraestructura de carreteras en niveles de IRI bajos no solo por el confort y la seguridad, sino también desde el punto de vista económico. Un pavimento suave aplica menos cargas dinámicas a los automóviles, extendiendo su vida útil; además, disminuye las vibraciones y golpes transmitidos, que son los encargados de desgastar componentes, deteriorar las suspensiones y causar fallas prematuras (Wang Qiu, 2019).

Por esta razón, la gestión de infraestructuras contempla programas de mantenimiento rutinario y rehabilitación con el objetivo de mantener niveles de regularidad aceptables a largo del tiempo. Investigaciones a nivel internacional destacan que vías más lisas tienen un menor costo en el ciclo de vida tanto para la agencia vial como para los usuarios, que economizan en gastos relacionados con los vehículos. Y en palabras de (Robinns & Tran, 2019) “no solo nuestros usuarios quieren carreteras lisas por comodidad, sino que las carreteras lisas cuestan menos, tanto para el propietario/agencia como para el usuario”

En resumen, la infraestructura vial y su condición de conservación influyen directamente en los costos operativos de los sistemas de transporte, lo que hace esencial su supervisión y mejora continua.

2.2.2. Transporte público urbano

El transporte público urbano juega un papel importante en las ciudades, ofreciendo a miles de personas la movilidad cotidiana. Al igual que en otras ciudades de tamaño medio, en Riobamba, el sistema de transporte urbano se compone principalmente de autobuses urbanos administrados por cooperativas u operadoras locales. Estas unidades siguen rutas establecidas dentro de la ciudad, uniendo barrios y zonas periurbanas, y son el medio de transporte indispensable para los habitantes que no cuentan con un automóvil. La calidad y eficacia de este servicio se basan en gran parte en el estado mecánico de los autobuses y en la infraestructura de las vías urbanas por las que se desplazan. Las avenidas y calles de una ciudad experimentan un tráfico constante e intenso, por lo que su conservación es crítica. Cuando la infraestructura de las vías urbanas está en óptimas condiciones, los autobuses pueden mantener velocidades adecuadas, proporcionar viajes confortables a los pasajeros y experimentar niveles más bajos de desgaste mecánico.

En cambio, vías urbanas deterioradas con baches, desniveles, adoquinados en mal estado, reductores de velocidad incorrectamente diseñados, etc. impactan de manera negativa al transporte público, gracias a esto los autobuses deben disminuir la velocidad drásticamente, realizar maniobras para esquivar fallas y soportar impactos severos, lo que deteriora sus elementos. Esto afecta la calidad del servicio con trayectos más largos e incómodos y la economía de las empresas de transporte, ya que un pavimento deficiente provoca más fallos y eleva los costos de mantenimiento para cada unidad. En el escenario ecuatoriano, los propietarios de autobuses urbanos suelen asumir sus propios costos de mantenimiento mediante ingresos tarifarios regulados, por lo que cualquier factor que eleve estos costos ejerce presión económica sobre el sistema.

Un pavimento irregular en las rutas urbanas de Riobamba requeriría, por ejemplo, una reposición más frecuente de amortiguadores, llantas o rótulas de dirección de los autobuses, incrementando así los gastos operativos. Se admite a nivel nacional e internacional que la deficiente condición de las vías urbanas puede incrementar considerablemente el costo de operación del transporte público.

(Dreyer & Steyn, 2015) indican que el deterioro de la calidad del rodamiento de alta regularidad eleva los costos de mantenimiento de los vehículos, el consumo de combustible y el desgaste de las llantas, impactando en los costos logísticos y operacionales de las empresas de transporte.

Hay una estrecha interdependencia: la eficacia y la sostenibilidad del transporte urbano se basan en una adecuada infraestructura vial, y a su vez, conservar las vías en óptimas condiciones disminuye costos y mejora el servicio para la comunidad. En cambio, el transporte público urbano también posee características específicas que impactan en los patrones de mantenimiento de sus vehículos. Los autobuses generalmente realizan recorridos de miles de kilómetros anuales dentro de la ciudad, con ciclos constantes de frenado y arranque, y frecuentemente operan con un alto número de pasajeros lo que implica una carga pesada. Estas condiciones de operación urbana con tráfico intenso, topografía irregular, clima, etc. ya provocan desgaste por sí mismas, a esto si se circula por pavimentos deteriorados, el efecto acumulativo sobre elementos mecánicos se incrementa aún más. Las investigaciones han señalado que en trayectos de autobús con pavimento deficiente, los costos operación vehicular se incrementan considerablemente debido a reparaciones más frecuentes y un aumento en el consumo de materiales como combustible y neumáticos (Meza Estrada, 2025).

Para Riobamba, resulta significativo analizar cómo el estado de las vías urbanas locales podría estar impactando en la economía del transporte municipal. Por lo tanto, se toma en cuenta la infraestructura vial con la de transporte público, para respaldar cómo el mal estado de las vías afecta las necesidades de mantenimiento de los autobuses que transitan por ellas.

2.2.3. Estado vial e Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Como se indicó, la rugosidad vial hace referencia a las irregularidades en la superficie de un camino en el sentido longitudinal, que afectan la calidad de rodaje. Es un indicador crucial de la regularidad superficial de un pavimento. En términos técnicos, el IRI cuantifica las desviaciones de un pavimento respecto a una superficie plana ideal, considerando rangos de longitudes de onda que tienen impacto directo en la dinámica vehicular, la comodidad del conductor y la transmisión de cargas dinámicas al vehículo (Robinns & Tran, 2019).

Para medir de manera correcta la rugosidad de una vía, se usa el Índice de Regularidad Internacional (IRI). Este indicador fue creado por el Banco Mundial en los años 80 y ahora se utiliza en todo el mundo. El IRI mide el perfil del camino y cómo se mueve la suspensión de un vehículo cuando está en movimiento. El resultado es un valor que muestra qué tan irregular es la vía. El IRI ofrece una forma objetiva y confiable de medir la calidad del pavimento, además que se ajusta bien a cómo las personas sienten la comodidad al manejar. Por eso, es la herramienta principal que se usa en normas y guías para cuidar y mantener las carreteras.(Dreyer & Steyn, 2015).

En Ecuador, también se utiliza el IRI para evaluar las carreteras y las vías urbanas, las especificaciones técnicas del MTOP, por ejemplo, exigen la medición del IRI durante los proyectos de carreteras mediante equipos de alto rendimiento como perfilómetros láser o sistemas de bump integrator, garantizando la captura de las huellas de rodadura habituales (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2020).

El cumplimiento a determinados umbrales de IRI es indicador de calidad en contratos de rehabilitación vial concesionados, el MTOP solicita que el pavimento proporcionado no supere un IRI medio de 3.5 m/km en tramos de 1 km, ni posea segmentos específicos de 100 metros que superen los 4.0 m/km. Esto indica los niveles de regularidad que se consideran aceptables para proporcionar un servicio de vía eficiente a los usuarios. Un aumento en el IRI se relaciona con costos operativos elevados, particularmente en el mantenimiento de los vehículos y el consumo. El motivo físico es que una superficie irregular genera cargas dinámicas mayores, por lo que el vehículo rebota y vibra de manera más intensa exponiendo sus componentes a esfuerzos extra (Ramirez Aro, 2017).

Por lo tanto, un IRI alto conlleva un mayor desgaste: los amortiguadores trabajan de manera intensiva, los neumáticos pierden contacto uniforme y sufren daños con los baches, las uniones y tornillos del chasis se aflojan debido a la vibración, entre otros impactos mecánicos. Todos estos factores se convierten finalmente en intervenciones de mantenimiento más frecuentes. Para destacar la relevancia del IRI, numerosos países clasifican sus redes viales en categorías de condición basándose en este índice. Por ejemplo, en Honduras un pavimento con IRI inferior a 3.5 se considera bueno, regular hasta 6, y malo si supera los 6 (Instituto Mexicano del Transporte, 2006).

Pese a las variaciones en los rangos, el concepto principal es consistente, un incremento en el IRI señala deterioro y pérdida de confort, lo que repercute tanto en la necesidad de reparar la propia carretera, como en los costos asociados a los vehículos que la transitan. En el contexto urbano, medir el IRI de las calles puede resultar más complicado debido a intersecciones, tráfico y velocidades variables; no obstante, el uso del IRI también es efectivo para calles urbanas. Los tramos urbanos con adoquines desnivelados, asfalto envejecido o baches mostrarán altos IRI, asociados con quejas de los usuarios y con tasas elevadas de averías en vehículos. Por esta razón, ciertas ciudades llevan a cabo auditorías de regularidad en sus vías principales con el objetivo de planificar mantenimientos viales proactivos, optimizando la regularidad y disminuyendo de esta manera los efectos negativos en los vehículos de transporte público y privado.

2.2.4. Costo de mantenimiento vehicular

Los costos de mantenimiento vehicular abarcan todos los gastos vinculados a la conservación y reparación de un vehículo para mantenerlo funcionando de manera segura y eficaz. Para los autobuses urbanos, estos costos representan una porción significativa de los costos operativos totales incluyendo el combustible, los sueldos de los conductores, etc., y abarcan desde acciones preventivas hasta la corrección de averías de mayor envergadura. Es posible dividir el mantenimiento en dos categorías principales, como se indica en la tabla 2.

Tabla 2 Tipos de mantenimiento vehicular

Mantenimiento preventivo	Se trata de intervenciones realizadas de forma periódica y planificada con el objetivo de inspeccionar, limpiar, ajustar o reemplazar componentes antes de que ocurra una falla crítica. Este tipo de mantenimiento incluye actividades como cambio de aceite y filtros, revisión de frenos, rotación de neumáticos, alineado y balanceo, ajuste de suspensión, entre otros.
Mantenimiento correctivo	Se trata de la reparación o sustitución de piezas que presentan fallas o signos de desgaste pronunciado. Esto abarca acciones como cambiar amortiguadores defectuosos, reparar sistemas de dirección, reemplazar neumáticos reventados o desgastados, arreglar ejes o chasis agrietados, y reparar motores o transmisiones averiadas. Este tipo de mantenimiento suele ser más costoso y causa una interrupción significativa, por lo que se procura minimizar su frecuencia mediante un mantenimiento preventivo adecuado

Fuente: (León Duarte & Martínez Cadena, 2024)

La condición de la infraestructura vial afecta ambos tipos de mantenimiento. Una ruta suave y correctamente conservada facilita el cumplimiento regular de los ciclos de mantenimiento preventivo, conforme a lo previsto por el fabricante del vehículo. Por otro lado, cuando los autobuses funcionan en condiciones difíciles de vía como pavimento rugoso, topes abruptos, huecos los periodos de mantenimiento suelen reducirse. Elementos que usualmente durarían cierto número de kilómetros pueden fallar antes de lo previsto. A

continuación, se enumeran ejemplos de componentes críticos en autobuses urbanos y su afectación en un elevado IRI:

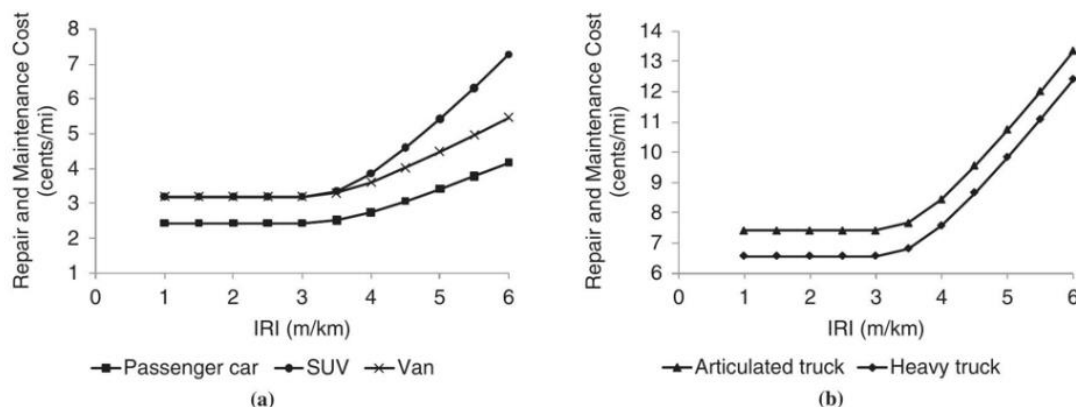
Tabla 3 Relación entre la regularidad del pavimento (IRI) y los principales tipos de mantenimiento vehicular afectados.

Neumáticos	El desgaste de neumáticos es en función a su ubicación, pueden sufrir cortes cuando circulan por caminos ásperos o llenos de baches. Cuando el pavimento está en mal estado, las ruedas se deterioran más rápido y es necesario aumentar la frecuencia de cambio. (Robinns & Tran, 2019).
Suspensión (amortiguadores, resortes, bujes)	Quizás es el sistema que más se ve afectado directamente por la regularidad. Cada irregularidad del camino genera una carga dinámica que debe ser absorbida por amortiguadores y resortes. En carreteras con alto IRI, los amortiguadores se esfuerzan al máximo, se recalientan y disminuyen su eficacia con mayor rapidez (Misaghi et al., 2021).
Dirección y alineación	Los golpes continuos contra baches y ondulaciones tienden a desajustar el sistema de dirección y a desalinear las ruedas. Un bus que transite en pavimento irregular probablemente requerida alineación y balanceo de neumáticos con más frecuencia, y sus componentes de dirección presentarán holguras que ameritan servicio o cambio antes de lo normal.
Chasis y carrocería	Las vibraciones constantes inducidas por una ruta rugosa pueden causar fatiga en el chasis y ruidos en la carrocería que pueden ser aflojamiento de tornillos y rotura de soportes, estos daños requieren soldaduras, refuerzos o cambio de piezas del chasis.
Sistemas mecánicos auxiliares	El sistema de frenos y el motor también pueden verse afectados de forma indirecta. Las vibraciones pueden hacer que los frenos se desgasten más rápido. Además, cuando un motor trabaja en caminos irregulares, sufre variación en la carga, lo que genera sobrecalentamiento.

Fuente: (Robinns & Tran, 2019)

La figura 1 muestra que hay un límite donde un incremento en la irregularidad superficial eleva los costos de mantenimiento. En pavimentos muy suaves con IRI alrededor de 2–3, el costo de mantenimiento se mantiene bajo con factor cercano a 1.0. A medida que el IRI supera 3 m/km, los costos de reparación y mantenimiento empiezan a aumentar de manera significativa (Misaghi et al., 2021).

Figura 1 Relación estimada entre la regularidad del pavimento IRI y el costo de mantenimiento vehicular, según diferentes tipos de vehículos operando a velocidades urbanas (Caso a y b).



Fuente: (Misaghi et al., 2021)

En síntesis, un mayor nivel de regularidad vial eleva la tasa de desgaste de prácticamente todos los componentes de un vehículo. Esto conlleva a más intervenciones de mantenimiento correctivo y, posiblemente, a un incremento de los costos totales de mantenimiento. (Chatti & Zaabar, 2014) encontraron que, hasta cierto umbral de regularidad, el efecto sobre costos de reparación es despreciable, pero más allá de dicho punto los costos se incrementan rápidamente.

Para las empresas de transporte urbano, cada dólar que no se destina al mantenimiento de las carreteras puede ser destinado a reparación y mantenimiento de los vehículos. Por eso al mantener las vías en buen estado no solo ayuda a reducir costos, sino que también beneficia a los usuarios que pueden acceder a mejores tarifas y un servicio de mejor calidad.

2.2.5. Correlación entre seguridad y mantenimiento

Varios estudios han medido la relación entre la regularidad del pavimento y los costos asociados al mantenimiento de vehículos. La evidencia apoya la idea intuitiva de que a medida que aumenta la regularidad de la vía medida en IRI, aumentan los gastos requeridos para mantener un vehículo en funcionamiento. No obstante, resulta beneficioso examinar esta relación con más profundidad, incluyendo umbrales y las magnitudes de impacto halladas en diferentes fuentes de consulta. A nivel internacional, el trabajo de (Chatti & Zaabar, 2014) es referente en el tema. Estos autores, después de calibrar modelos de costos vehiculares con datos experimentales, informaron que hasta un IRI de 3 m/km no se notaba un aumento significativo en los costos de reparación y mantenimiento de los vehículos, es decir dentro de rangos de regularidad “buenos a aceptables”, el efecto se mantiene al margen.

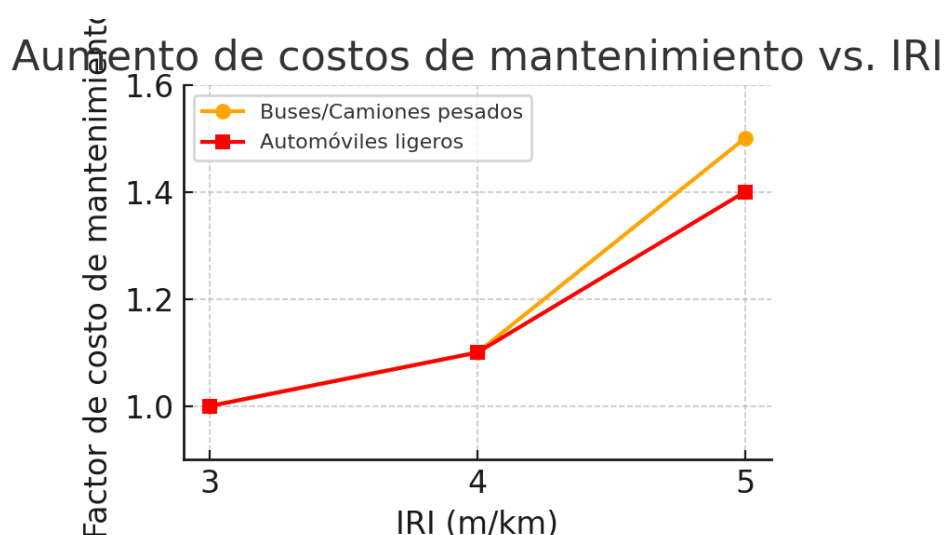
Sin embargo, más allá de IRI 3 m/km, los costos empiezan a crecer de manera notable. Un incremento de regularidad de 3 a 4 m/km que implicaría pasar de un estado bueno/regular a regular/malo, se relacionó con un aumento del orden del 10% en los costos

de mantenimiento y reparación tanto para automóviles como para vehículos pesados (Chatti & Zaabar, 2014).

Y al llegar a niveles de IRI de 5 m/km que es una vía francamente deteriorada, los costos de mantenimiento pueden elevarse hasta un 40% por encima de lo normal en el caso de automóviles y alrededor de 50% en vehículos pesados como buses o camiones (Chatti & Zaabar, 2014).

Esta relación quiere decir que hay un punto de inflexión en la calidad del pavimento donde el desgaste del vehículo empieza a aumentar. Esto sucede porque el daño se acumula con el tiempo, mientras la carretera se mantenga en buen estado, el vehículo trabajara dentro de lo esperado. Pero cuando el mal estado de la vía pasa de cierto límite, cada kilómetro recorrido genera daños y cargas mucho más fuertes que lo que los componentes no pueden soportar, causando que se dañen con más frecuencia.

Figura 2 Relación estimada entre la regularidad del camino (IRI) y el incremento relativo en los costos de mantenimiento vehicular.



Fuente: (Chatti & Zaabar, 2014)

Se destaca que por encima de IRI 3 m/km, los costos de mantenimiento empiezan a aumentar notablemente. Para vehículos de gran tamaño como autobuses (curva de color naranja en Figura 2), un IRI de 5 m/km puede representar hasta un 50% superior en los costos de mantenimiento en comparación con un IRI de 3 como comparación base. La tendencia en vehículos livianos (curva roja en Figura 2) es parecida, presentando un aumento del 40% a IRI 5 m/km. Este gráfico muestra cómo el deterioro de la regularidad superficial tiene un impacto económico en los usuarios de la vía.

Varias investigaciones también habían sugerido que pavimentos más rugosos resultan en mayor desgaste de neumáticos y piezas, incrementando los costos por kilómetro recorridos para los transportistas (Chatti & Zaabar, 2014).

En términos porcentuales, (Robinns & Tran, 2019) señala que manejar en carreteras en mal estado puede costarle a un conductor en promedio \$377 dólares estadounidenses adicionales por año en mantenimiento y operación del vehículo, esto concuerda con los aumentos porcentuales mencionados para vehículos de uso común. Resalta que, en cualquier situación, el usuario acaba pagando por la infraestructura deficiente a través de incrementos en los gastos de taller y recambios. En el ámbito nacional de Ecuador, se han comenzado a registrar casos que demuestran esta correlación.

Un estudio local (Vaca et al., 2023) realizado en el cantón Tena de características similares a Riobamba en cuanto a cantidades de mantenimiento, analizó la incidencia del estado de la vía en el costo de mantenimiento de buses urbanos, encontrando una clara tendencia: las rutas con peor estado superficial de mayor regularidad y presencia de baches presentaban costos de mantenimiento por kilómetro significativamente más altos que aquellas rutas en mejor condición. Si bien los detalles cuantitativos varían, la conclusión coincide con los estudios globales: mejorar el estado de las vías urbanas puede traducirse en ahorros considerables en mantenimiento vehicular para los operadores de transporte.

Además, al reducir las vibraciones en los autobuses, se logra un menor consumo de combustible y una mayor duración de los vehículos. No obstante, esta relación también puede verse afectada por factores como la velocidad, la carga transportada y la calidad de los componentes.

Por ejemplo, (Chatti & Zaabar, 2014) señalaron que en camiones pesados a baja velocidad 56 km/h el impacto de la regularidad en el consumo y desgaste puede ser aún mayor que a velocidades altas.

Aunque los buses en Riobamba circulan velocidad moderada, no evita el impacto de un pavimento en mal estado, ya que las suspensiones absorben más las irregularidades en cualquier velocidad. Es por esto que la clave no está en ir lento, sino en mejorar la calidad de las vías. Mantener un IRI bajo no solo mejora la comodidad y seguridad del viaje, sino que también reduce los costos de reparación, haciendo más sostenible el sistema de transporte urbano.

