



# **INGENIERÍA VIAL SOSTENIBLE EN ECUADOR**

**INNOVACIÓN, DISEÑO Y GESTIÓN PARA EL  
DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA**

EDITORIAL QUEYÁM

Copyright 2025 Compañía Editorial  
© Editorial QUEYÁM Cía. Ltda  
© Universidad Técnica Particular de Loja

Pérez de Anda 01-180 y Castillo  
Ambato – Ecuador  
Teléfono: (+593) 96 239 7155  
editorial@queyam.com

**Editor:** Yasmany García-Ramírez

**Primera edición:** 2025  
**ISBN:** 978-9942-7409-7-7

### **Equipo editorial**

<b>Director:</b>	Diego Bonilla Jurado
<b>Coordinador editorial:</b>	Fernanda Núñez Ambato
<b>Corrector de estilo:</b>	Gregorio Gualavisí González
<b>Diseño:</b>	Fernando Ortiz Betancourt

### **Revisores**

#### **Ing. Ronald Stebeen Rivera Coloma**

Magíster en Gestión del Transporte, mención Tráfico, Movilidad y Seguridad Vial  
Universidad Internacional del Ecuador

#### **Dr. José Eleazar Arreygue Rocha**

Ingeniero Civil – UMSNH  
Doctor en Geología Aplicada y Riesgos Hidrogeológicos - Universidad de Florencia

© Editorial QUEYÁM Cía. Ltda., 2025.

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida, almacenada o transmitida en ninguna forma ni por ningún medio sin autorización previa de la editorial.

# INGENIERÍA VIAL SOSTENIBLE EN ECUADOR

Innovación, Diseño y Gestión para el  
Desarrollo de Infraestructura

PREFACIO .....	IX
----------------	----

## DISEÑO AVANZADO DE CARRETERAS

Análisis potencial de túneles como estrategia de optimización geométrica vial en el eje E35-E50 Loja-Catamayo .....	3
Levantamiento topográfico con drones en zonas de difícil acceso para proyectos viales en la región Amazónica ecuatoriana.....	15
Evaluación del impacto de pendientes longitudinales en el diseño geométrico de caminos rurales: caso La Lojanita – Lago Agrio.....	27
Evaluación de pendientes y caracterización de condiciones viales con alternativas de mejora mediante levantamiento topográfico con drones: caso de estudio: vía de Asunción, Cantón Girón – Azuay .....	37
Optimización del alineamiento vertical de la Av. Jorge Perrone mediante MDT y normativa vial en Guayaquil.....	49
Rediseño geométrico de la vía Balbanera – Pallatanga – Bucay, sector de Trigoloma.....	57
Innovaciones tecnológicas en el análisis geométrico de vías en alta montaña: aplicación comparativa entre GPS diferencial y fotogrametría .....	65

## TRÁNSITO URBANO Y MOVILIDAD

Simulación de un distribuidor de tráfico en el redondel ubicado en el terminal terrestre de la ciudad de Loja.....	75
Estudio vial correspondiente al TPDA de la vía Juján – Babahoyo .....	85
Modelamiento de una intersección para la implementación de un semáforo .....	93
Congestión de tránsito en el redondel del Minguero, Tulcán: evaluación, diagnóstico y recomendaciones para descongestionamiento.....	103



Optimización del tráfico vehicular en una intersección urbana de alto flujo en la ciudad de Azogues mediante el Software Aimsun .....	111
---	-----

## GESTIÓN DE PROYECTOS VIALES

Beneficios ambientales y económicos del uso de Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) en Ecuador: una alternativa sostenible para la construcción vial .....	121
Implementación de asfalto fresado como alternativa de bajo costo de pavimentación tipo doble riego en calles de sectores periféricos.....	129
Gestión vial para el mantenimiento rutinario en vías lastradas mediante microempresas o asociaciones viales constituidas legalmente .....	137
Incorporación de plástico PET reciclado en mezclas asfálticas como una alternativa sostenible para mejorar la infraestructura vial en Quito.....	145
Análisis comparativo entre los procesos de diseño y construcción tradicional y la aplicación de la metodología BIM en infraestructura vial.....	157
Uso del HDM-4 para la evaluación técnica y económica de la vía Santa Fe – Caluma de la Provincia Bolívar .....	165
Reciclaje de pavimentos flexibles como alternativa sostenible para extender la vida útil de carretera 35 Riobamba - Balbanera tramo 463+100 a 464+100 .....	181
Manual técnico y criterios básicos para la elaboración de catálogos de secciones estructurales de pavimentos flexibles en Quito .....	191
Base-cemento para pavimentos: caso de aplicación Cariamanga – Cantón Calvas – Loja.....	203
Implementación de pavimento articulado de alta permeabilidad para un drenaje sostenible.....	211
Diseño estructural de pavimento flexible para ampliación y rehabilitación de la vía E25 del tramo San Juan–Babahoyo, Ecuador.....	221
Material fresado asfáltico como alternativa mejorada para el mantenimiento de vías rurales .....	231