2.2.6. Medición de Regularidad Vial con Physics Toolbox Sensor Suite: Uso y Fiabilidad

Una alternativa moderna y de bajo costo para evaluar la regularidad de una vía es utilizar las aplicaciones de sensores en teléfonos inteligentes, como Physics Toolbox Sensor Suite. Esta aplicación permite registrar los datos del acelerómetro del smartphone para cuantificar las vibraciones que sufre el vehículo al recorrer un camino. En realidad, el teléfono se sitúa de manera segura dentro del vehículo y se activa el modo de registro de aceleración vertical mientras este circula por la ruta de interés. La serie temporal de aceleraciones obtenidas posteriormente puede ser procesada para estimar el valor del IRI del tramo, ya sea mediante la aplicación de correlaciones empíricas o la simulación de un modelo de cuarto de carro sobre el perfil reconstruido.

Investigaciones académicas indican que estas mediciones in situ con smartphones muestran una correlación con los métodos profesionales de alto costo: por ejemplo, el IRI procedente de acelerómetros de teléfono mostró correlación fuerte y positiva con el medido por perfilómetros láser de referencia en pruebas experimental (Fiorentini et al., 2021).

Esto demuestra que, con una buena gestión, las aplicaciones de teléfonos inteligentes pueden ofrecer mediciones bastante confiables sobre el estado de las vías. Sin embargo, es importante calibrarlas antes de usarlas, ya que variables como la velocidad, la suspensión del vehículo y la forma en que se coloca el celular pueden afectar los resultados.

Por ejemplo, las diferencias entre distintos vehículos y suspensiones tienden a ser mayores a baja velocidad, pero a velocidades intermedias (40–80 km/h) las mediciones son más consistentes.

Por ello, se recomienda realizar las mediciones a una velocidad relativamente constante y representativa del tránsito normal. La aplicación Physics Toolbox permite exportar los datos crudos en formato .csv para análisis; a partir de ellos, se puede aplicar un filtro para aislar las componentes de baja frecuencia asociadas a ondulación del pavimento y luego calcular el IRI mediante algoritmos validados. Muchos investigadores emplean ecuaciones de correlación lineal entre parámetros estadísticos de la señal de aceleración y el IRI medido tradicionalmente (Fiorentini et al., 2021).

Los beneficios de utilizar Physics Toolbox Sensor Suite u otras aplicaciones parecidas son evidentes: costo reducido ya que se utiliza únicamente se necesita un teléfono móvil, sencillez de manejo y portabilidad, facilitando levantamientos rápidos de la regularidad en terreno sin requerir de dispositivos avanzados. Además, permite la recopilación en masa de datos si diversos vehículos reportan sus mediciones, lo que resulta beneficioso para supervisar la red de carreteras.

La dispersión de resultados puede aumentar si no se controla la velocidad o si el teléfono tiene sensores de baja calidad. Además, la presencia de vibraciones propias del motor o ruido pueden interferir, por lo que se sugiere montar el dispositivo lo más rígidamente posible al chasis del vehículo para captar fielmente las irregularidades del pavimento (Wang et al., 2020).

Pese a ello, numerosas pruebas indican que con un montaje adecuado y tras aplicar calibraciones, las mediciones de regularidad vía smartphone son repetibles y reflejan correctamente las diferencias de estado del pavimento por ejemplo, distinguiendo tramos buenos vs malos por su IRI (Buttler & Islam, 2014).

En resumen, el uso de aplicaciones como “Physics Toolbox” y herramientas similares es una opción práctica y económica para realizar la evaluación del estado vial. Aunque cabe recalcar que es importante calibrar y validar los datos correctamente, sobre todo si está destinado para ser fuente de información.

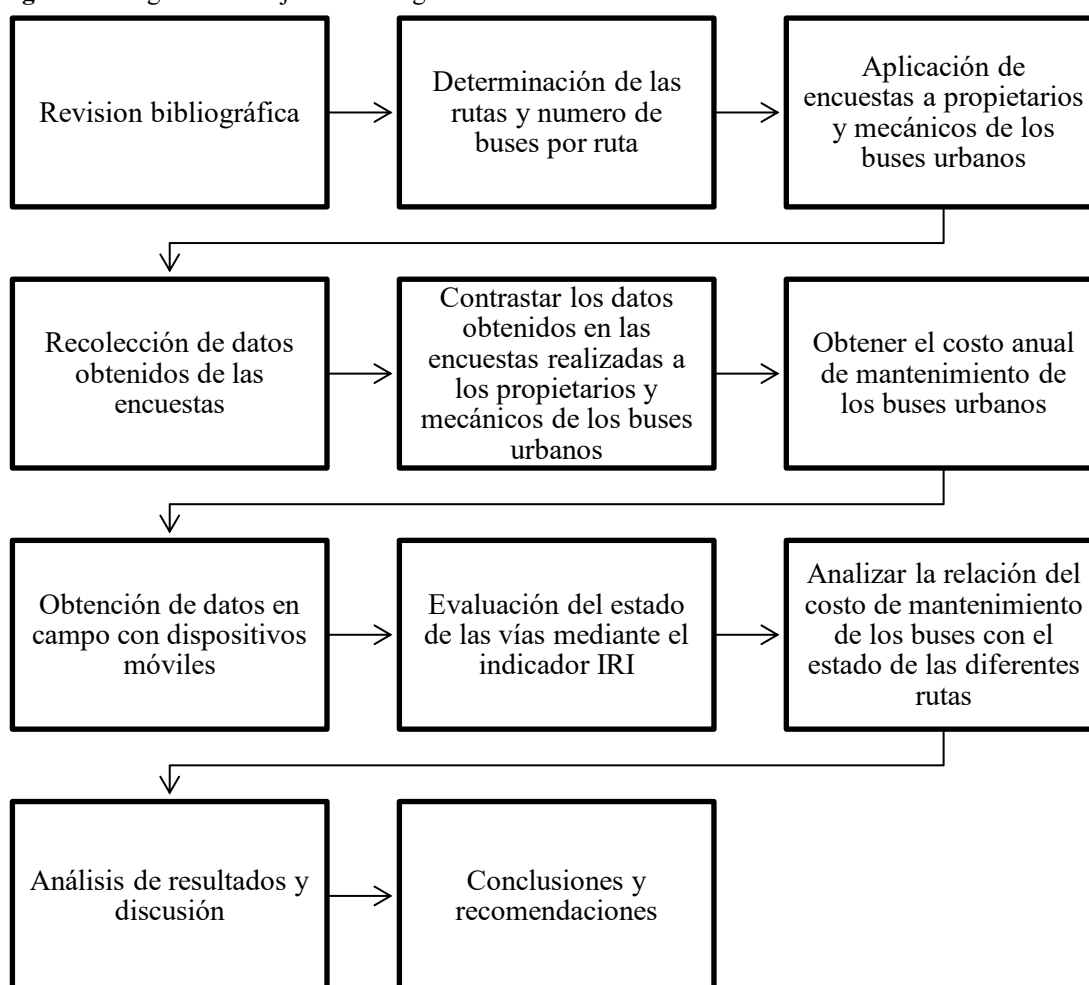
Se integro conceptos de infraestructura vial, transporte urbano e IRI, y costos de mantenimiento para fundamentar esta relación. A partir de esto, el proyecto de investigación se centrará en la cuantificación específica del impacto en el caso de estudio en Riobamba, apoyándose en datos nacionales e internacionales y en metodologías establecidas para evaluar tanto el estado de las vías como los registros de mantenimiento de la flota de buses urbanos.

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1.Tipo de Investigación

La metodología que se utilizó en la presente investigación es de tipo mixta, basándose en un enfoque cualitativo-cuantitativo, ya que se realizó una recopilación de datos e información, aplicando el indicador IRI para determinar la regularidad de las vías en las rutas que circulan los buses urbanos en el cantón Riobamba. Así mismo, se emplearon encuestas a los propietarios de los buses y mecánicos para poder evaluar la incidencia en el costo de mantenimiento en relación con el estado de las diferentes rutas o circuitos de recorrido. La Figura 3 muestra la secuencia de pasos a realizar.

Figura 3 Diagrama de flujo Metodología



3.2.Diseño de Investigación

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque no experimental y de tipo transversal. Esto significa que no se modificaron las condiciones de estudio ni se alteraron las variables, sino que se observó la situación tal como ocurre en la realidad. Esta forma de trabajar resulta muy útil cuando se busca entender ciertos factores, sobre como el estado de las vías pueden estar influyendo en otros aspectos, como el mantenimiento de los vehículos, sin necesidad de intervenir directamente.

Al ser un estudio de tipo transversal, los datos se recopilaron en un solo momento, lo que permitió tener un mejor panorama del estado de las vías y su impacto en los costos del transporte urbano.

El estudio se apoyó en una revisión bibliográfica que permitió conocer investigaciones previas y enfoques de diferentes autores sobre el deterioro vial. Esta base ayudó a un mejor entendimiento de los resultados para el análisis en el medio local.

3.3. Técnicas de recolección de Datos

Se utilizaron técnicas mixtas:

- Trabajo de campo: Se evaluó la regularidad de varias rutas urbanas utilizando la aplicación Physics Toolbox Suite, que permite registrar la aceleración vertical del vehículo para estimar el IRI.
- Encuestas estructuradas: Aplicadas a conductores, propietarios y mecánicos de buses urbanos, con el fin de conocer la frecuencia y tipo de mantenimientos, así como los costos asociados.

3.4. Población de estudio y tamaño de muestra

La población de estudio está conformada por las unidades de transporte urbano que operan dentro del cantón Riobamba, así como por sus respectivos conductores, propietarios y mecánicos encargados del mantenimiento de las unidades. Esto representa el universo desde el cual se pretende conocer la incidencia del estado de la vía en los costos de mantenimiento vehicular.

Para seleccionar la muestra, se eligieron rutas clave que recorren diferentes zonas del cantón, analizando la accesibilidad, el tránsito frecuente y el estado del pavimento. Se trabajó con personas relacionadas al transporte urbano para realizar encuestas en el lugar. La muestra se definió de forma no probabilística, es decir según la disponibilidad y colaboración de los involucrados, asegurando variedad en los datos.

3.5. Métodos de análisis

El análisis de los datos se estructuró con base en procedimientos cuantitativos validados por estudios técnicos y metodológicos. Inicialmente, se aplicó estadística descriptiva para identificar medidas de tendencia central como media, mediana, moda y de dispersión desviación estándar, rango intercuartílico sobre los indicadores de regularidad (IRI) y los componentes del costo de mantenimiento de buses urbanos. Estas variables se agruparon por rutas evaluadas dentro del cantón Riobamba.

Se aplicaron herramientas estadísticas como el coeficiente de Pearson para conocer la relación entre los datos obtenidos en distintas fases de la encuesta. También se elaboraron tablas comparativas para contrastar los costos locales con los de otras ciudades, esto permitió identificar diferencias y calcular variaciones. Además, que ayudó a entender mejor cómo distintos factores influyen en los costos de mantenimiento.

Se emplearon recursos gráficos que permitieron visualizar de manera clara y ordenada los resultados obtenidos. Entre ellos, se elaboraron gráficos para identificar cuáles son los repuestos vehiculares que presentan mayor frecuencia de cambio según la percepción de los usuarios. También se construyeron histogramas para analizar la distribución de los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los distintos tramos evaluados, lo cual facilitó el diagnóstico del estado del pavimento. Además, se incluyeron diagramas de barras comparativas para representar las diferencias de precios, lo que aportó una visión más accesible y directa de las variaciones en los costos de mantenimiento vehicular.

3.6. Procesamiento de datos

En cuanto al procesamiento del IRI, se utilizó la aplicación Physics Toolbox Suite, la cual permite registrar aceleraciones verticales a través de sensores del teléfono inteligente. Los datos se exportaron en formato .csv para su análisis posterior en hojas de cálculo y software estadístico. Se aplicaron filtros para organizar datos y obtener lecturas precisas de la regularidad promedio por cada tramo recorrido.

Los resultados de las encuestas se organizaron con el fin de detectar patrones en los costos de mantenimiento, como partes del vehículo más afectadas y la frecuencia de reparaciones. Esta información cualitativa se convirtió en datos numéricos que se usaron en el análisis general del estudio.

Los datos se procesaron usando Microsoft Excel, lo que facilitó su organización y clasificación para ser analizados estadísticamente. Se crearon gráficos de dispersión, diagramas de cajas y tablas de frecuencias para mostrar de manera visual los resultados obtenidos.

A continuación, se presentan algunos ejemplos referenciales que ilustran el tipo de análisis a realizar, incluyendo la categorización de IRI que se empleó:

Tabla 4 Relación entre valores de IRI

Categoría de Estado	Clasificación INVIAS	IRI
Muy Bueno	MB	<2.5
Buena	B	<3.5
Regular	R	<4.5
Malo	MB	<5.5
Muy Malo	MM	>5.5

Fuente: (Gómez Lizarazo et al., 2016)

La integración de estos métodos busca generar evidencia estadística sólida que permita determinar si las condiciones de las vías urbanas en Riobamba influyen significativamente en los gastos de mantenimiento de los buses. Por lo que esta información servirá como base técnica para futuras propuestas de rehabilitación vial en la ciudad.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la recolección y análisis de datos relacionados con la regularidad de las vías urbanas del cantón Riobamba y su impacto en el costo de mantenimiento de los buses urbanos. Se incluyen los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenidos mediante la aplicación Physics Toolbox Suite, así como los datos extraídos de las encuestas aplicadas a conductores, propietarios y mecánicos. La información recogida mostró diferencias en el estado de las vías analizadas, además de un aumento en los costos de mantenimiento en los tramos más deteriorados.

Los resultados se presentan en tablas, gráficos y análisis para facilitar su comprensión. Se mostrarán los promedios de IRI por tramo, los tipos de daño mecánico reportados con mayor frecuencia, y el costo promedio mensual de mantenimiento asociado a cada tramo analizado. Estos datos servirán de base para la discusión que se realiza posteriormente, en la cual se contrastan los resultados con antecedentes teóricos y estudios previos.

4.1.1. Análisis de Resultados del IRI por Ruta de Bus Urbano

Se expone los hallazgos derivados del cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en las distintas rutas del transporte urbano del cantón Riobamba. Para cada línea de bus se realizaron mediciones correspondientes a cada ruta, utilizando la aplicación Physics Toolbox Suite, la cual permitió registrar aceleraciones verticales del vehículo y convertirlas en datos de regularidad superficial. Estos datos se procesaron con herramientas estadísticas para obtener indicadores como mínimo, máximo, cuartiles, media y mediana. Además, se representaron gráficamente mediante diagramas de cajas y bigotes e histogramas que se representan en función a la distancia, lo que facilita la visualización de la dispersión de los datos, valores atípicos y concentración de tramos con mayor irregularidad. El análisis gráfico fue complementado con las tablas estadísticas, permitiendo observar de forma integral el comportamiento del IRI en cada ruta.

A continuación, se detallan algunas de los resultados de algunas líneas.

- **Línea 1**

La Ruta 1 presenta un promedio de IRI de 2.97 m/km, una mediana de 2.93 m/km y un máximo de 3.51 m/km. El rango intercuartílico es bastante estrecho, esto indica que la regularidad se mantiene estable, aunque se encontraron algunos tramos con irregularidades moderadas. Esto se evidencia en la Figura 4.

Figura 4 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 1

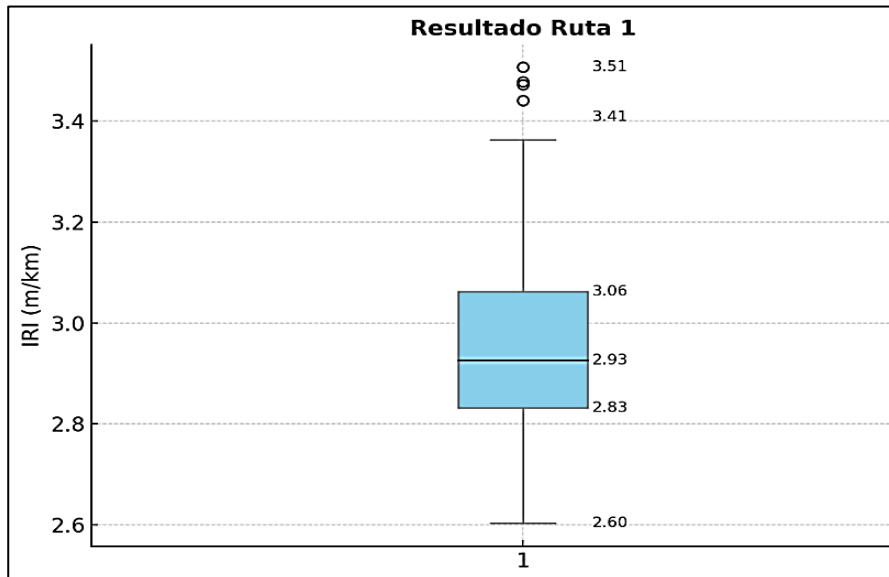
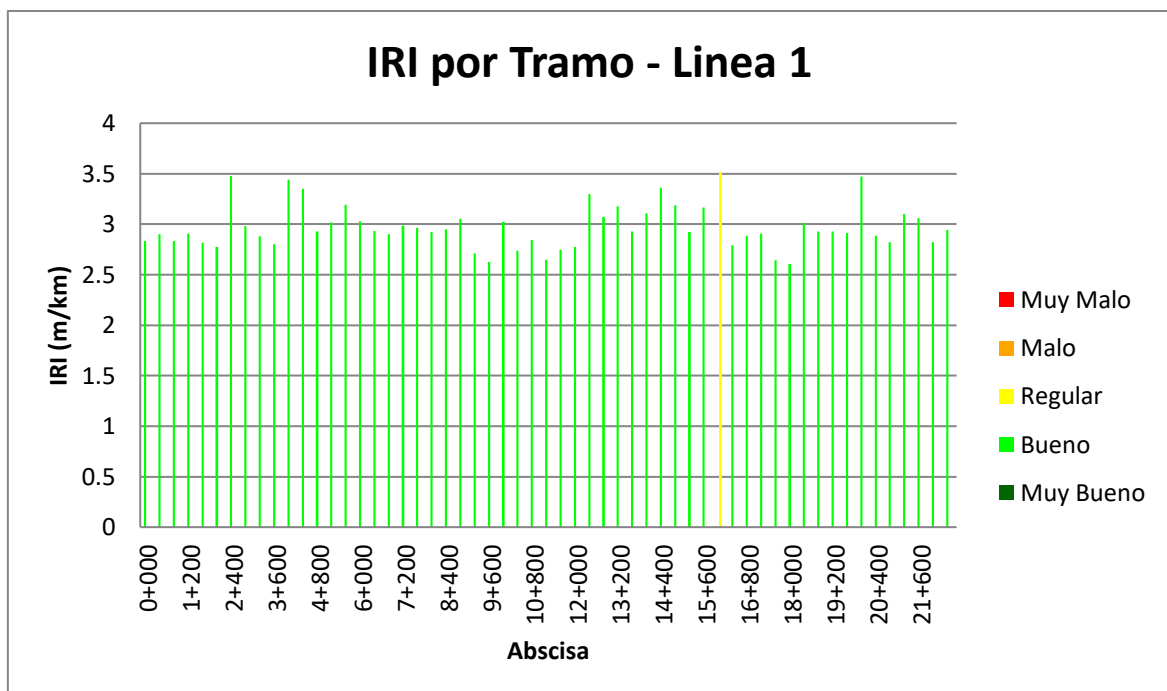


Figura 5 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 1



- **Línea 2**

En esta ruta representada en la figura 7 presenta una condición vial relativamente uniforme, con la mayoría de los valores de IRI oscilando entre 2.27 y 2.79 m/km. Aunque el IRI no alcanza niveles críticos, la dispersión hacia valores más altos podría indicar segmentos localizados con mayor deterioro.

Figura 6 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 2

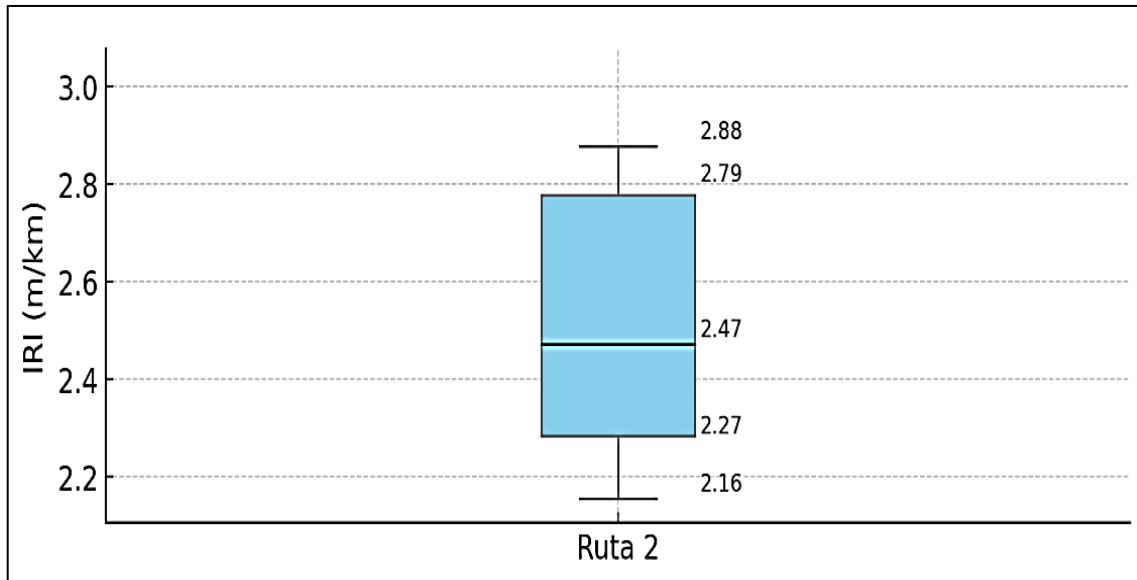
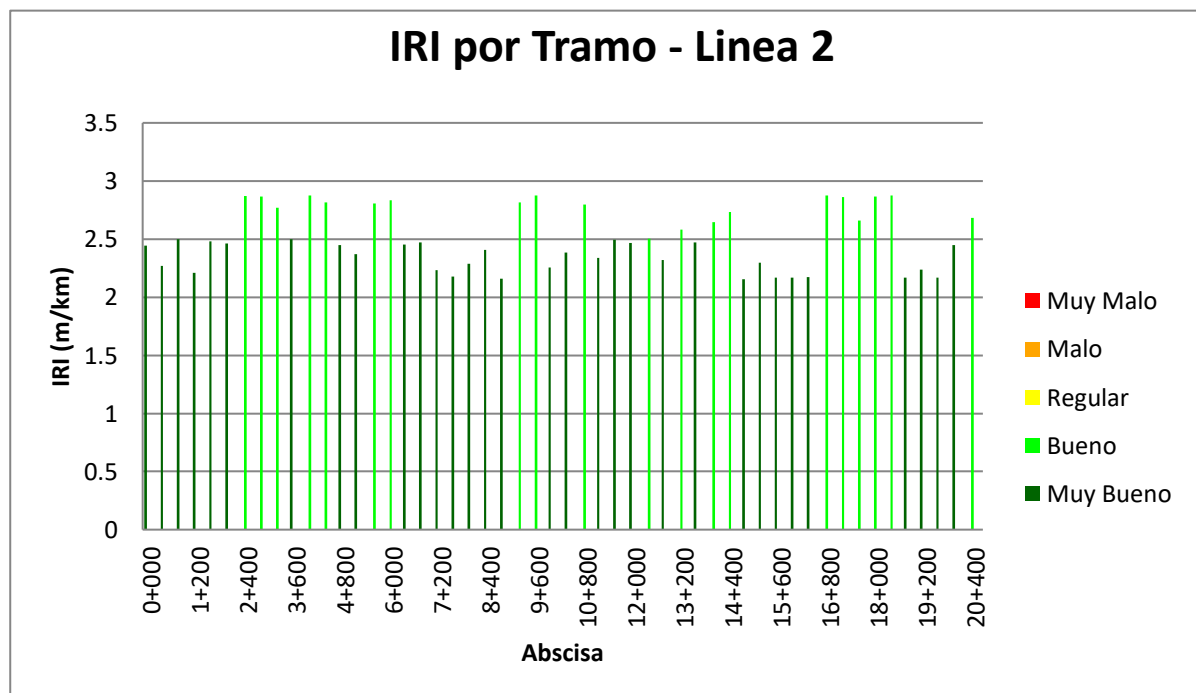


Figura 7 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 2



- **Línea 3**

La Ruta 3 presenta una superficie vial moderadamente deteriorada, con varios tramos en mal estado evidenciados por los valores atípicos por encima de 3.30 m/km. La dispersión indica irregularidad en la condición del pavimento.

Figura 8 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 3

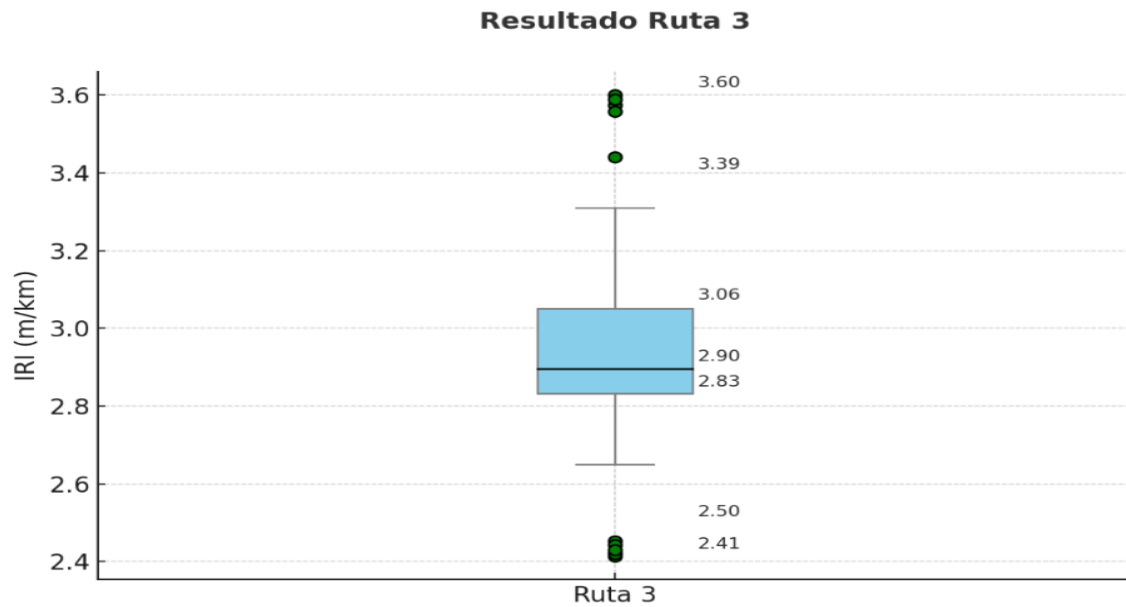
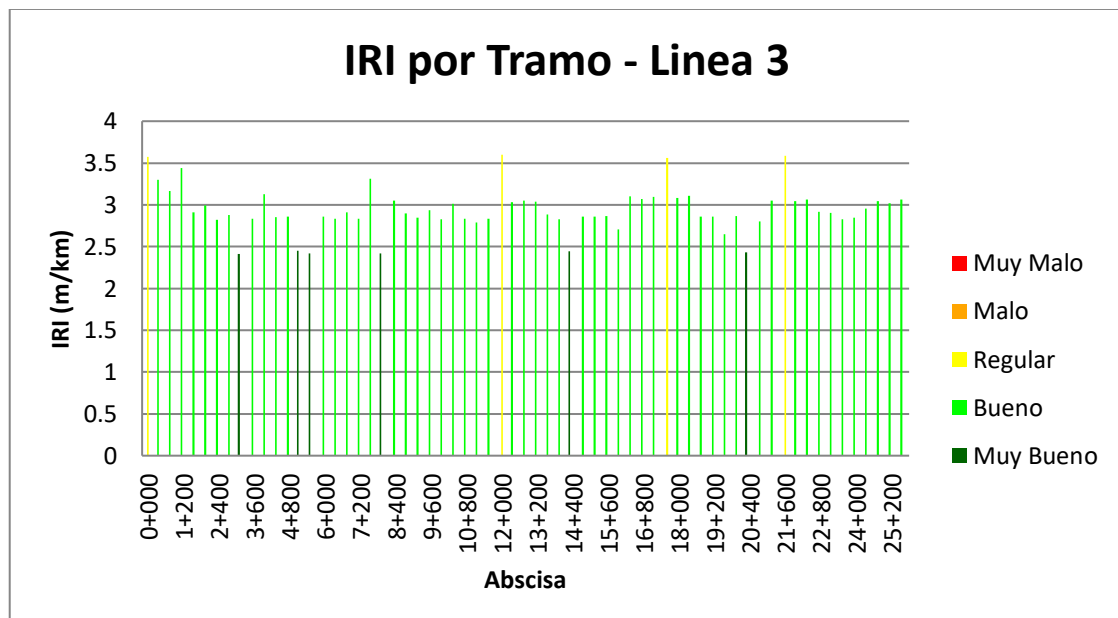


Figura 9 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 3



- **Línea 4**

Presenta una mediana de IRI de 2.84 m/km, lo que indica un pavimento con regularidad moderada. Sin embargo, la presencia de varios valores atípicos por encima de 3.00 y por debajo de 2.50 m/km refleja irregularidades puntuales.

Figura 10 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 4

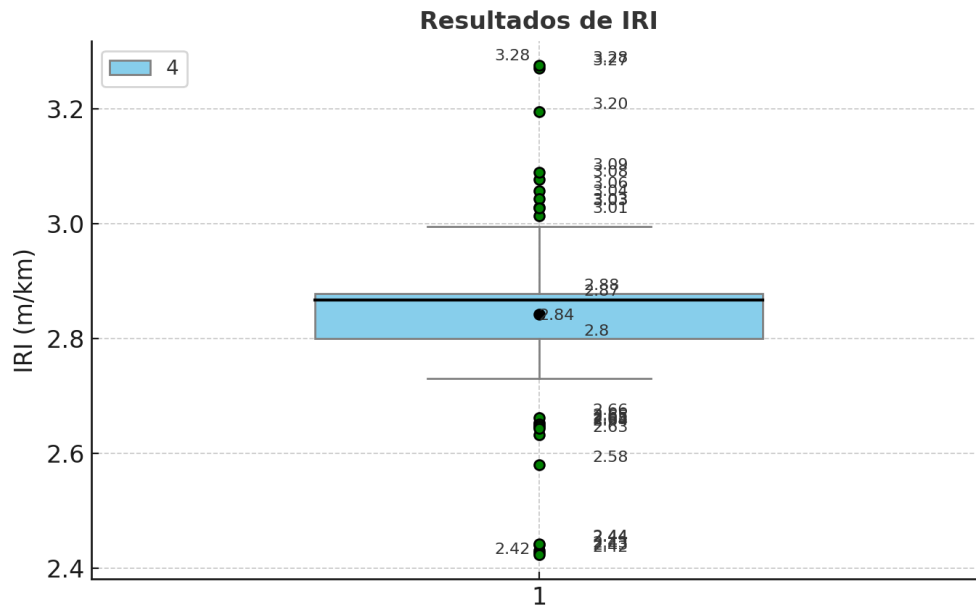
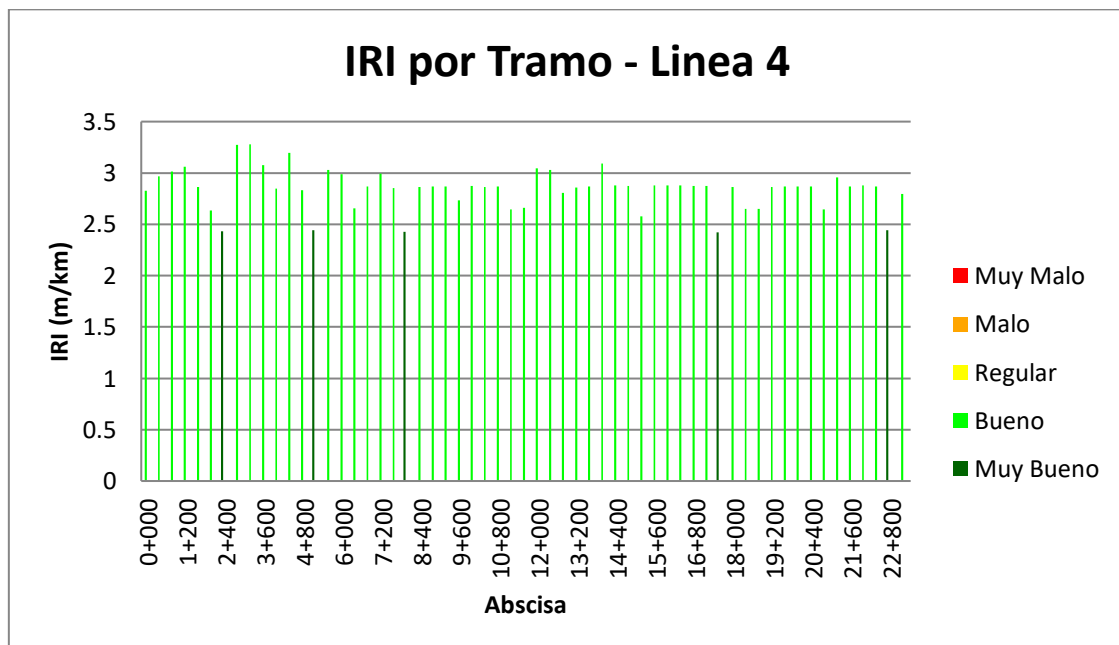


Figura 11 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 4



- **Línea 5**

El tramo evaluado presenta una mediana de IRI de 2.87 m/km, lo que indica un nivel moderado de regularidad. Existe una dispersión amplia entre los valores, con un mínimo de 2.42 y un máximo de 3.59 m/km, reflejando variaciones significativas en la condición del pavimento.

Figura 12 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 5

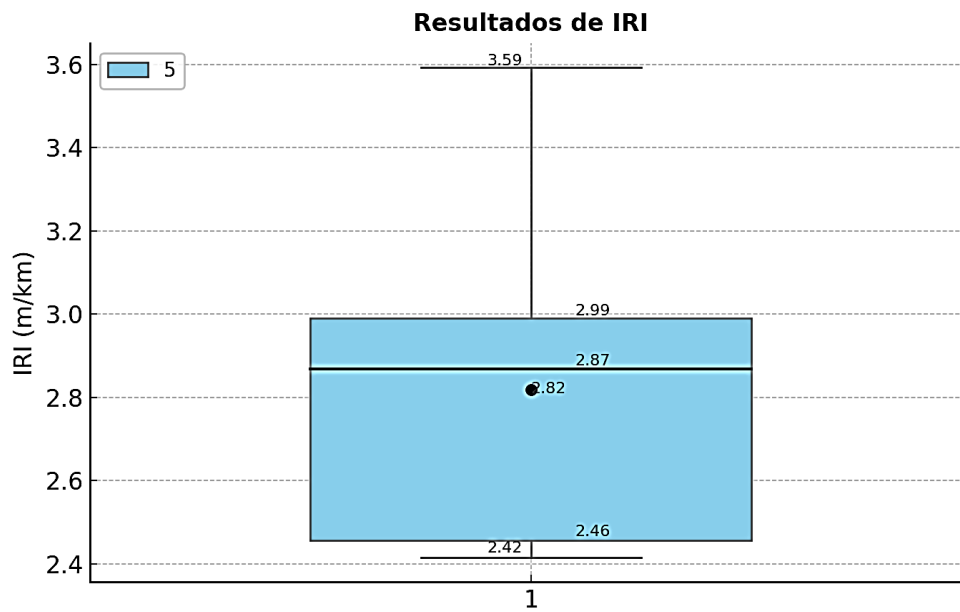
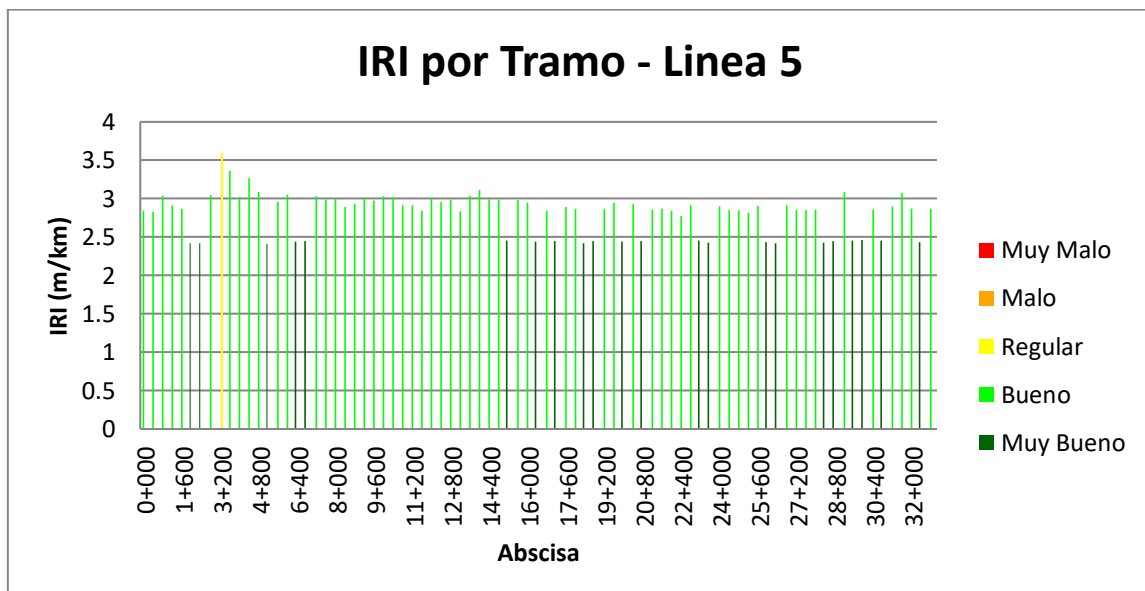


Figura 13 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 5



- **Línea 6**

La mediana del IRI para esta ruta es de 2.84 m/km, lo que indica una regularidad moderada. Aunque la mayoría de los datos están distribuidos de forma uniforme, destaca un valor atípico elevado de 3.66 m/km, que sugiere la existencia de un tramo con deterioro significativo en la superficie vial.

Figura 14 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 6

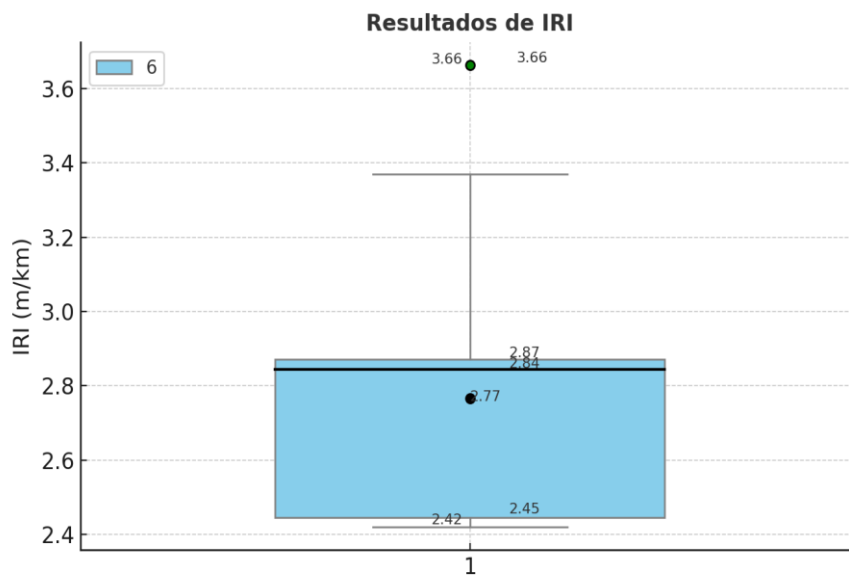
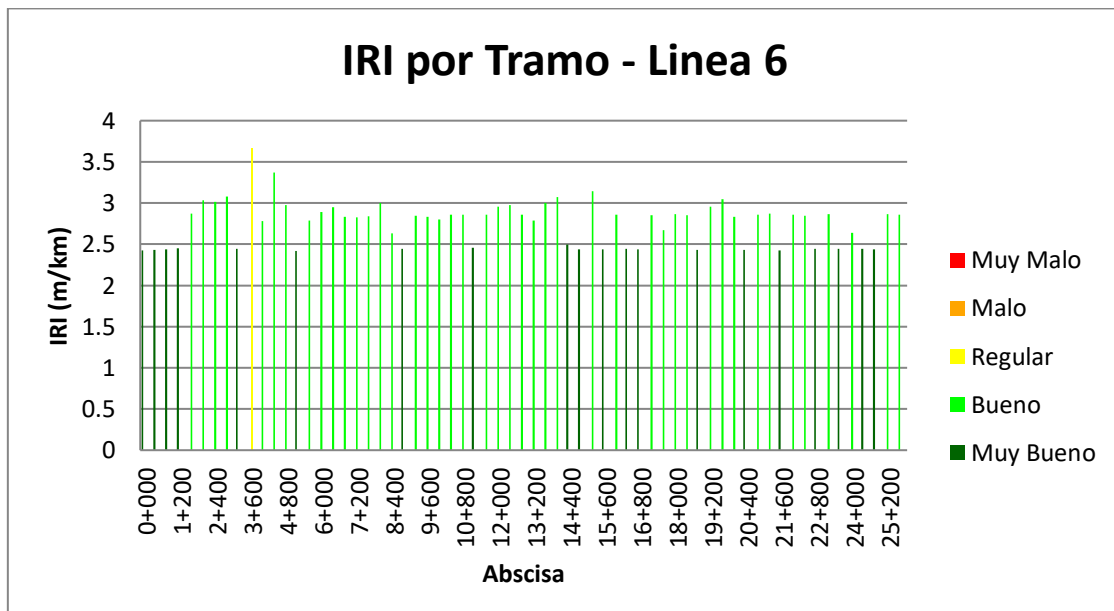


Figura 15 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 6



- **Línea 7**

La Ruta 7 muestra una mediana de IRI de 2.88 m/km, lo que indica una condición superficial aceptable con tendencia al deterioro. La mayoría de los datos están concentrados sin gran dispersión, aunque se detecta un valor atípico de 3.65 m/km que señala un tramo con regularidad significativamente mayor.