Integración de carreteras sostenibles con el medio ambiente en la región Andina del Ecuador .....	241
Pavimentos sostenibles: Aplicación del Asfalto Reciclado (RAP) en la infraestructura vial del Ecuador.....	249
Conservación de pavimentos mediante sellado de grietas utilizando caucho reciclado .....	257

## SEGURIDAD VIAL

Factores de riesgo vial en la intersección “5 esquinas” y propuestas de mejora para el tránsito urbano en Azogues .....	267
Aplicación de pintura termoplástica logarítmica para optimizar la seguridad vial en curvas críticas del tramo El Carmen–Flavio .....	277
Evaluación de condiciones y factores de uso de ciclovías en el sistema vial del Distrito Metropolitano de Quito .....	289
Urbanismo táctico: implementación para recuperar espacios públicos .....	299





## PREFACIO

Este libro compila una serie de investigaciones aplicadas y estudios de caso desarrollados en el marco del área de Ingeniería Civil con énfasis en vías, dentro del contexto ecuatoriano. Está estructurado en cuatro áreas clave: Diseño Avanzado de Carreteras, Tránsito Urbano y Movilidad, Gestión de Proyectos Viales y Seguridad Vial. Cada sección cuenta con varios capítulos que presentan experiencias concretas, resultados de levantamientos de campo, análisis técnicos, simulaciones y propuestas de mejora que surgen desde el entorno académico, con impacto directo en comunidades y sectores estratégicos del país. El lector encontrará en estas páginas un balance entre rigor técnico y aplicabilidad, con investigaciones que abordan desde el uso de tecnologías emergentes (como drones, GPS diferencial o *software* de simulación) hasta alternativas sostenibles en materiales y gestión vial. Este enfoque integral permite abordar las necesidades viales desde una perspectiva multidisciplinaria, fundamentada en la realidad territorial y social del Ecuador. Esta obra está dirigida a estudiantes, docentes, profesionales del sector vial, tomadores de decisiones y a toda persona interesada en conocer experiencias actuales y emergentes de la ingeniería vial en nuestro país. Agradecemos profundamente a los autores por su valioso aporte, así como a las instituciones, como la Universidad Técnica Particular de Loja, que hacen posible esta articulación entre academia, investigación y servicio a la sociedad.



The background of the entire page is a light gray topographic map. It features numerous contour lines of varying thickness and shades of gray, creating a complex, organic pattern that resembles a landscape's elevation. The lines are more densely packed in some areas and more spread out in others, giving a sense of depth and terrain.

ÁREA

**DISEÑO  
AVANZADO DE  
CARRETERAS**







# Análisis potencial de túneles como estrategia de optimización geométrica vial en el eje E35-E50 Loja-Catamayo

Solis Shiqui, Washington<sup>1</sup> & Gordillo Gualpa, Mateo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, wssolis2@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, mggordillo6@utpl.edu.ec

## Introducción

Los proyectos viales en zonas montañosas enfrentan desafíos particulares debido a las condiciones del terreno. Factores como la geomorfología (relieve y formas del terreno), la litología (tipos de roca) y la estratigrafía (disposición de capas geológicas) influyen significativamente en la ubicación, el trazado y el diseño geométrico de las carreteras de montaña. Estos factores determinan la estabilidad de taludes, la viabilidad de ciertos alineamientos, la necesidad de obras especiales (como túneles o puentes) y los parámetros de diseño, incluidas las pendientes máximas, peraltes y radios de curva (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTO], 2012).