Figura 16 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 7

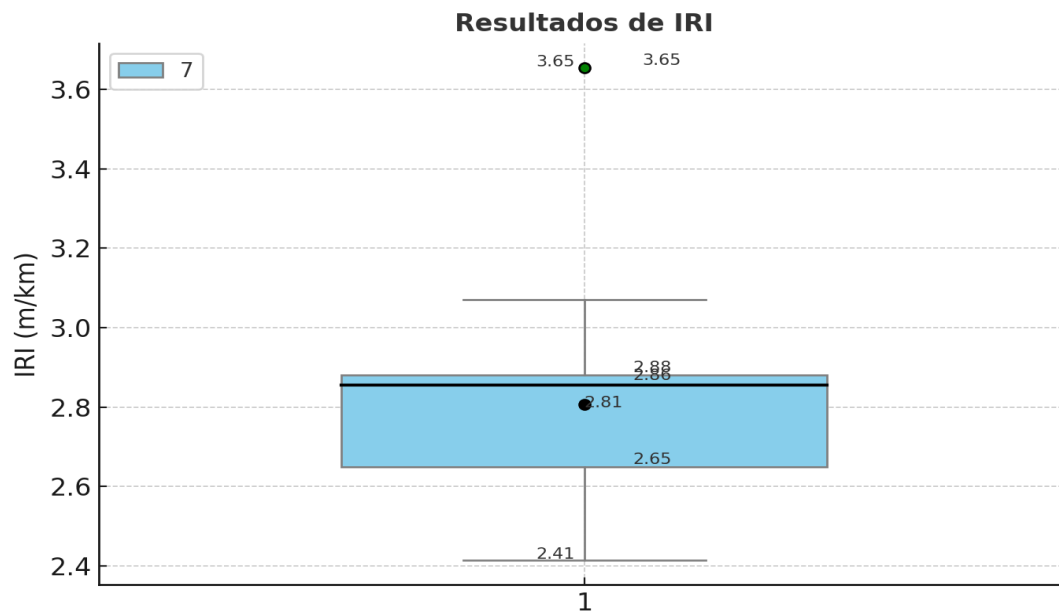
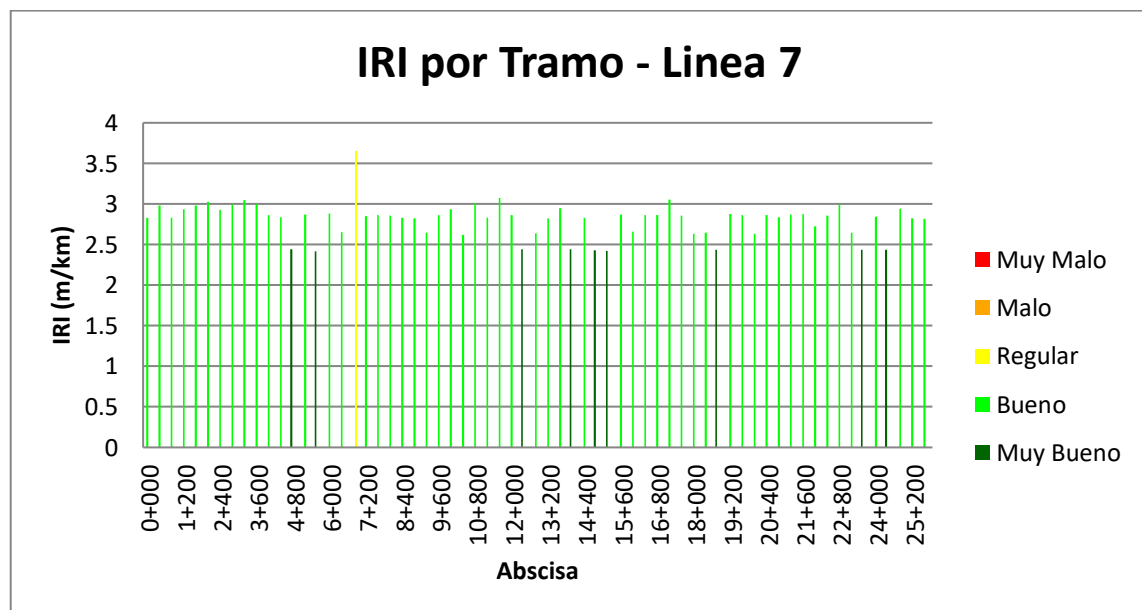


Figura 17 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 7



- **Línea 8**

Muestra una mediana de IRI de 2.969 m/km, indicando un pavimento moderadamente rugoso. La dispersión es leve, pero se identifican valores extremos, especialmente un máximo de 3.642 m/km, que sugiere la presencia de tramos con deterioro significativo en la vía.

Figura 18 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 8

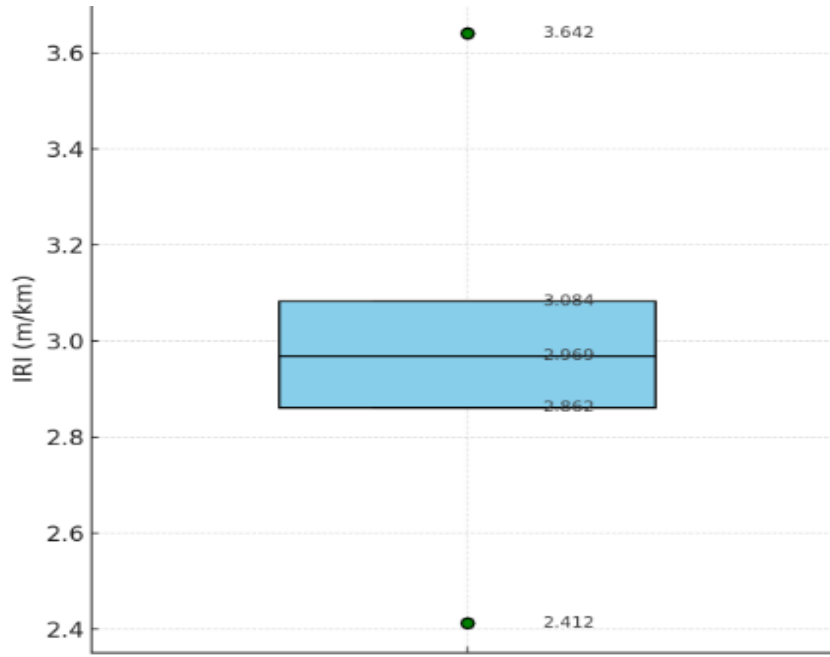
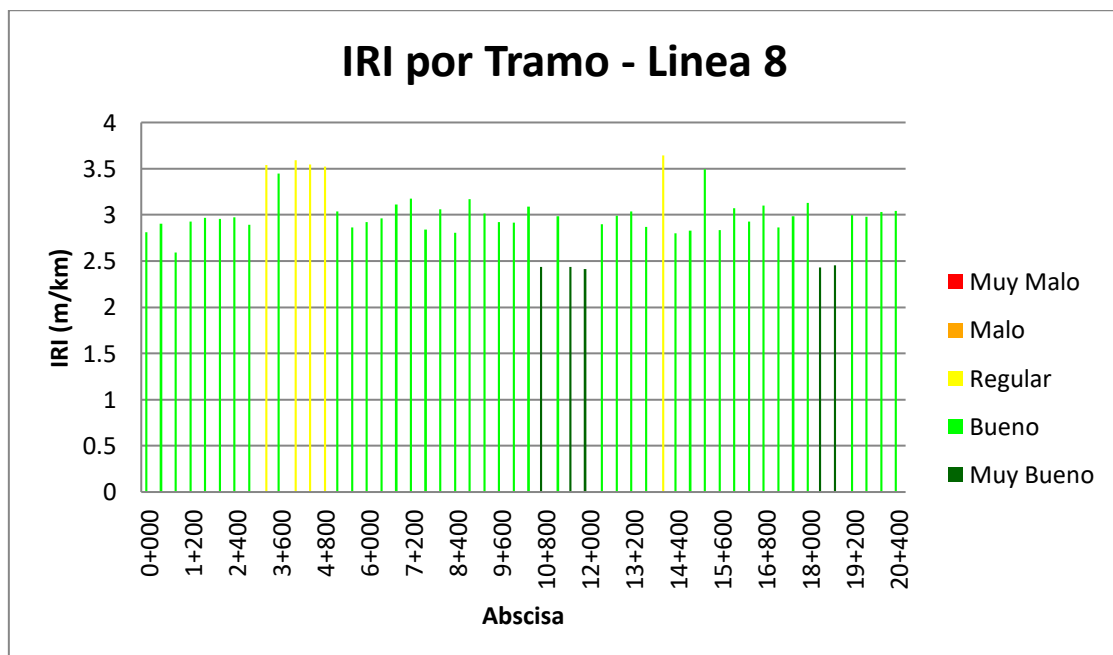


Figura 19 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 8



- **Línea 9**

La mediana del IRI es de 2.92 m/km, lo que indica una regularidad moderada en la superficie. El rango intercuartílico es estrecho, lo que sugiere uniformidad en gran parte del tramo. Se observan valores por encima de 3.50 y por debajo de 2.50 m/km, reflejando tramos con condiciones notablemente diferentes, tanto mejores como más deterioradas.

Figura 20 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 9

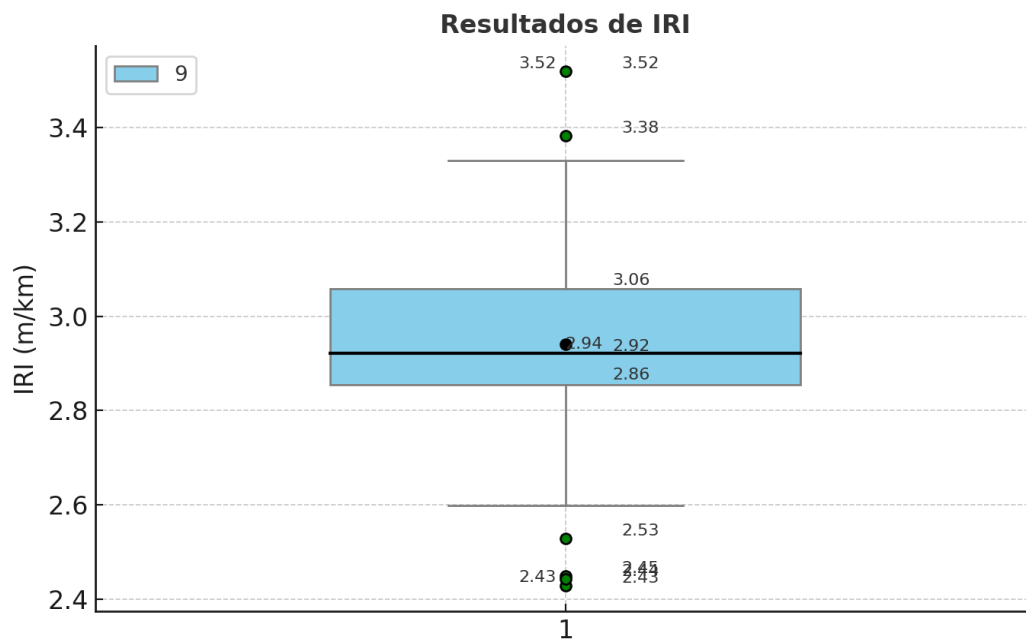
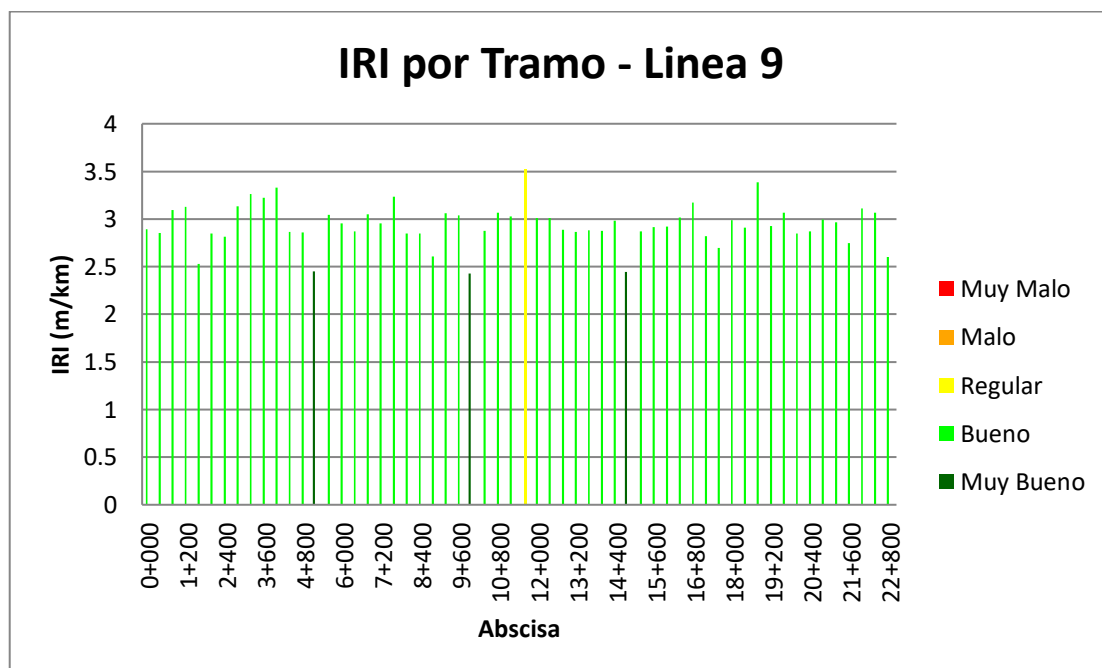


Figura 21 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 9



- **Línea 10**

La mediana del IRI es de 2.79 m/km, lo que refleja una condición de pavimento moderada. La dispersión entre cuartiles es notable, y los valores extremos de 2.30 y 3.11 m/km indican presencia de tramos con buena condición.

Figura 22 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 10

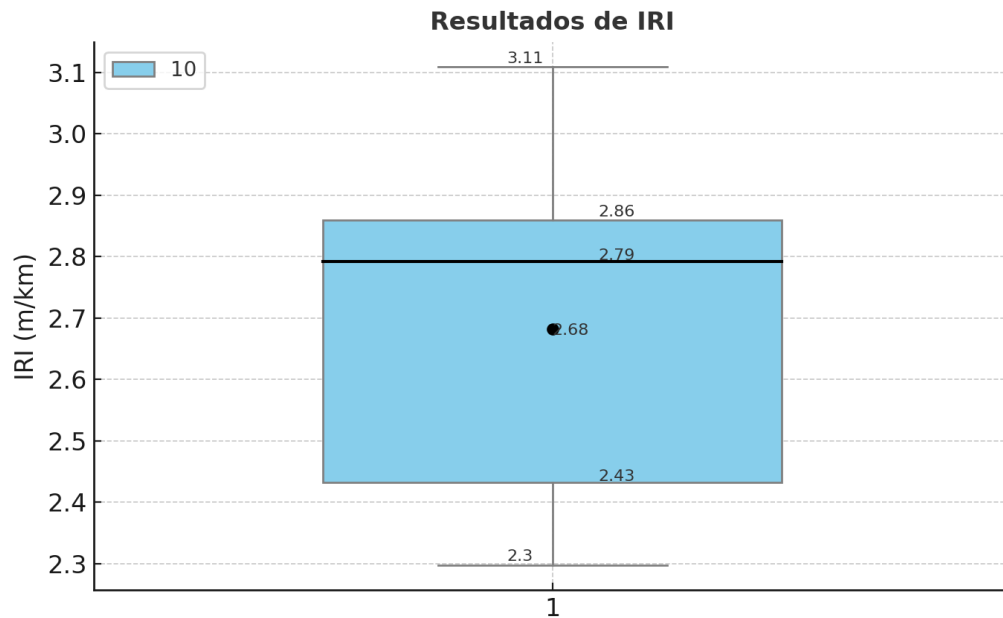
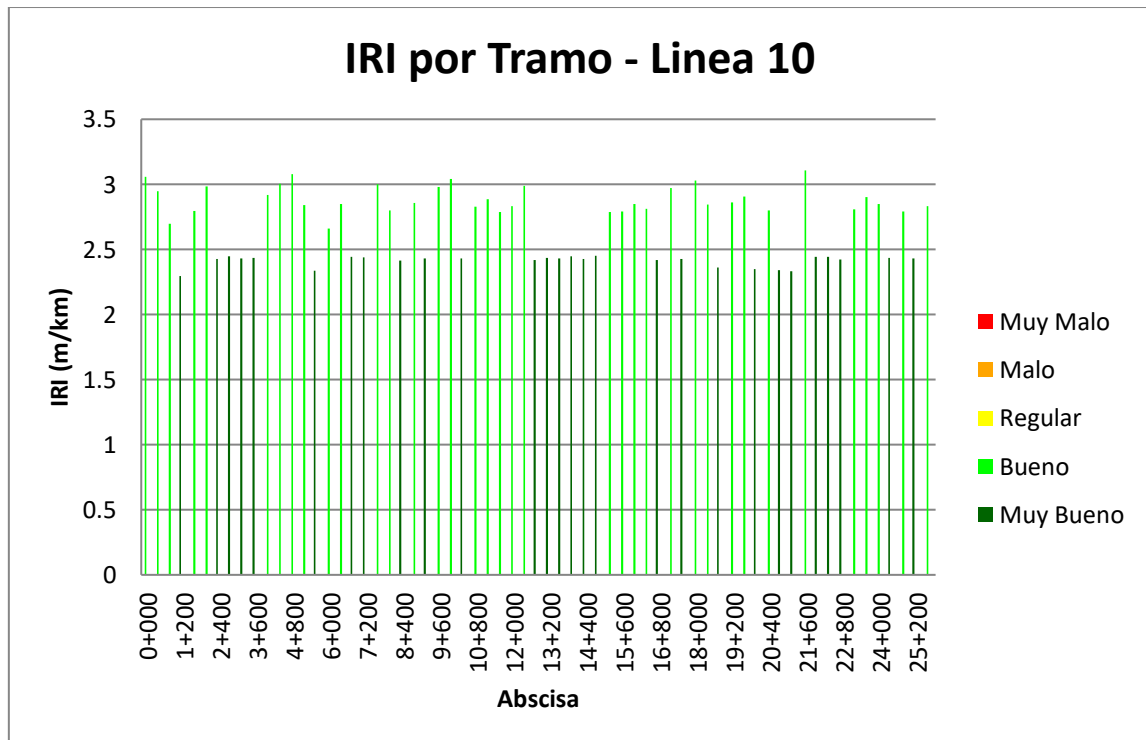


Figura 23 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 10



- **Línea 11A**

La mediana del IRI es de 2.86 m/km, lo que indica una condición vial moderada. La distribución es equilibrada, con valores que oscilan entre 2.33 y 3.48 m/km. La presencia de tramos por encima de 3.00 sugiere zonas con mayor regularidad que podrían requerir mantenimiento puntual.

Figura 24 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 11A

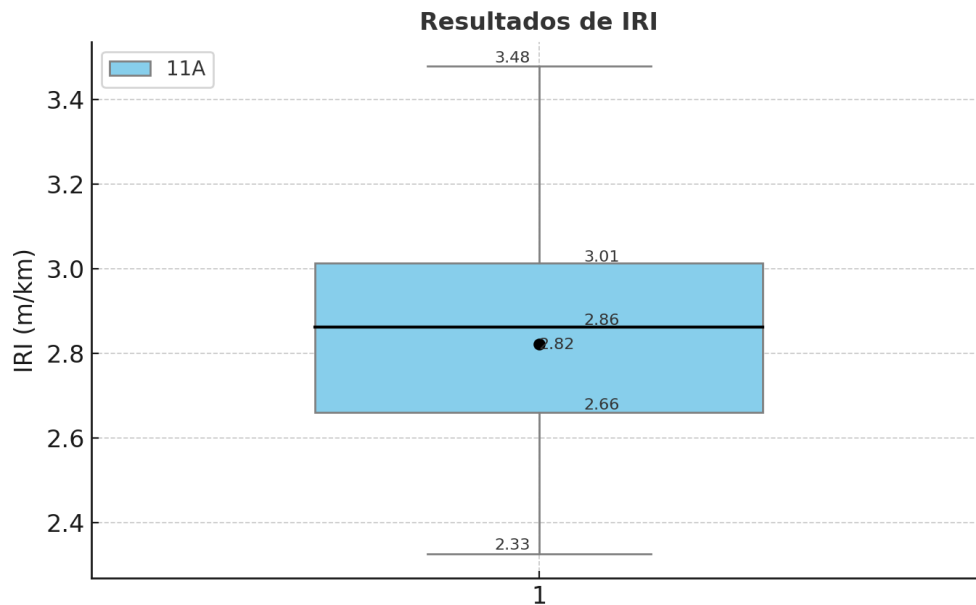
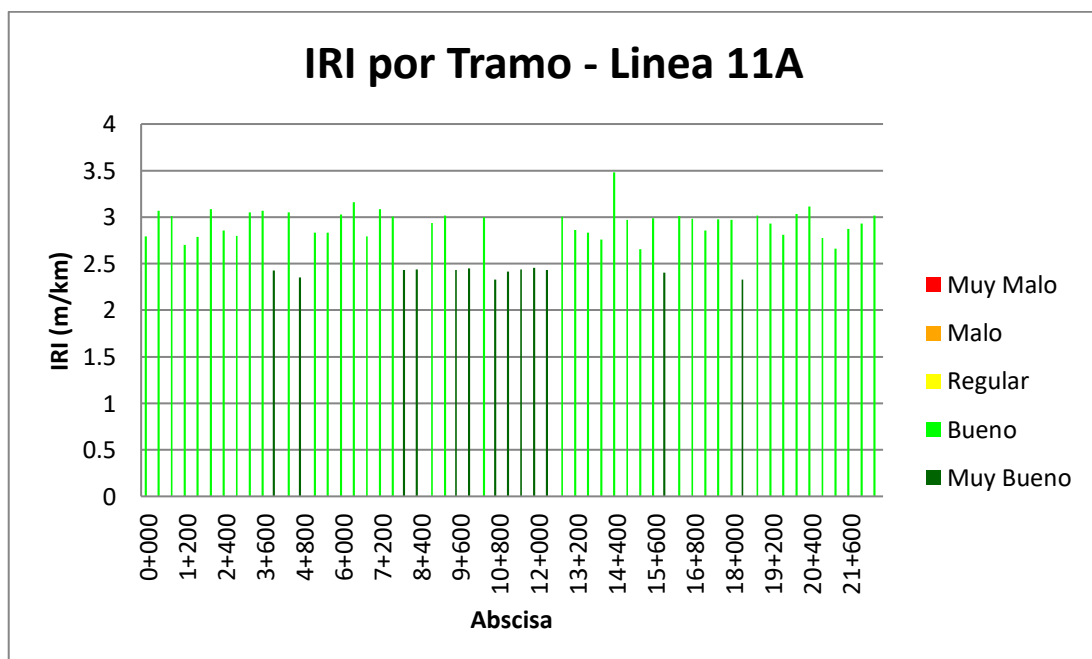


Figura 25 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 11A



- **Línea 11B**

La mediana del IRI es de 2.80 m/km, lo que indica una superficie vial con regularidad moderada. El rango de valores va desde 2.35 hasta 3.20 m/km, con una dispersión amplia que sugiere variaciones en el estado del pavimento a lo largo del tramo.

Figura 26 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 11B

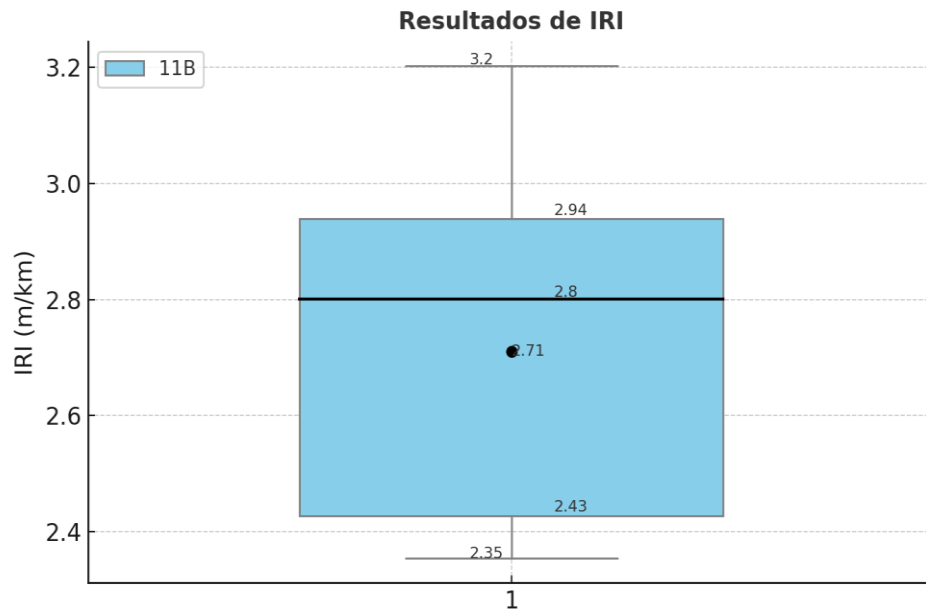
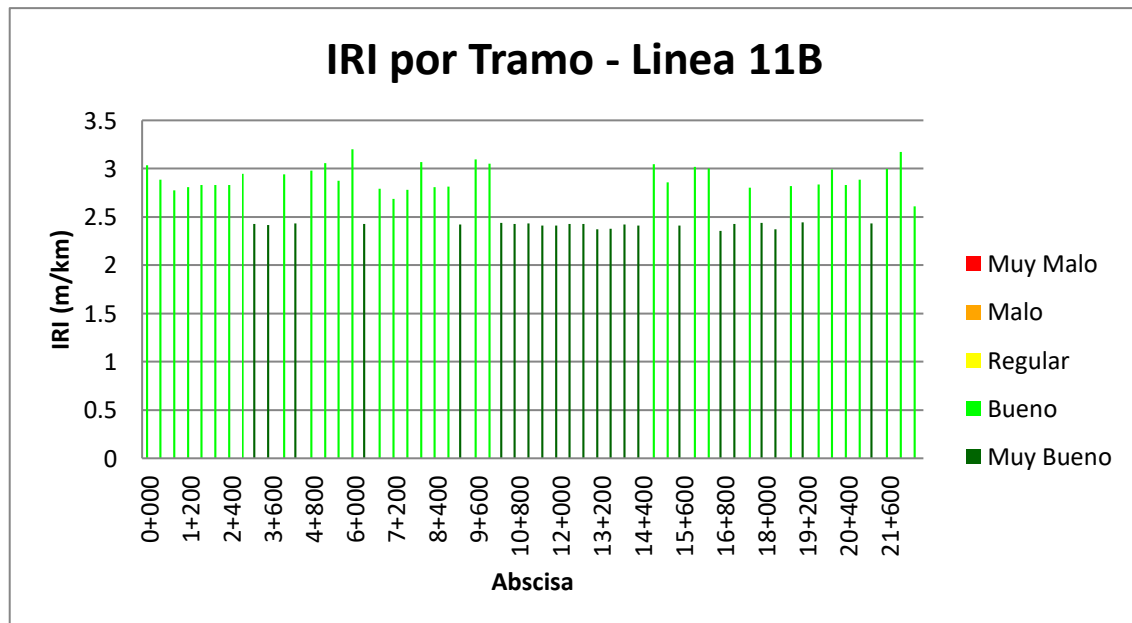


Figura 27 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 11B



- **Línea 12**

La mediana del IRI es de 2.94 m/km, lo que indica una condición vial con regularidad perceptible. Refleja una dispersión moderada, pero la presencia de múltiples valores atípicos por encima de 3.50 y por debajo de 2.40 m/km sugiere tramos con condiciones extremas de deterioro.

Figura 28 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 12

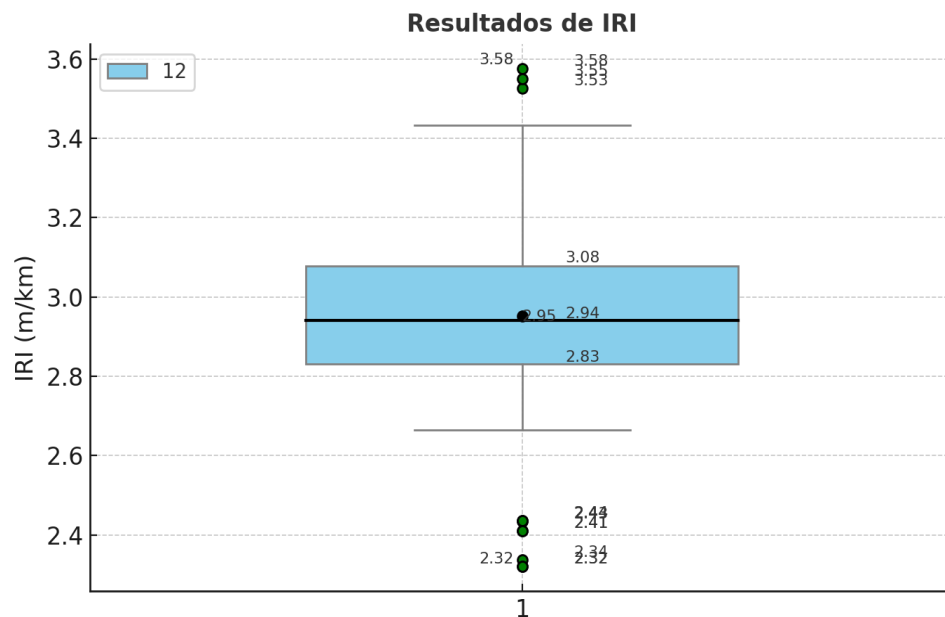
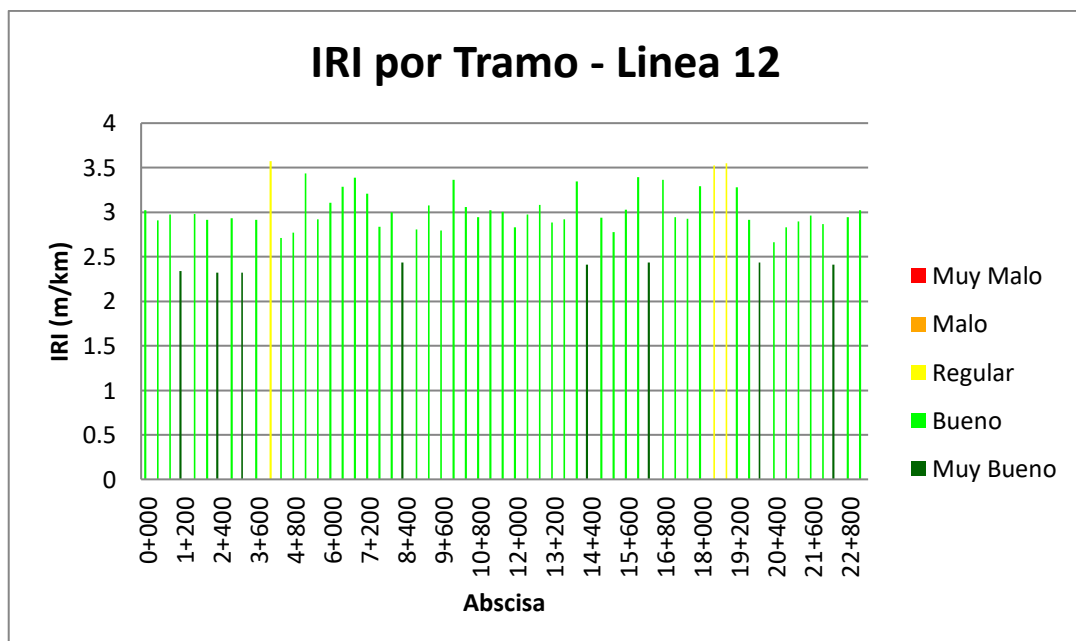


Figura 29 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 12



- **Línea 13**

La mediana del IRI es de 2.86 m/km, indicando un nivel de regularidad moderado. A pesar de los datos se encuentran en un mismo rango, se observan valores por debajo del mínimo de 2.50 m/km y por encima de 3.40 m/km, esto sugiere tramos con alto deterioro en parte puntuales del pavimento.

Figura 30 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 13

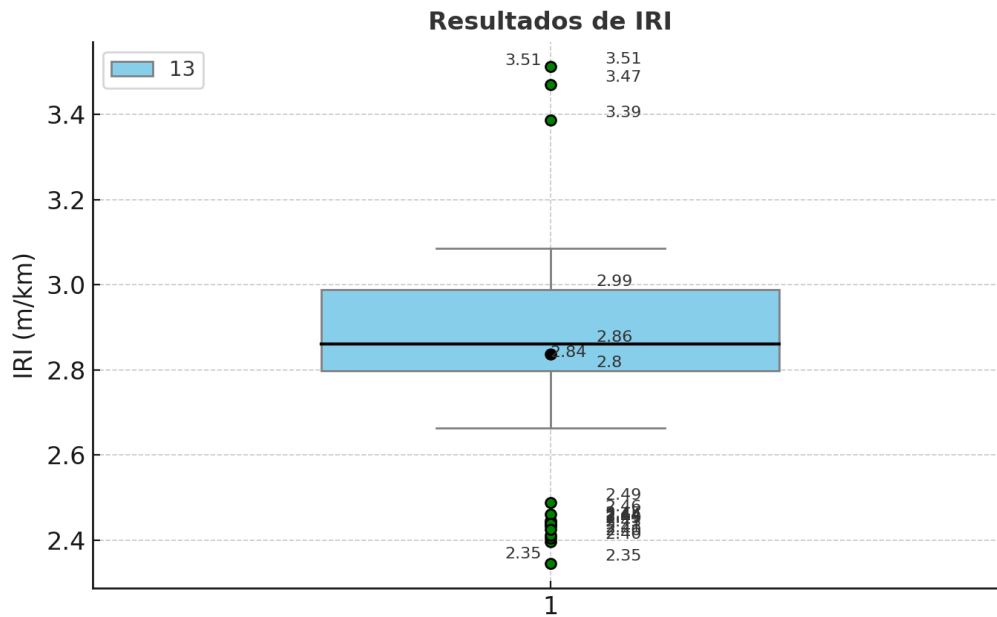
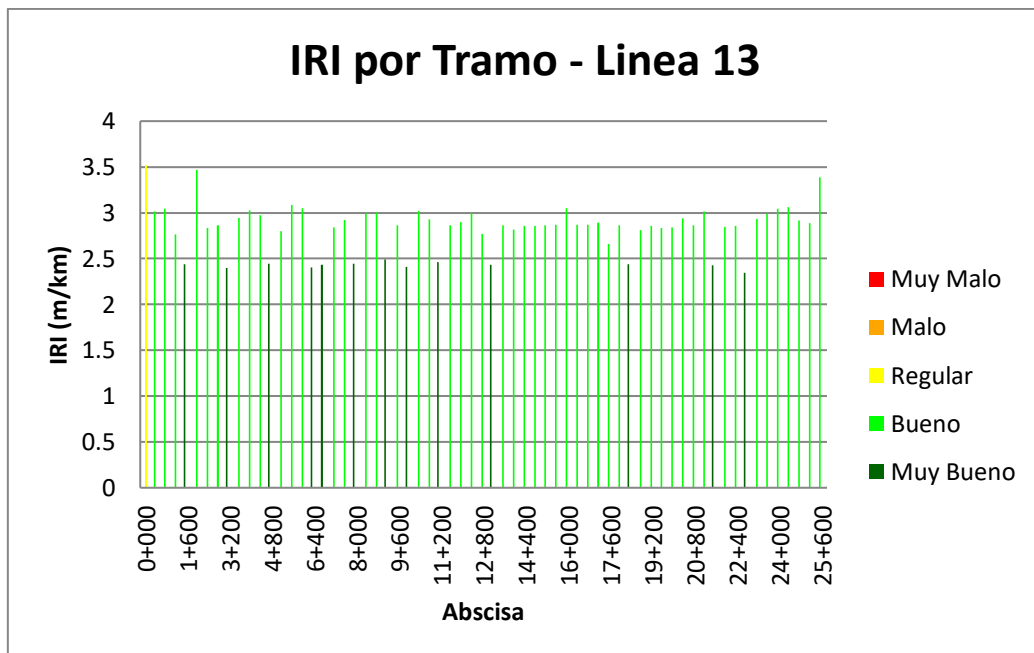


Figura 31 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 13



- **Línea 14**

La mediana del IRI es de 2.89 m/km, lo que indica una condición vial moderada. El tramo presenta varios valores atípicos tanto por debajo de 2.40 como por encima de 3.60 m/km, lo que evidencia una superficie con variaciones significativas.

Figura 32 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 14

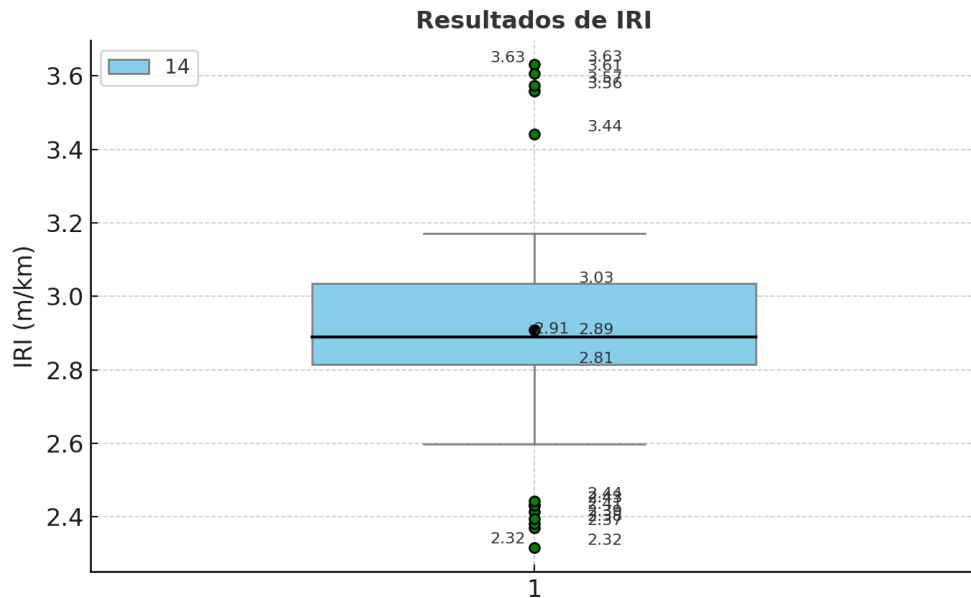
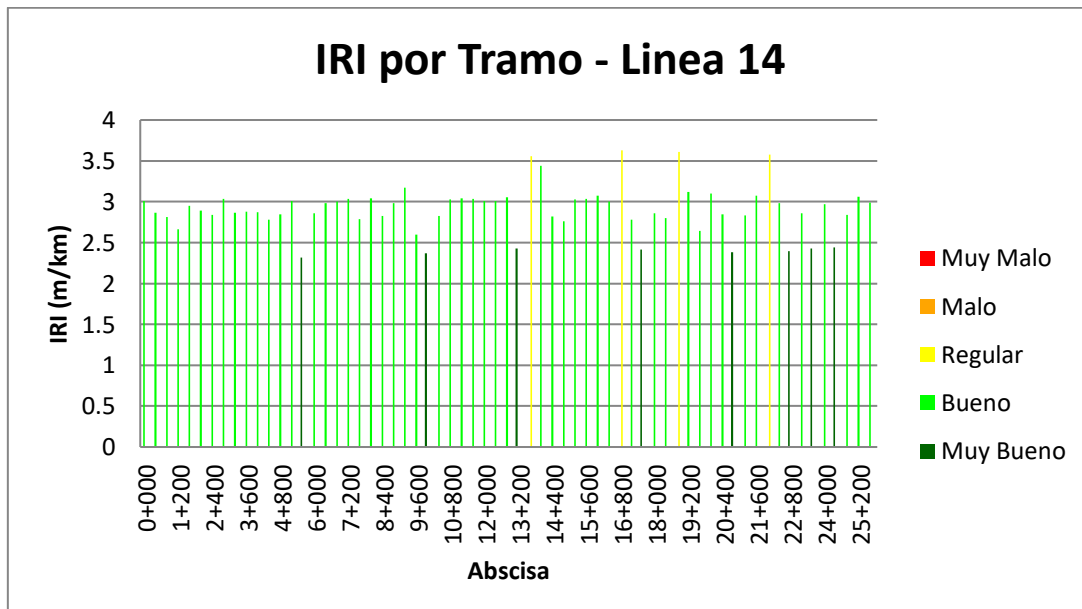


Figura 33 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 14



- **Línea 15**

La mediana del IRI es de 2.94 m/km, lo que indica una regularidad vial moderada. El vía muestra valores por debajo de 2.50 m/km y por encima de 3.50 m/km, lo que resulta en zonas con deterioro significativo.

Figura 34 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 15

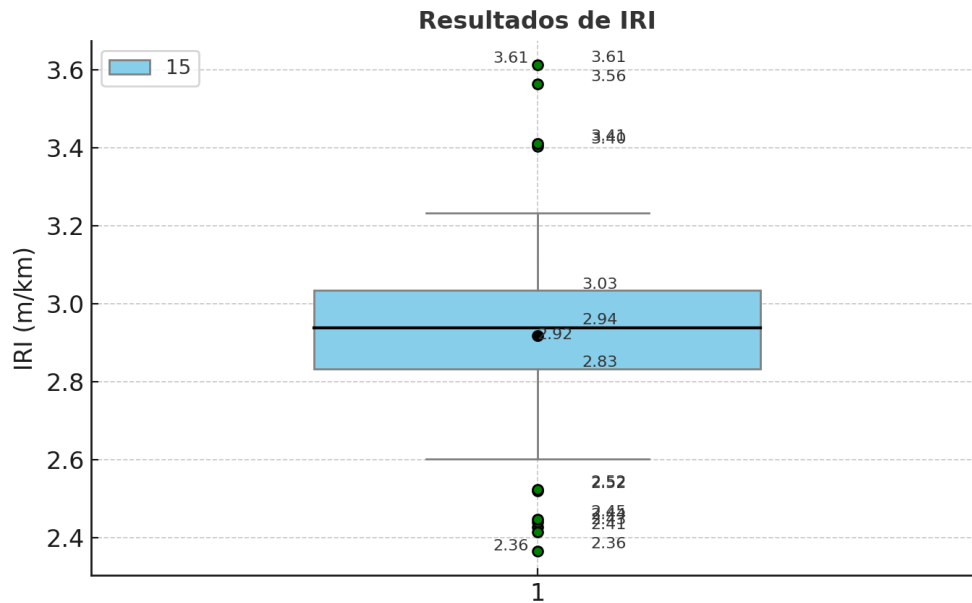
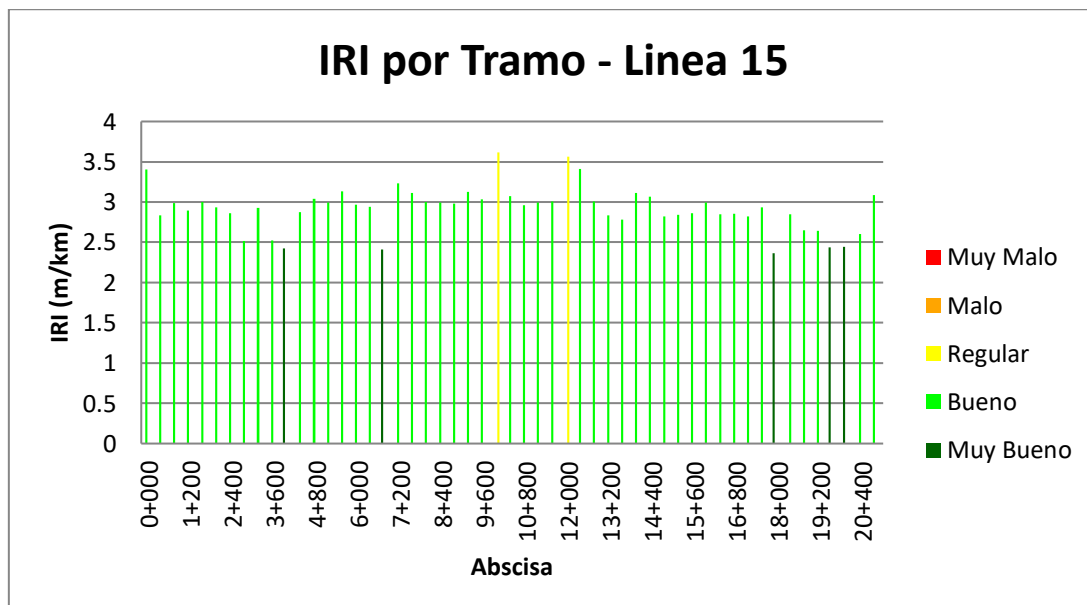


Figura 35 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 15



- **Línea 16**

La mediana del IRI es de 2.92 m/km, lo que indica una regularidad moderada, aunque la mayoría de los valores se encuentran en un rango controlado, existen varios valores por debajo de 2.40 m/km, lo que sugiere la presencia de tramos con mejor condición.