Un diseño geométrico óptimo en terreno montañoso debe armonizar estas condicionantes geológicas con los criterios de seguridad vial y las normativas técnicas, lo que representa un verdadero reto de ingeniería. En el contexto ecuatoriano, este desafío es especialmente relevante en la Cordillera Oriental, donde provincias como Loja y Morona Santiago presentan pendientes escarpadas, suelos inestables y un clima húmedo intenso. Estos factores han provocado deslizamientos frecuentes y complicaciones en vías existentes (Instituto Nacional de Investigación Geológico, Minero y Metalúrgico [INIGEMM], 2017; Ramírez, 2016).

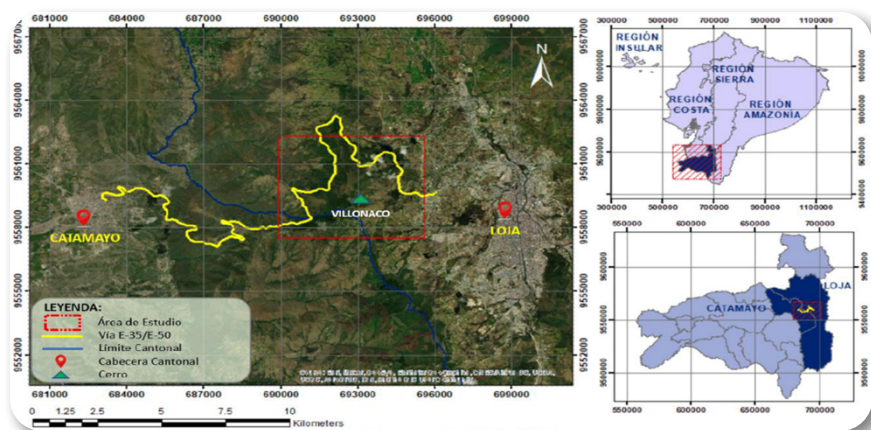
La presente investigación analiza el uso potencial de túneles como estrategia de optimización geométrica del trazado vial en el eje E35–E50, específicamente en el tramo Loja–Catamayo, caracterizado por su topografía accidentada y condiciones geológicas complejas. A partir de estudios existentes, como el de Sánchez Montero (2022), se propone



una alternativa subterránea que permitiría reducir el trayecto a 19,13 km, mejorando significativamente el trazado actual. Aunque este análisis se realizó únicamente a partir de afloramientos superficiales y sin estudios geofísicos o de sondeo, constituye un insumo valioso para evaluar soluciones viables en regiones montañosas.

La ubicación general de la zona de estudio se observa en la Figura 1.

**Figura 1.** Ubicación general del tramo Loja-Catamayo en el eje vial E35-E50



*Nota.* Elaboración propia basada en Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2012).

## Materiales y métodos

### Enfoque de la investigación

La presente investigación adopta un enfoque documental y exploratorio, basado en la revisión crítica de fuentes técnicas, normativas y académicas relacionadas con el uso de túneles como alternativa vial en zonas montañosas. No se realizaron trabajos de campo; en su lugar, se emplearon documentos clave, tales como la tesis de Sánchez Montero (2022), publicaciones especializadas, manuales de diseño geométrico y de túneles, así como cartografía oficial emitida por el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Servicio Nacional de Información (SNI).

## Revisión y análisis de fuentes

A partir de esta documentación, se identificaron los factores geotécnicos, geomorfológicos y funcionales que afectan el tramo Loja–Catamayo, evaluando su viabilidad para una intervención subterránea (véase Figura 2). La propuesta de túnel de 19,13 km, planteada por Sánchez Montero (2022), se retoma como referencia, dado que permite reducir significativamente el tiempo de recorrido y optimizar el trazado existente, sirviendo como base conceptual para el análisis técnico.

**Figura 2.** Integración del túnel propuesto con la infraestructura vial existente



*Nota.* Elaboración propia basada en Sánchez (2022).

En contextos andinos, como el ecuatoriano, la construcción de túneles representa una estrategia eficiente para mejorar la conectividad y reducir los tiempos de viaje, al mismo tiempo que enfrenta desafíos geotécnicos, geomorfológicos y ambientales. Según PIARC (2017), los túneles permiten evitar curvas cerradas, pendientes prolongadas y pasos de montaña, incrementando la seguridad vial. Además, disminuyen la exposición a deslizamientos, caída de rocas y condiciones climáticas extremas, reduciendo cierres por emergencia y costos de mantenimiento (Rodríguez, Mejía y Carrillo, 2018). Asimismo, minimizan impactos ambientales y sociales, al evitar la fragmentación de ecosistemas, expropiaciones masivas y alteraciones paisajísticas (Herrera y Guzmán, 2020; Altamira 2020).