Figura 36 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Línea 16

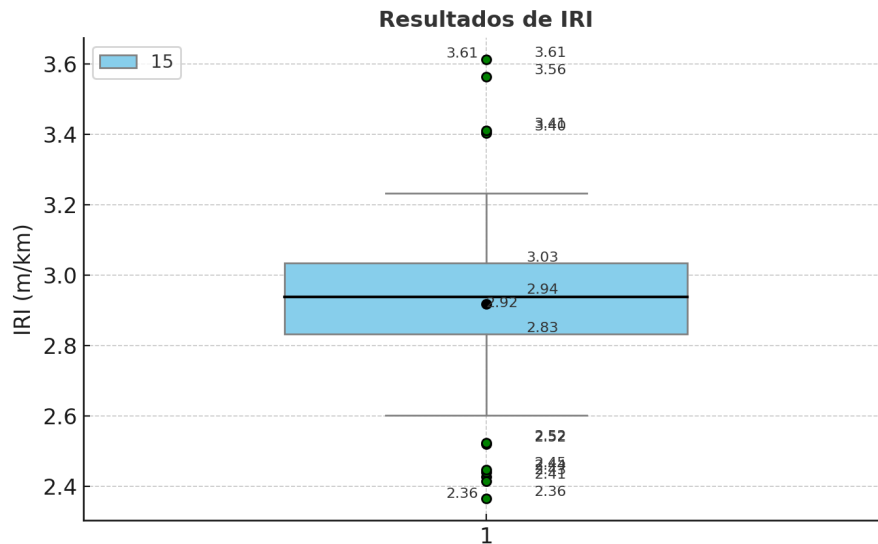
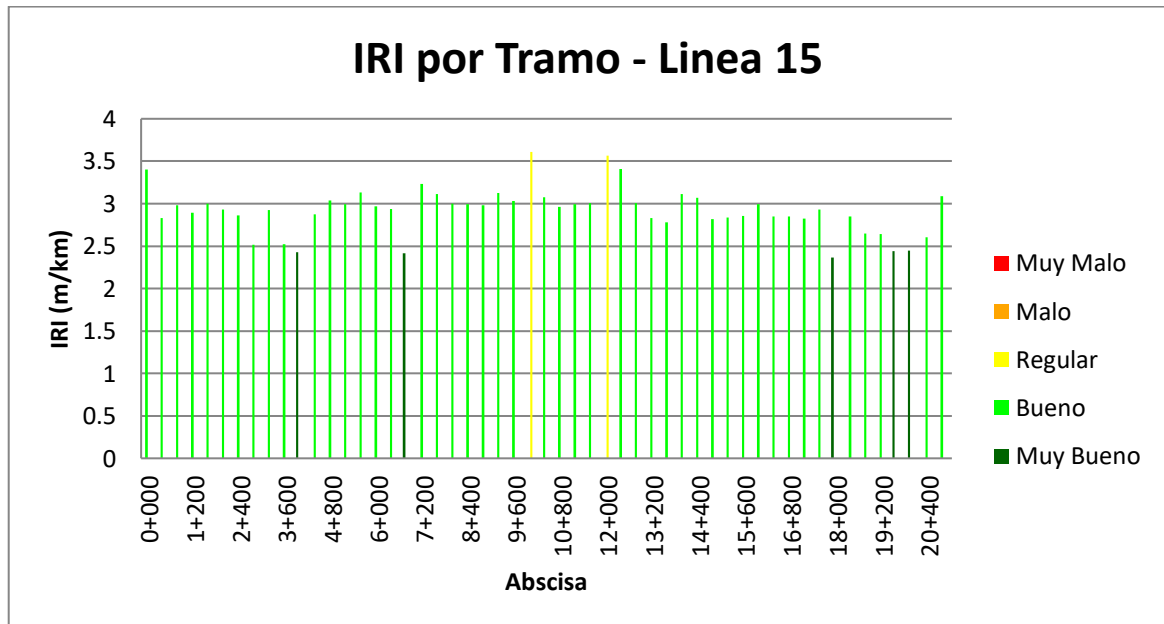


Figura 37 Histograma de IRI en función al tramo evaluado en Línea 16



4.1.2. Resultados agrupados

Como se puede ver en figura 38 y figura 39 estas recogen los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) correspondientes a 17 líneas de transporte urbano. El IRI es una medida técnica utilizada para evaluar la calidad del pavimento desde el punto de vista

de la comodidad del usuario y el desempeño funcional de la vía. En este caso, todos los valores registrados se encuentran dentro del rango comprendido entre 2.504 y 2.985 m/km, lo que permite afirmar que la totalidad de las líneas analizadas se encuentran dentro de la categoría “Bueno”, de acuerdo con los criterios establecidos por la normativa INVÍAS.

En términos estadísticos, el IRI promedio fue de 2.836 m/km y la mediana de 2.865 m/km, lo que muestra que los datos están bastante equilibrados.

En cuanto a los extremos del conjunto de datos, la línea con mejor estado es la Línea 2, con un IRI de 2.504 m/km, acercándose al umbral de la categoría “Muy Bueno” (<2.5 m/km). Por otro lado, la Línea 8 registra el mayor valor de IRI, con 2.985 m/km, aunque aún dentro de los límites aceptables de la categoría “Bueno”. Si bien no se evidencia deterioro severo, este valor podría ser objeto de seguimiento en futuras campañas de evaluación, para prevenir una progresiva pérdida de calidad de la superficie de rodadura.

Tabla 5 Datos estadísticos valores agrupados

Valores Estadísticos	Valor IRI (m/km)
Mínimo	2.156
Q1 (Cuartil 1)	2.663
Mediana Q2	2.865
Media	2.836
Q3 (Cuartil 3)	3.000
Máximo	3.663
IQR	0.337
Límite inferior	2.158
Límite superior	3.505

Figura 38 Histograma de Índice de Regularidad Internacional (IRI) promedio

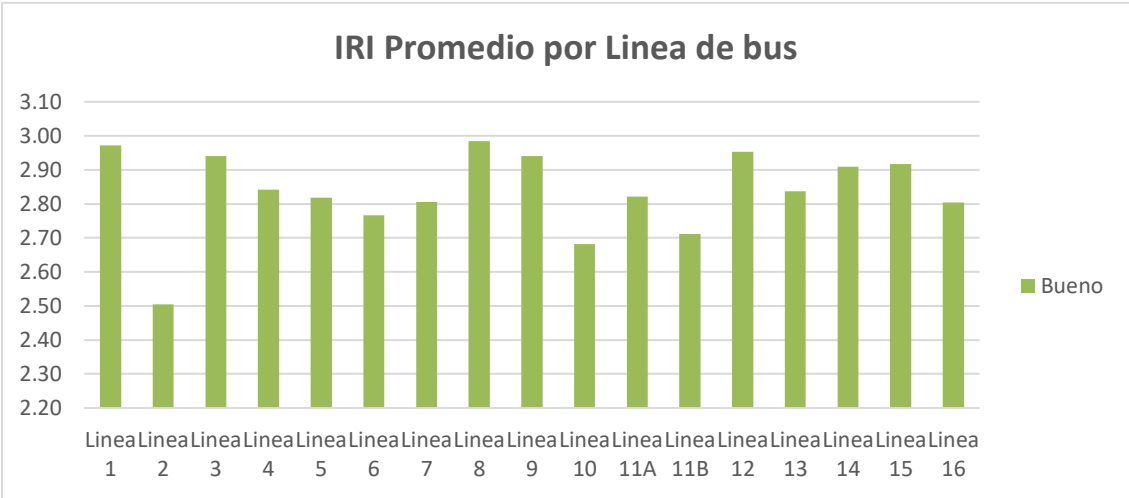
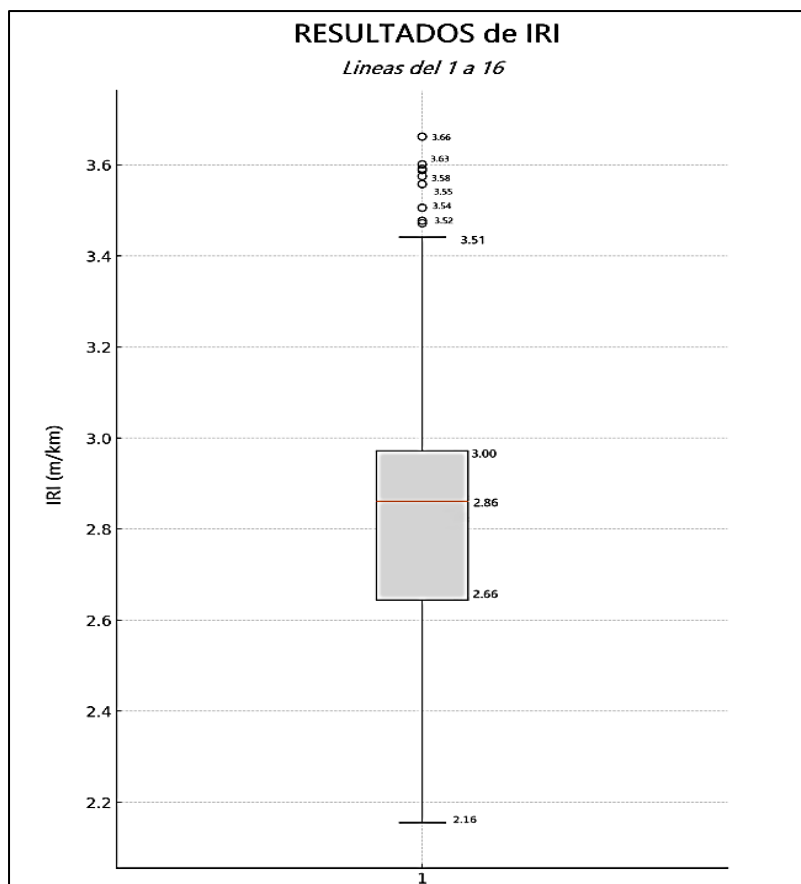


Figura 39 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) combinado de las rutas



En función de los resultados obtenidos, se concluye que la condición general de las vías utilizadas por las líneas de transporte urbano analizadas es adecuada. No obstante, se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo que permita conservar estos niveles de regularidad, prolongando la vida útil de los tramos y asegurando una experiencia confortable para los usuarios del sistema de transporte.

Tabla 6 Categorización de valores de IRI

Línea	IRI (m/km)	Clasificación	Tipo Pavimento	Categoría
Línea 1	2.97	B	Flexible	Bueno
Línea 2	2.50	B	Flexible	Bueno
Línea 3	2.94	B	Flexible	Bueno
Línea 4	2.84	B	Flexible	Bueno
Línea 5	2.82	B	Flexible	Bueno
Línea 6	2.77	B	Flexible	Bueno
Línea 7	2.81	B	Flexible	Bueno
Línea 8	2.99	B	Flexible	Bueno
Línea 9	2.94	B	Flexible	Bueno
Línea 10	2.68	B	Flexible	Bueno
Línea 11A	2.82	B	Flexible	Bueno
Línea 11B	2.71	B	Flexible	Bueno
Línea 12	2.95	B	Flexible	Bueno

Línea 13	2.84	B	Flexible	Bueno
Línea 14	2.91	B	Flexible	Bueno
Línea 15	2.92	B	Flexible	Bueno
Línea 16	2.80	B	Flexible	Bueno
IRI PROMEDIO	2.84			

Cada uno de los resultados es fundamental para identificar los tramos con mayor nivel de deterioro superficial y, en consecuencia, permitir la toma de decisiones para la programación de mantenimientos preventivos y correctivos en las rutas de transporte urbano. Además, esta información permite vincular el estado del pavimento con los costos de mantenimiento vehicular, tal como se abordará en el siguiente apartado.

4.1.3. Resultados de las Encuestas Aplicadas a Operadores de Autobuses

Con el propósito de complementar el análisis del estado de la infraestructura vial y su relación con los costos de mantenimiento vehicular, se aplicó una encuesta estructurada a propietarios y conductores de unidades de transporte urbano del cantón Riobamba. Las encuestas contenían preguntas de selección múltiple, orientadas a obtener información directa sobre el estado operativo de los vehículos, el número de recorridos, la antigüedad de las unidades, la frecuencia de mantenimiento y el tipo de componentes reemplazados.

Se recogieron un total de 120 encuestas válidas, aplicadas en dos etapas principales. Las primeras 50 encuestas se realizaron entre el 20 y el 31 de enero de 2025, y las siguientes 50 se llevaron a cabo entre el 17 y el 28 de marzo de 2025. Adicionalmente, se aplicaron 20 encuestas complementarias, entre el 24 y el 28 de marzo del mismo año, dentro del mismo conjunto de datos de las primeras 100, con el objetivo de verificar la estabilidad de los resultados y analizar posibles variaciones en los patrones de respuesta. Todas las encuestas estuvieron dirigidas a conductores de unidades de diversas cooperativas y líneas de buses urbanas. Los resultados se organizaron por pregunta en un libro de Excel, cada una con su respectiva pestaña. A continuación, se resumen e interpretan los resultados más relevantes de acuerdo con cada ítem:

4.1.3.1. Validación de las encuestas

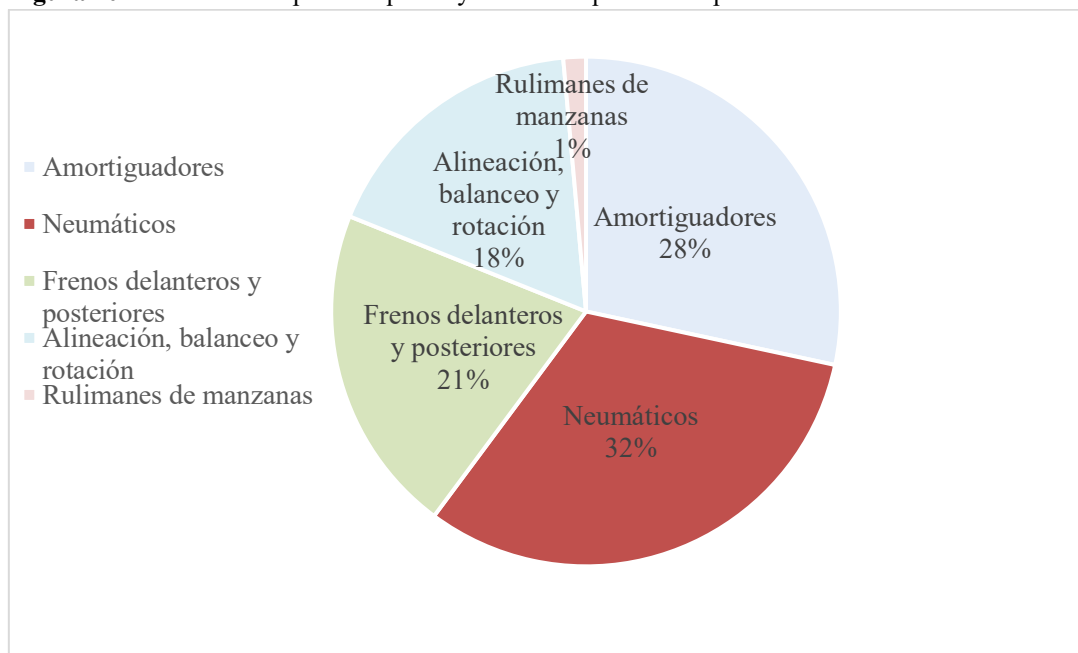
Con el propósito de complementar el análisis del estado de la infraestructura vial y su relación con los costos de mantenimiento vehicular, se aplicó una encuesta estructurada a propietarios y conductores de unidades de transporte urbano del cantón Riobamba.

Tabla 7 Numero de encuestas realizadas a usuarios

Encuestas realizadas	
Propietarios y conductores primera etapa	u 100
Propietarios y conductores segunda etapa	u 20
Total de encuestados	u 120

En la figura 40 se muestra el resultado obtenido de la consulta a los propietarios y conductores de las 2 etapas, según la percepción de los encuestados para identificar cuáles son los elementos o repuestos que mayormente se reemplazan. (Ver Anexo 7)

Figura 40 Elementos o repuestos que mayormente requieren remplazo



Se puede evidenciar que los elementos o repuestos que mayormente son reemplazados son: neumáticos con un 32%, amortiguadores 28%, frenos delanteros y posteriores 21%, alineación-balanceo y rotación 18%, rulimanes de manzanas 1%, son los elementos que se realizan cambios durante un año de servicio de las unidades de transporte.

Tabla 8 Costo anual de mantenimiento de los componentes con mayor recambio

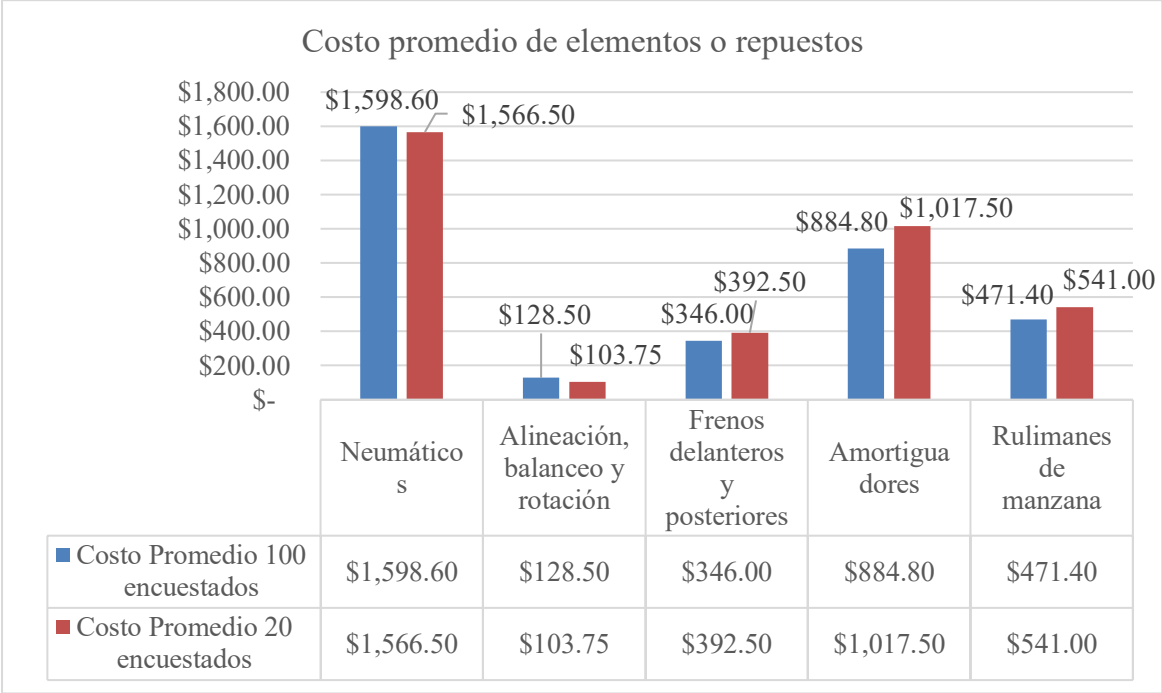
Rubros para los cambios	Costo repuesto	Numero de cambios al año	Intervalo de cambio (km)	Costo total por cambio al año
Neumáticos	\$ 1,598.60	2	33383.50	\$ 3,197.20
Alineación, balanceo y rotación	\$ 128.50	2	33383.50	\$ 257.00
Frenos delanteros y posteriores	\$ 346.00	2	33383.50	\$ 692.00
Amortiguadores	\$ 884.80	1	66767.00	\$ 884.80
Rulimanes de manzana	\$ 471.40	1	66767.00	\$ 471.40
Total				\$ 5,502.40

Los valores correspondientes a los costos y la frecuencia anual de reemplazo de repuestos fueron obtenidos como promedios a partir de la información recopilada mediante

encuestas. Estos datos fueron fundamentales para establecer los intervalos de cambio y calcular el costo total de mantenimiento anual de un autobús.

En la Figura 41 se presenta la comparación de la información proporcionada por los 100 primeros propietarios de unidades de transporte y los siguientes 20 propietarios, la cual fue objeto de un análisis detallado y procesamiento individual por cada tipo de componente evaluado.

Figura 41 Resultados obtenidos de las encuestas



Es importante señalar que los valores que se comparan son iguales al promedio de los costos obtenidos, es decir el valor de la media aritmética.

Para aumentar la importancia en el análisis de las encuestas se sugiere implementar la metodología de correlación de Pearson entre la información recogida en las primeras 100 encuestas y las 20 encuestas posteriores, con el objetivo de establecer la relación entre resultados

Tabla 9 Correlación de Pearson entre resultados de las primeras 100 encuestas con las 20 encuestas en la segunda fecha a propietarios de los buses urbanos.

Elemento o repuesto	X (Costo del repuesto según 100 encuestados)		Y (Costo del repuesto según 20 encuestados)		$(X - \bar{X})$	$(Y - \bar{Y})$	$(X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})$
Neumáticos	\$	1,598.60	\$	1,566.50	1.574	1.464	2.304
Alineación, balanceo y rotación	\$	128.50	\$	103.75	-0.961	-1.079	1.037

Frenos delanteros y posteriores	\$	346.00	\$	392.50	-0.586	-0.577	0.338
Amortiguadores	\$	884.80	\$	1,017.50	0.343	0.510	0.175
Rulimanes de manzana	\$	471.40	\$	541.00	-0.370	-0.319	0.118
Promedio	\$	685.86	\$	724.25	$\sum (X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})$		3.972
Sx (desviación)		579.831767			σ_{xy}		1.986
Sy (desviación)		575.3345766			r		0.99

El coeficiente de correlación de Pearson obtenido fue de 0.99, lo que indica una relación lineal positiva muy fuerte entre los resultados obtenidos a partir de las encuestas. Esto evidencia que ambas variables analizadas presentan una asociación directa y consistente.