Experiencias regionales, como el Túnel de La Línea (Colombia) y el Túnel de Ollachea (Perú), evidencian que, mediante estudios geotécnicos rigurosos y evaluaciones costo-beneficio adecuadas, esta solución puede replicarse exitosamente en entornos andinos (Valbuena y Calderón, 2019). La propuesta de Sánchez Montero (2022) integra criterios geométricos, métodos empíricos de clasificación geomecánica y herramientas de modelación numérica, constituyendo un marco técnico útil para el desarrollo de proyectos en terrenos complejos, aun cuando no incluya sondeos ni ensayos de laboratorio.

Experiencias regionales, como el Túnel de La Línea (Colombia) y el de Ollachea (Perú), evidencian que, mediante estudios geotécnicos rigurosos y evaluaciones costo-beneficio adecuadas, esta solución puede replicarse exitosamente en entornos andinos (Valbuena & Calderón, 2019). La propuesta de Sánchez Montero (2022) integra criterios geométricos, métodos empíricos de clasificación geomecánica y herramientas de modelación numérica, constituyendo un marco técnico útil para el desarrollo de proyectos en terrenos complejos, aun cuando no incluya sondeos o ensayos de laboratorio.

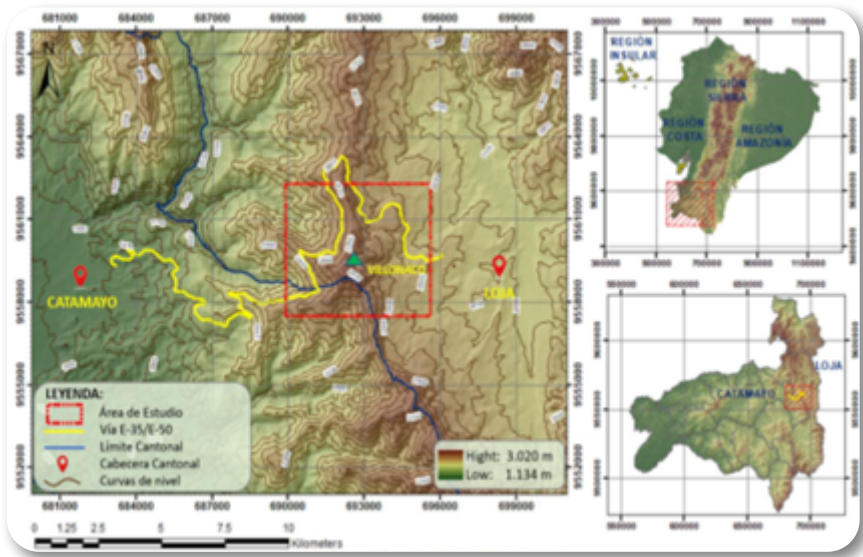
## Herramientas y técnicas aplicadas

Para el análisis complementario, se consideraron estudios que destacan la reducción de sinuosidad del trazado y de los riesgos geotécnicos mediante el uso de túneles (Rodríguez et al., 2018), así como la necesidad de diseños de sostenimiento basados en las clasificaciones RMR y Q, validadas con *software* especializado, como Phase2 (Valbuena y Calderón, 2019).

Se propone la utilización de sistemas de información geográfica (SIG), como ArcMap, para elaborar perfiles geotécnicos, la aplicación de modelación numérica para validar estructuras de sostenimiento, y el uso de soluciones constructivas adaptadas al terreno, tales como

concreto lanzado, pernos de anclaje o cerchas metálicas (Rodríguez *et al.*, 2018). Todo ello debe complementarse con estudios definitivos que incluyan perforaciones, análisis geofísicos y el diseño estructural e hidráulico del túnel.

**Figura 3.** Mapa orográfico de la zona de análisis



*Nota.* Elaboración propia basada en cartografía geológica del IIGE, modelos de elevación del SIGTIERRAS y topografía del IGM.

La base geoespacial del estudio se construyó utilizando modelos digitales de elevación (MDE), imágenes satelitales Sentinel-2, registros de vuelos con drones y mapas de susceptibilidad elaborados por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE). El análisis geoespacial se desarrolló en plataformas de sistemas de información geográfica (SIG), tales como ArcGIS, Global Mapper y Google Earth, mientras que la simulación de estabilidad de taludes se realizó con los programas GeoStudio, Rocscience y Phase2.