Se identificó que las distintas líneas de buses comparten rutas dentro de su recorrido, lo que conlleva a que los costos de mantenimiento asociados se mantengan uniformes entre ellas. Esta homogeneidad en los datos impide establecer una relación clara entre la condición superficial del pavimento, representada por el IRI, y los costos de mantenimiento, ya que no se evidencian diferencias que permitan contrastar ambos factores de manera efectiva

Se presenta a continuación en la tabla 10 una estimación representativa del costo diario de mantenimiento vehicular para distintos niveles de IRI, construida a partir de los datos obtenidos en encuestas aplicadas, así como de la distancia total recorrida y la frecuencia de operación registrada en cada unidad de transporte analizada

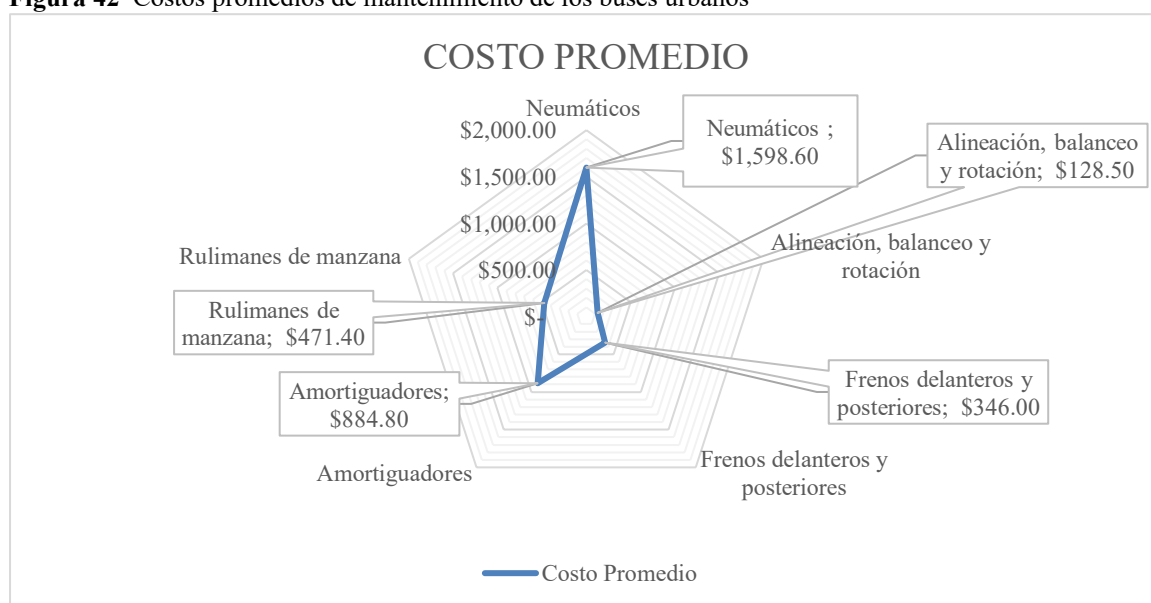
Tabla 10 Costo operativo anual expresado en USD/ (km × día) para cada ruta

Ruta	Distancia Total del Circuito (Km)	N.º Vueltas Diarias	Distancia en km recorrido por día	Costo promedio anual	Costo promedio diario	Costo USD/km día
1	22.4	8	179.2	5502.4	15.08	0.084
2	20.4	7	142.8			0.106
3	25.6	7	179.2			0.084
4	23.2	8	185.6			0.081
5	32.8	8	262.4			0.057
6	25.6	7	179.2			0.084
7	25.6	8	204.8			0.074
8	20.4	8	163.2			0.092
9	22.8	7	159.6			0.094
10	25.6	6	153.6			0.098
11A	22.4	8	179.2			0.084
11B	22.4	8	179.2			0.084

12	23.2	7	162.4			0.093
13	25.6	8	204.8			0.074
14	25.6	8	204.8			0.074
15	20.8	7	145.6			0.104
16	25.6	7	179.2			0.084
Total	410		3064.8	Costo total Unidades/día		1.451

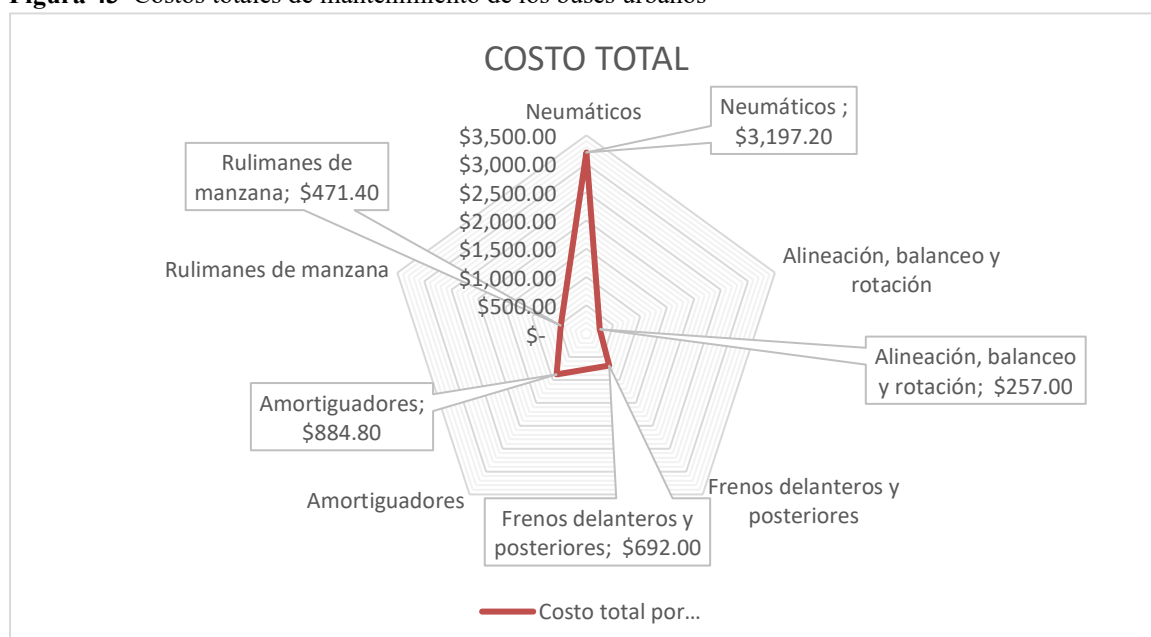
En la figura 42 se observa que los neumáticos representan el mayor costo de mantenimiento, seguidos por amortiguadores y rulimanes de manzana. Los frenos y el servicio de alineación tienen un impacto menor. Esto evidencia qué componentes demandan mayor inversión.

Figura 42 Costos promedios de mantenimiento de los buses urbanos



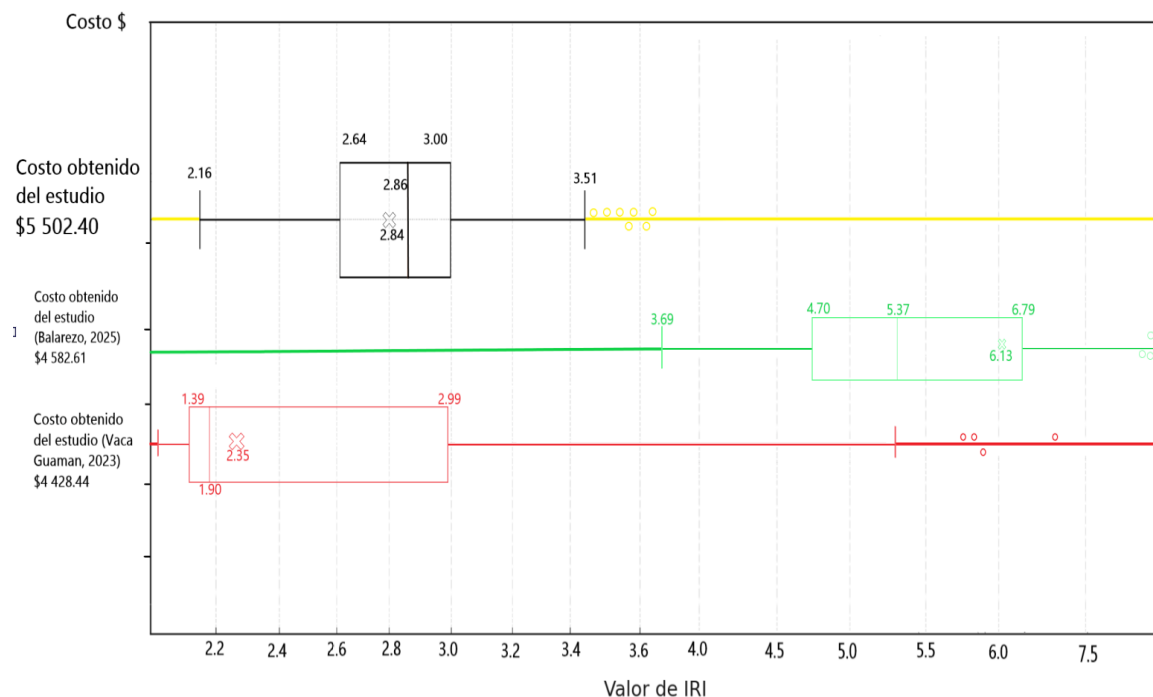
La figura 13 evidencia que el mayor costo total anual por cambio corresponde a los neumáticos, esto debido a costos y frecuencia de cambio en algunos componentes.

Figura 43 Costos totales de mantenimiento de los buses urbanos



4.3.4. Índice de Regularidad Internacional (IRI) vs costo de mantenimiento promedio

Figura 44 Índice de Regularidad Internacional (IRI) vs costo de mantenimiento promedio



Al analizar la correlación entre el costo de mantenimiento vehicular y los valores del IRI, y compararlos con los resultados de las investigaciones realizadas por (Vaca et al., 2023) y (Balarezo Urrutia, 2025), se evidencian diferencias de \$1804.59 (Color rojo) y \$1958.76 (Color verde) respectivamente, en relación con los datos obtenidos en el presente estudio. Esta discrepancia refleja que los costos de mantenimiento en la ciudad de Riobamba son más elevados, posiblemente debido a factores como la mayor longitud de las rutas de transporte urbano y la alta frecuencia de circulación. Estos elementos operativos, influenciados por el estado de la infraestructura vial, se ven agravados por los niveles de regularidad registrados (IRI), lo que contribuye de manera significativa al incremento de los costos de mantenimiento.

Tabla 11 Contraste de información con el estudio realizado en tres ciudades diferentes

Elemento o repuesto	Análisis Riobamba	Análisis Tena	Análisis Sto. Domingo	Variación Riobamba-Tena	Variación Riobamba- Sto. Domingo
Neumáticos	\$ 3197.20	\$ 2814.29	\$ 4007.62	13.61%	-20.22%
Alineación, balanceo y rotación	\$ 257.00	\$ 44.64	\$ 79.83	475.72%	221.93%
Frenos delanteros y posteriores	\$ 692.00	\$ 610.84	\$ 274.31	13.29%	152.27%

Amortiguadores	\$ 884.80	\$ 650.00	\$ 124.27	36.12%	612.00%
Rulimanes de manzana	\$ 471.40	\$ 308.67	\$ 96.58	52.72%	388.09%
Valor Total de elementos	\$ 5502.50	\$ 4428.44	\$ 4582.61	44.23%	20.07%

Al comparar los costos asociados al mantenimiento vehicular entre Riobamba, Tena y Santo Domingo, se evidencia que Riobamba presenta valores notablemente más altos en casi todos los componentes analizados. El análisis evidencia que Riobamba presenta los mayores costos en la mayoría de los componentes evaluados. En particular, el gasto en alineación, balanceo y rotación supera en un 475.72% al de Tena, y el de rulimanes de manzana es 52.72% más alto. También se observan costos más elevados en amortiguadores y frenos en relación con Tena. Frente a Santo Domingo, Riobamba mantiene mayores costos en rulimanes (388.09%) y amortiguadores (612%), aunque registra un menor valor en neumáticos (-20.22%). Estos resultados sugieren que las condiciones viales en Riobamba generan una mayor exigencia sobre ciertos componentes del sistema de suspensión y dirección, además de su alta frecuencia operativa los cuales intensifican el desgaste vehicular y elevan los costos de mantenimiento.

Al efectuar un análisis comparativo de los tres casos evaluados, como se ve en la Figura 45 se identificó que el elemento “neumáticos” representa el rubro de mayor impacto económico dentro de los costos de mantenimiento vehicular, superando de forma considerable a otros elementos como alineación, frenos, suspensión, entre otros. Este resultado evidencia que el estado de la infraestructura vial influye de manera directa y significativa en el desgaste y la vida útil de este componente.

Figura 45 Diagrama caso real de costo anual

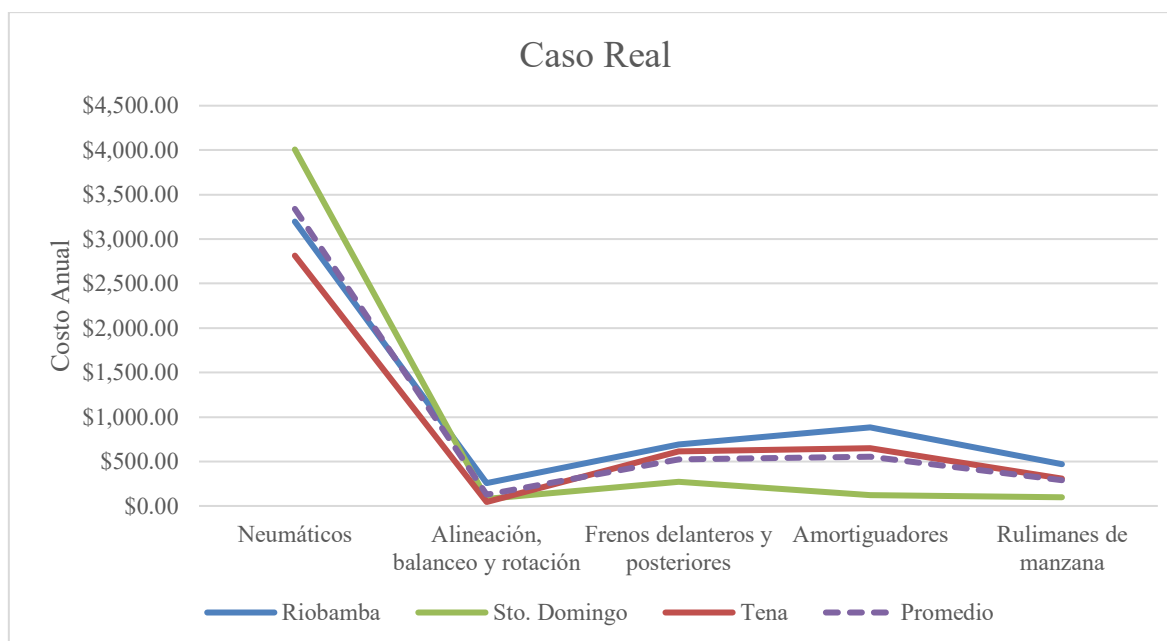
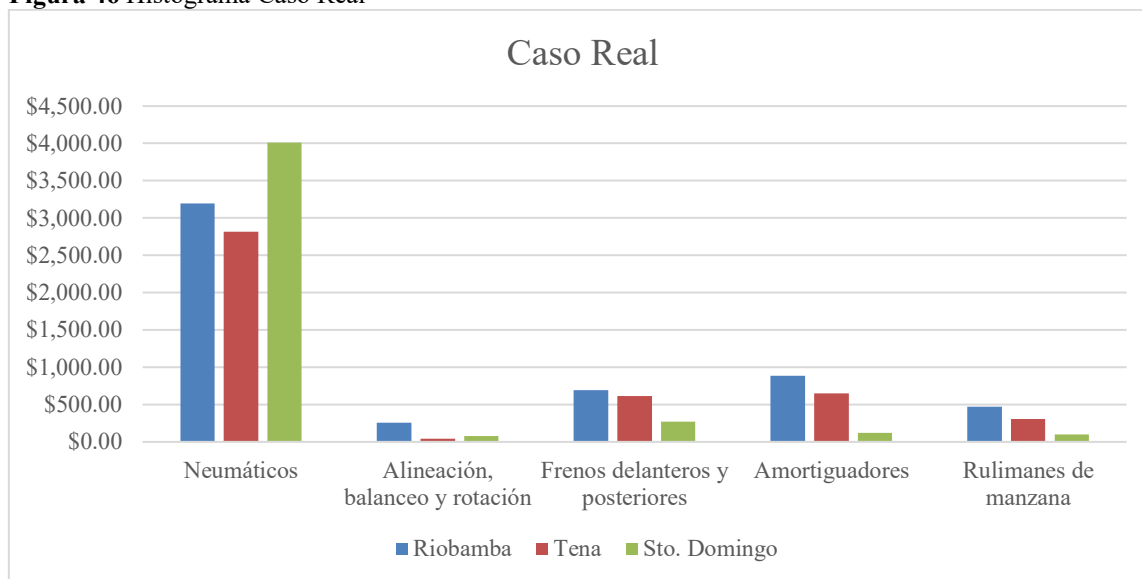


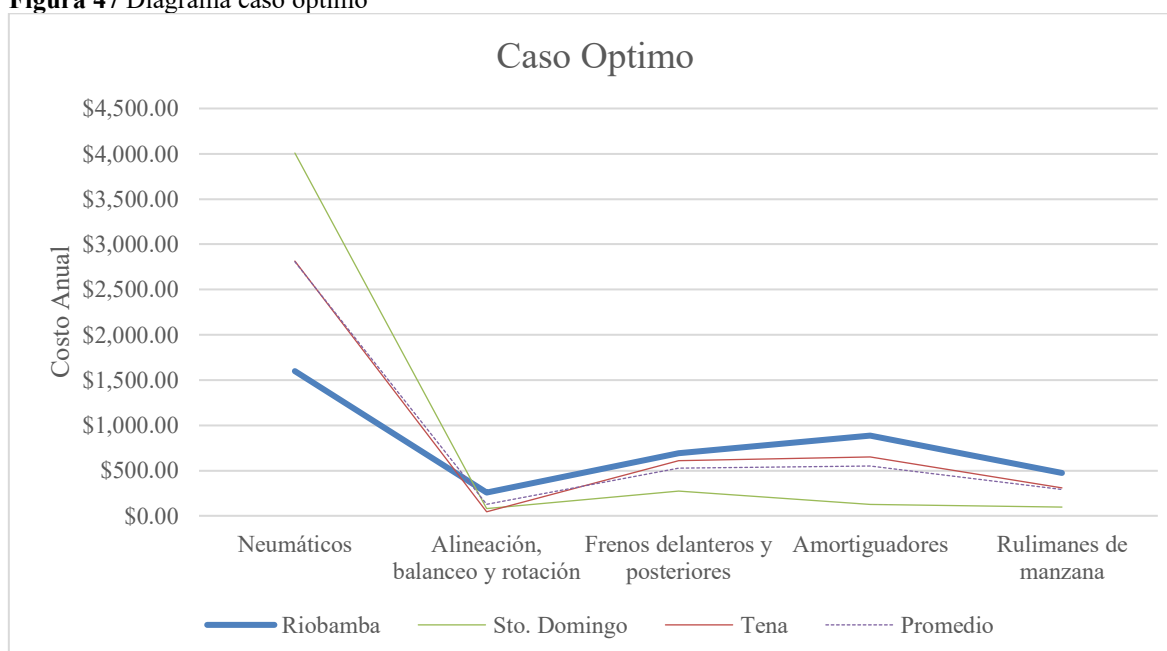
Figura 46 Histograma Caso Real



Desde un enfoque de optimización, se establece que, si las vías del cantón Riobamba presentaran un IRI más favorable, el costo asociado a neumáticos disminuiría considerablemente en comparación con el escenario actual. Para este análisis se propone un escenario ideal, fundamentado en la información obtenida mediante encuestas, donde se identificó que, debido al mal estado vial, la frecuencia de cambio de neumáticos es de dos veces por año.

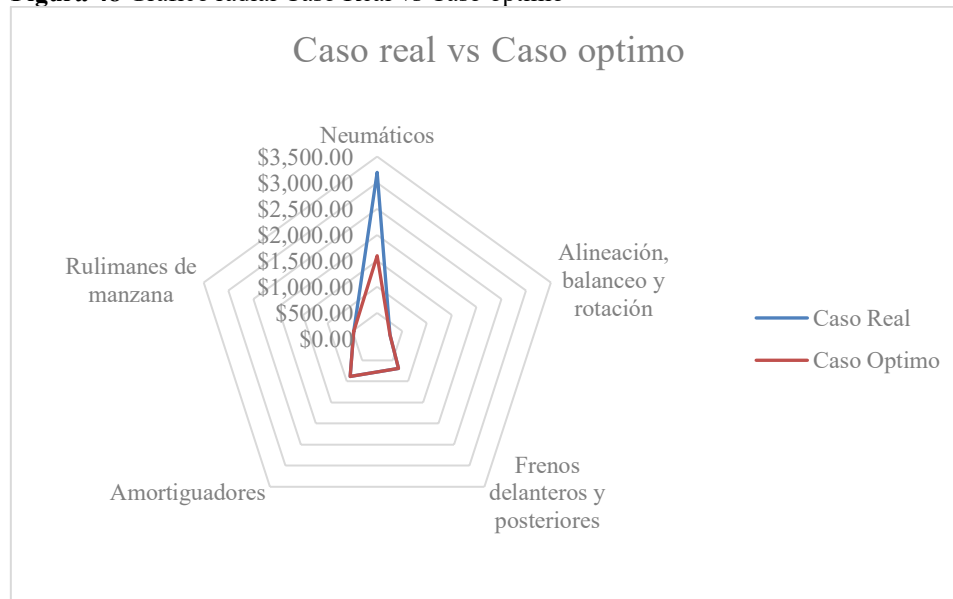
Bajo la condición de un IRI favorable, esta frecuencia se reduciría a una vez por año, como se ve en la Figura 47 (Línea azul) tendría un impacto directo en la reducción del asociado a este componente neumáticos, permitiendo así evidenciar la influencia del estado vial sobre dicho rubro.

Figura 47 Diagrama caso optimo



De esta manera se optimizaría el sistema de transporte público, como se puede ver en la Figura 48 disminuiría en gran manera el costo de neumáticos en relación con el caso real. Dicho rubro tiene una alta incidencia en el costo total anual destinado al mantenimiento de los componentes. Por lo tanto, al proyectar escenarios con un IRI optimizado, la reducción en el gasto por neumáticos repercute en gran manera en la disminución del costo total anual, evidenciando la importancia de considerar las condiciones viales como una variable determinante en la planificación y gestión de los costos operativos del transporte público urbano.

Figura 48 Grafico radial Caso Real vs Caso optimo



Los resultados obtenidos respaldan que la infraestructura vial en Riobamba tiene un impacto directo y considerable en los costos de mantenimiento del parque automotor urbano. Las variaciones observadas, especialmente en elementos sensibles al estado del camino, constituyen un argumento sólido para priorizar la mejora de las condiciones viales como estrategia para optimizar el gasto operativo del transporte público.

4.2. Discusión

El estudio mostró que, aunque las condiciones viales de Riobamba están dentro de rangos aceptables según el IRI categorizado como “Bueno”, existen diferencias importantes entre distintos tramos. Algunas rutas presentan valores altos y gran variación de resultados, resaltando sectores con evidente deterioro. Esto afecta directamente al sistema de transporte urbano, especialmente en el desgaste de los elementos considerados en la investigación.

A través del levantamiento de información técnica y encuestas aplicadas a propietarios y conductores, se identificó que los elementos más afectados por las condiciones del pavimento son los neumáticos, amortiguadores y frenos, tanto delanteros como posteriores. Estos componentes, al estar en contacto directo con la vía y recibir la carga de impactos durante la operación diaria, son los que más frecuentemente requieren recambio.

El costo total anual de mantenimiento estimado por unidad fue de \$5,502.40, con los neumáticos representando más del 50% de ese valor.

Un resultado importante fue analizar cómo la frecuencia de uso de cada unidad influye en los costos. Las rutas con más viajes diarios o recorridos más largos resultaron ser las de menos gasto, con costos más bajos por kilómetro y día. En cambio, las unidades que realizan recorridos más cortos o trabajan en condiciones menos favorables tienen un costo diario por kilómetro más alto, esto indica que el sistema de transporte no se aprovecha de manera óptima.

Al comparar los costos de mantenimiento con los de ciudades como Tena y Santo Domingo, se concluyó que Riobamba tiene gastos más altos en la mayoría de los componentes, especialmente en alineación, balanceo y en los rulmanes de manzana, con diferencias porcentuales importantes. Esto puede deberse a factores como la topografía local, el tipo de pavimento, el diseño de las rutas o la frecuencia con que circulan los buses. Además, que puede influir el número de usuarios y la calidad de los repuestos usados en cada ciudad.

Los resultados obtenidos permiten señalar que, si bien el estado general de las vías no es crítico, la frecuencia con la que transitan las unidades y el deterioro de ciertos tramos tienen un impacto real en el gasto operativo de las cooperativas. Esto se ve reflejado en la comparación del caso real y caso óptimo en el cual se plantea la manera de beneficiar al sistema mediante el mejoramiento vial, esto junto con los análisis económicos, aporta una base sólida para orientar estrategias de mantenimiento vial y vehicular, priorizando intervenciones que puedan generar un mayor retorno en términos de reducción de costos y prolongación de la vida útil de las unidades.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El análisis del IRI en las distintas rutas del transporte urbano de Riobamba evidenció que todas las líneas evaluadas se encuentran en la categoría “Bueno” con un IRI promedio de 2.84 m/km. No obstante, se identificaron tramos con valores atípicos que reflejan deterioro puntual en algunas rutas, lo que indica la necesidad de intervención.

Las encuestas realizadas a conductores y propietarios revelaron que los neumáticos, amortiguadores y frenos son las piezas que más necesitan recambio y generan mayor gasto. En promedio, el costo anual de mantenimiento por unidad fue de \$5,502.40, y más de la mitad de ese valor corresponde a los neumáticos.

Aunque los datos reflejan uniformidad en el estado superficial de las vías entre rutas, el cruce de información entre el IRI y los costos de mantenimiento mostró que no es posible establecer una correlación directa para todas las rutas debido a la similitud de costos entre líneas. Esto debido a que las líneas de buses son rotativas, lo que homogeniza los datos y limita el contraste estadístico. Sin embargo, al hacer una comparación de resultados con el de otras ciudades se pudo evidenciar que existe una similitud en el rango de precios de los diferentes elementos de recambio.

Los resultados indican que mejorar el estado de las vías en Riobamba podría reducir notablemente los costos de mantenimiento, sobre todo en neumáticos, los cuales son el gasto más alto. Si las vías estuvieran en mejor condición, la frecuencia de cambio sería menor y se aprovecharían mejor los recursos del transporte público. Esta información puede ser útil para planificar intervenciones viales y hacer que el sistema de transporte funcione de forma más eficiente.

5.2. Recomendaciones

Implementar un plan de mantenimiento vial por tramos, priorizando aquellos que presentan valores atípicos de IRI superiores a 3.5 m/km, con el fin de conservar la regularidad del pavimento y prevenir el deterioro acelerado de los vehículos.

Realizar eficazmente el mantenimiento preventivo de los buses, especialmente en elementos como neumáticos, amortiguadores y frenos, que son los que más se desgastan. Además, gracias a los datos obtenidos, se pueden programar intervalos de reemplazo que sean más eficientes.

Establecer una base de datos georreferenciada del IRI por ruta y tramo urbano, actualizada periódicamente, que sirva como insumo técnico para los entes municipales encargados de la planificación y gestión vial.

Implementar tecnologías móviles, como sensores en los vehículos o smartphones que permitan medir de forma eficiente el IRI y monitorear el estado de las vías de manera económica y constante.

Revisar la normativa de ciudades similares sobre mantenimiento y operación del transporte urbano, considerando las diferencias de costos entre Riobamba, Tena y Santo Domingo, con el fin de promover una gestión más eficiente para la infraestructura de cada zona a analizar.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Mora, C. O. (2015). *Análisis de costos del servicio de mantenimiento para camiones de carga pesada y diseño de estrategias de Post-Venta caso AUTECH S.A.* 1–93. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10009/1/UPS-GT001116.pdf>
- Balarezo Urrutia, J. J. (2025). *Estado funcional de las vías y el costo de mantenimiento vehicular en Santo Domingo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14624>
- Buttler, W. G., & Islam, M. S. (2014). Integration of Smart-Phone-Based Pavement Roughness Data Collection Tool with Asset Management System. *Region V Regional University Transportation Center Final Report, 098IY04*. https://www.purdue.edu/discoverypark/nextrans/assets/pdfs/098IY04_Integration_of_Smartphone-Based-Pavement_Roughness_data_collection_tool_with_asset_management_system.pdf
- Caiza Monge, E. R., & Ochoa García, S. A. (2025). *Plan de gestión para el mantenimiento de la Vía E30 Pujilí - La Maná Management plan for the maintenance of the E30 Pujilí - La Maná Road*. 6.
- Chatti, K., & Zaabar, I. (2014). Estimating vehicle operating costs caused by pavement surface conditions. In *Transportation Research Record* (Vol. 2455, pp. 63–76). SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA. <https://doi.org/10.3141/2455-08>
- Dreyer, C. M. W., & Steyn, W. J. V. D. M. (2015). Evaluation of the effect of deteriorating riding quality on bus-pavement interaction. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 57(3), 2–8. <https://doi.org/10.17159/2309-8775/2015/v57n3a1>
- Fiorentini, N., Maboudi, M., Leandri, P., & Losa, M. (2021). Can machine learning and ps-insar reliably stand in for road profilometric surveys? *Sensors*, 21(10), 3377. <https://doi.org/10.3390/s21103377>
- Flores, G., & Mogrovejo, D. (2023). Evaluación funcional del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 7(13), 212–235. <https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0363>
- Gómez González, N., Saucedo Rojas, M. G., Pérez Castro, J. G., Rios Quezada, G., Abarca Pérez, E., & Mendoz -Díaz, A. (2015). *Mejoras de Seguridad Vial de la Infraestructura de un tramo carretero, a partir de su evaluación iRAP. Corredor México-Nuevo Laredo, Tramo Querétaro-San Luis Potosí*. 439, 142.
- Gómez Lizarazo, J. A., Serna Urán, C. A., & Arango Serna, M. D. (2016). MODELO DE EVALUACIÓN DINÁMICA DE LA CALIDAD EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE CORREDORES LOGÍSTICOS EN COLOMBIA. *Revista EIA*, 13(25), 135–145. <https://doi.org/10.24050/reia.v13i25.1022>
- Huanca, S. G. (2022). Universidad Nacional Del Altiplano Universidad Nacional Del Altiplano. *Tesis*, 1–168. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Mexicano del Transporte. (2006). Índice Internacional De Rugosidad en la red carretera de México. *Publicación Técnica No. 108*, 1(108), 1–57. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- Lara López, R. M. (2022). *Mal estado de las calles en la zona de Pavas, San José, Costa*

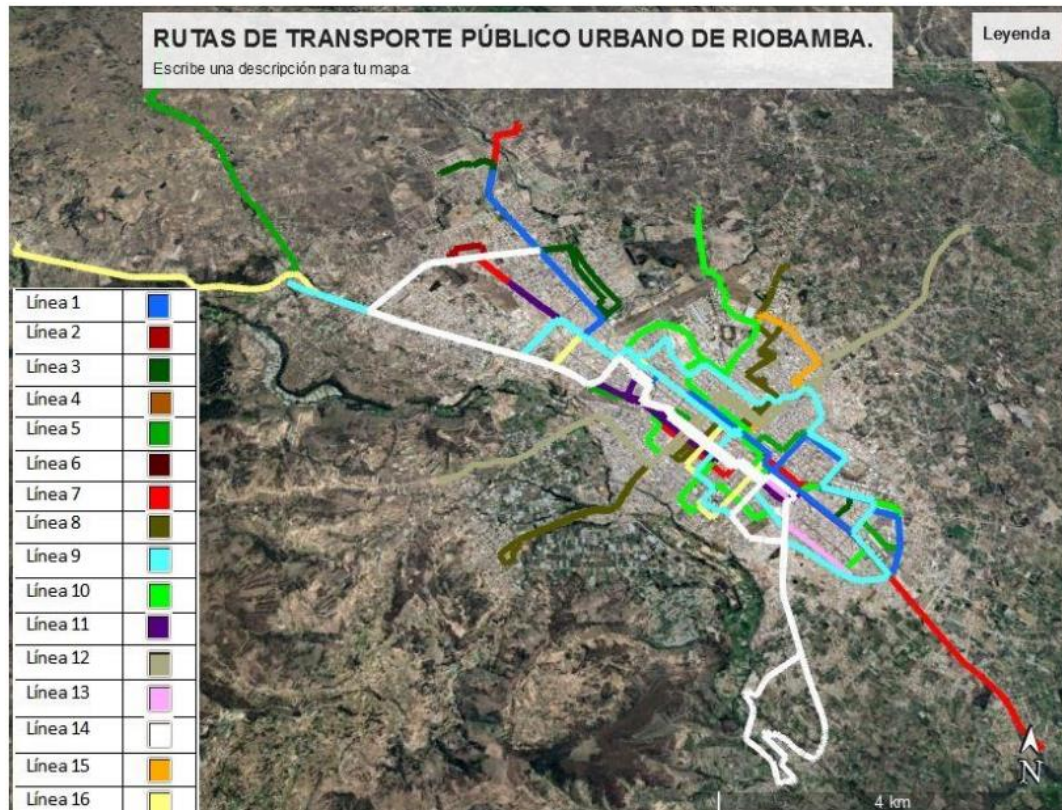
Rica.

- León Duarte, J. A., & Martínez Cadena, G. F. (2024). Desarrollo de un plan de mantenimiento vehicular apoyado por un sistema de gestión asistido por ordenador. *Información Tecnológica*, 35(1), 23–32. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642024000100023>
- Meza Estrada, U. R. (2025). *Caracterización de la tarifa técnica , justa y sostenible del transporte público en la metrópoli de Guadalajara , México . Caso : Troncal 05 . López Mateos. 19*(versión 1).
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2020). “ Diseño , Financiamiento , Rehabilitación , Ampliación a 4 carriles , Construcción , Operación y Mantenimiento del corredor vial Buena Fe – Babahoyo - Jujan .” *Ministerio de Transporte y Obras Públicas*, 1, 1–10.
- Misaghi, S., Tirado, C., Nazarian, S., & Carrasco, C. (2021). Impact of pavement roughness and suspension systems on vehicle dynamic loads on flexible pavements. *Transportation Engineering*, 3, 100045. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100045>
- Moreno Ponce, L. A., Solórzano Villegas, L. E., Ponce Reyes, F. S., & Quimiz Tumbaco, A. V. (2024). *Análisis del Índice de Regularidad Internacional para la Seguridad Vial en el Paso Lateral El Carmen - Manabi*. 7(13), 70–82.
- Pineda Cruz, J. R. (2021). MODELO DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI) PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN UNA VÍA DE PRIMER ORDEN. *Pharmacognosy Magazine*, 75(17), 399–405.
- Ramírez Aro, Y. (2017). Universidad Privada de Tacna. *Artículo de Financial Distress*, Financial Distress. <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
- Robinns, M., & Tran, N. (2019). THE EFFECT OF PAVEMENT ROUGHNESS ON VEHICLE OPERATING COSTS. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Rodríguez Gonzáles, R. A. (2011). Modelo de gestión de conservación vial para reducir los costos de mantenimiento vial y operación vehicular en los caminos rurales de las poblaciones de Riobamba, San Luis, Punín, Flores, Cebadas de la Provincia de Chimborazo. *Tesis*, 1–165.
- Rodríguez, M., Marín, C., & Restrepo, L. (2022). Probabilistic model for prediction of international roughness index based on Monte Carlo. *Revista Ingenieria de Construcción*, 37(2), 117–130. <https://doi.org/10.7764/RIC.00021.21>
- Salazar Noboa, G. (2008). *Sistema institucional de gestión de las carreteras de segundo orden del Ecuador, para disminuir costos de mantenimiento vial y de operación de vehículos* [Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Vías Terrestres]. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2164>
- Vaca, C. B., Guaman, M. A., & Saldaña, C. S. (2023). *Incidencia del Estado de la Vía en el Costo de Mantenimiento de los Buses Urbanos del Cantón Tena*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11601>

- Ventura Espinal, J. A. (2008). Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). *Ministerio de Obras Públicas, Transporte, y de Vivienda y Desarrollo Urbano*, 1–26.
- Wang, G., Burrow, M., & Ghataora, G. (2020). Study of the Factors Affecting Road Roughness Measurement Using Smartphones. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(3), 04020020. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000558](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000558)
- Wang Qiu, S. Q. (2019). Generalidades y aplicaciones de la instrumentación de pavimentos en condiciones de campo en Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 20(36), 10. <https://doi.org/10.15517/iv.v20i36.37728>

ANEXOS

Anexo 1 Mapa del recorrido de las rutas de la 1 a la 16 en el cantón Riobamba.



Anexo 2 Evidencia fotográfica del ensayo realizado con el rugosímetro de Merlín en campo.



Foto 1 Toma de datos en las calles del cantón Guano para calibración de aplicación



Foto 2 Toma de datos en las calles del cantón Guano para calibración de aplicación

Anexo 3 Evidencia fotográfica de encuestas realizadas



Anexo 4 Formato de la encuesta aplicada a los propietarios y conductores de los buses urbanos del cantón Riobamba

Encuesta Nro. _____

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

La presente encuesta pertenece a los autores (Álvarez, D. y Vallejo E., 2024) y ha sido adaptada al proyecto de investigación “Impacto de las condiciones viales en los costos de mantenimiento de los buses urbanos en el cantón Riobamba”

Se solicita cordialmente que las preguntas sean respondidas en base a los valores reales o estimados.

Fecha de aplicación: _____ Placa de la unidad:
Modelo de la unidad:

- 1. ¿Cuál es el año de fabricación de la unidad de transporte?
- 2. ¿En qué línea de autobús realiza el recorrido?
Rotativas
- 3. ¿Cuántas veces circula la misma ruta por día?
- 4. ¿Qué ruta de las diferentes líneas de autobús en las que opera la cooperativa le parece la más deteriorada?
- 5. ¿En el año cuántas veces realiza el mantenimiento de autobús general?

	1 vez	
	2 veces	
	3 veces	
	4 veces	
	>4 veces	

Valor aproximado

- 6. ¿Cuáles son los elementos que mayormente requieren de repuestos o reemplazos? (Marque una o varias respuestas)

☐	Amortiguadores
☐	Neumáticos
☐	Alineación, balanceo y rotación
☐	Rulemanes de manzanas
☐	Frenos delanteros y posteriores

- 7. ¿Con qué frecuencia cambia al año los elementos o repuestos mencionados?

Neumáticos <table border="1"> <tr><td></td><td>1 vez</td></tr> <tr><td></td><td>2 veces</td></tr> <tr><td></td><td>3 veces</td></tr> <tr><td></td><td>4 veces</td></tr> <tr><td></td><td>>4 veces</td></tr> </table> Alineación, balanceo y rotación <table border="1"> <tr><td></td><td>1 vez</td></tr> <tr><td></td><td>2 veces</td></tr> <tr><td></td><td>3 veces</td></tr> <tr><td></td><td>4 veces</td></tr> <tr><td></td><td>>4 veces</td></tr> </table> Frenos delanteros y posteriores <table border="1"> <tr><td></td><td>1 vez</td></tr> <tr><td></td><td>2 veces</td></tr> <tr><td></td><td>3 veces</td></tr> <tr><td></td><td>4 veces</td></tr> <tr><td></td><td>>4 veces</td></tr> </table>		1 vez		2 veces		3 veces		4 veces		>4 veces		1 vez		2 veces		3 veces		4 veces		>4 veces		1 vez		2 veces		3 veces		4 veces		>4 veces	Amortiguadores <table border="1"> <tr><td></td><td>1 vez</td></tr> <tr><td></td><td>2 veces</td></tr> <tr><td></td><td>3 veces</td></tr> <tr><td></td><td>4 veces</td></tr> <tr><td></td><td>>4 veces</td></tr> </table> Rulemanes de manzanas <table border="1"> <tr><td></td><td>1 vez</td></tr> <tr><td></td><td>2 veces</td></tr> <tr><td></td><td>3 veces</td></tr> <tr><td></td><td>4 veces</td></tr> <tr><td></td><td>>4 veces</td></tr> </table>		1 vez		2 veces		3 veces		4 veces		>4 veces		1 vez		2 veces		3 veces		4 veces		>4 veces
	1 vez																																																		
	2 veces																																																		
	3 veces																																																		
	4 veces																																																		
	>4 veces																																																		
	1 vez																																																		
	2 veces																																																		
	3 veces																																																		
	4 veces																																																		
	>4 veces																																																		
	1 vez																																																		
	2 veces																																																		
	3 veces																																																		
	4 veces																																																		
	>4 veces																																																		
	1 vez																																																		
	2 veces																																																		
	3 veces																																																		
	4 veces																																																		
	>4 veces																																																		
	1 vez																																																		
	2 veces																																																		
	3 veces																																																		
	4 veces																																																		
	>4 veces																																																		

8. ¿Cuál es el costo en dólares que paga por los elementos o repuestos mencionados en cada cambio?

Neumáticos Costo promedio	<table border="1" style="width: 100px; height: 20px;"></table>	Amortiguadores Costo promedio	<table border="1" style="width: 100px; height: 20px;"></table>
Alineación, balanceo y rotación Costo promedio	<table border="1" style="width: 100px; height: 20px;"></table>	Rulemanes de manzanas Costo promedio	<table border="1" style="width: 100px; height: 20px;"></table>
Frenos delanteros y posteriores Costo promedio	<table border="1" style="width: 100px; height: 20px;"></table>		

Agradecemos su colaboración.

Anexo 6 Promedio de kilómetros recorridos al año de los buses de transporte urbano de la ciudad de Riobamba

Ruta	Distancia Total del Circuito (Km)	Nº Vueltas Diarias	Nº Buses	Recorrido Diario Unitario (Km)	Recorrido Diario Total (Km)	Número de Frecuencias Diarias	Número de Frecuencias Semanales	Total, Kilómetros Semanales
1	22.4	8	10	179.2	1792	80	560	12544
2	20.4	7	9	142.8	1285.2	63	441	8996.4
3	25.6	7	9	179.2	1612.8	63	441	11289.6
4	23.2	8	10	185.6	1856	80	560	12992
5	32.8	8	11	262.4	2886.4	88	616	20204.8
6	25.6	7	10	179.2	1792	70	490	12544
7	25.6	8	15	204.8	3072	120	840	21504
8	20.4	8	14	163.2	2284.8	112	784	15993.6
9	22.8	7	13	159.6	2074.8	91	637	14523.6
10	25.6	8	10	204.8	2048	80	560	14336
11A	22.4	8	18	179.2	3225.6	144	1008	22579.2
11B	22.4	8	15	179.2	2688	120	840	18816
12	23.2	7	14	162.4	2273.6	98	686	15915.2
13	25.6	8	11	204.8	2252.8	88	616	15769.6
14	25.6	8	12	204.8	2457.6	96	672	17203.2
15	20.8	7	12	145.6	1747.2	84	588	12230.4
16	25.6	7	12	179.2	2150.4	84	588	15052.8
Total	410		205	3116.00				262494.4
Recorrido promedio de un bus semanal (km)				1280.460488				
Kilómetros recorridos al año (km)				66766.92317				

Anexo 7 Tabla de resultados obtenidos de las 100 encuestas realizadas a los propietarios de los buses urbanos de la ciudad de Riobamba.

Resultados de las encuestas			
Circuito			
1. ¿Cuál es el año de fabricación de la unidad de transporte?	Año		
	< 2010	< 2020	< 2025
	14	68	38
2. ¿En qué línea de autobús usted realiza el recorrido?	Rotativas		
	6 veces	7 veces	8 veces

3. ¿Cuántas veces circula la misma ruta por día?	20	34	66
4. ¿Qué ruta de las diferentes líneas de autobús en las que opera la cooperativa le parece la más deteriorada?	Línea 10	Línea 11	Línea 14
	13	32	31

Mantenimiento					
5. ¿En el año cuantas veces realiza el mantenimiento del autobús?	1 vez	2 veces	3 veces	4 veces	> 4 veces
	2	8	0	5	105
6. ¿Cuáles son los elementos que mayormente requieren de repuestos o remplazos?	Amortiguadores	Neumáticos	Alineación, balanceo y rotación	Rulemanes de manzana	Frenos delanteros y posteriores
	99	111	61	5	73
7. Con qué frecuencia cambia al año los elementos o repuestos mencionados:	1 vez	2 veces	3 veces	4 veces	> 4 veces
	Neumáticos				
	67	51	1	0	1
	Alineación, balanceo y rotación				
	84	31	5	0	0
	Frenos delanteros y posteriores				
	99	19 2	0	0	
	Amortiguadores				
	80	35	5	0	0
	Rulemanes de manzana				
	114	6	0	0	0

8. ¿Cuál es el costo en dólares que usted paga por los elementos o repuestos mencionados?	Neumáticos	Alineación, balanceo y rotación	Frenos delanteros y posteriores	Amortiguadores	Rulemanes de manzana
Costo promedio:	1598.6	128.5	346	884.8	471.4