De acuerdo con la normativa NEVI-12, el corredor Loja–Catamayo comprende zonas de relieve ondulado, montañoso y escarpado, lo que exigió evaluar alternativas de trazado que minimicen los cortes



y rellenos, evitando el cruce de fallas geológicas activas mediante un análisis estructural del terreno. Para el diseño de taludes, se aplicaron métodos de equilibrio límite y clasificaciones geomecánicas como RMR (Rock Mass Rating) y SMR (Slope Mass Rating), con el fin de determinar pendientes y sistemas de refuerzo adecuados (Sánchez Montero, 2022; IIGE, 2021).

## **Parámetros geométricos y criterios de diseño**

Con base en el entorno geotécnico, se establecieron los parámetros geométricos clave del trazado, entre ellos: velocidades de diseño entre 40 y 60 km/h, radios mínimos compatibles con la seguridad vial y pendientes longitudinales máximas del 8%. Los tramos que no cumplen estas condiciones o atraviesan zonas geológicamente inestables se identifican como candidatos para la construcción de túneles.

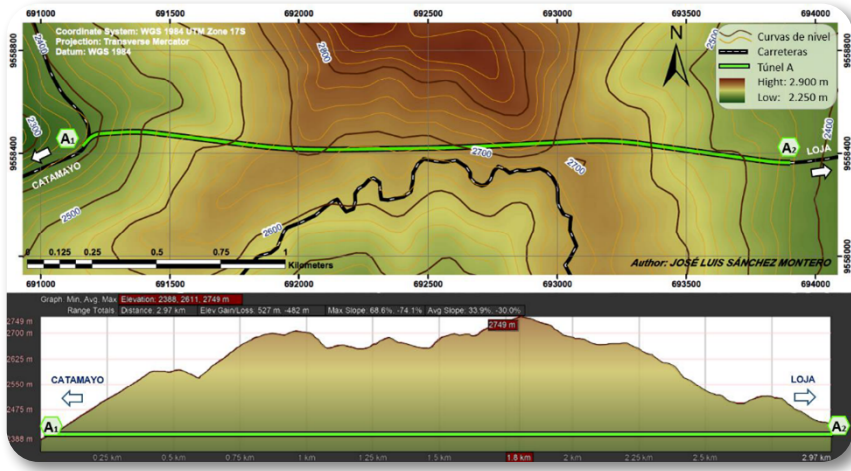
Las alternativas de diseño se compararon considerando los costos de inversión y operación, así como la funcionalidad global del corredor, integrando tramos a cielo abierto, túneles y viaductos (Sánchez Montero, 2022).

Dado que la normativa ecuatoriana NEVI-12 no regula de manera específica el diseño de túneles, se recurrió a normativas internacionales como las del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, Colombia), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, México), el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTMOC, Perú) y la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC, 2019), garantizando estándares internacionales de seguridad y funcionalidad.

La construcción de túneles se justifica cuando permite reducir pendientes críticas, evitar taludes difíciles de estabilizar, sortear zonas inestables o acortar rutas, al mismo tiempo que protege frente a eventos climáticos extremos y contribuye a disminuir la huella ambiental del proyecto.



Figura 4. Geometría vertical y horizontal del túnel propuesto



Nota. Elaboración propia basada en Sánchez (2022) y en normativa internacional aplicable.

El diseño preliminar del eje Loja–Catamayo integró criterios topográficos, geológicos y normativos, considerando el Manual Ecuatoriano de Diseño Geométrico de Carreteras (Ministerio de Obras Públicas [MOP], 2003) y el AASHTO Green Book (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2018). Ante la ausencia de una normativa local específica para el diseño de túneles, se aplicaron las guías técnicas de la Federal Highway Administration [FHWA] (2019) de Estados Unidos, del Instituto Nacional de Vías [INVIAS] (2015) de Colombia, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC] (2018) de Perú, y de la British Tunnelling Society (2015), complementadas con los criterios no oficiales de la NEVI (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2012).

## Resultados

La experiencia analizada en el tramo Loja–Catamayo evidencia cómo la aplicación de buenas prácticas en la planificación y diseño de túneles, sustentadas en estudios geotécnicos, normativa técnica internacional y herramientas de modelación especializada, permite



enfrentar de manera eficiente los desafíos que impone la geografía montañosa. Lejos de constituir una solución costosa o excepcional, el uso de túneles bien planificados se presenta como una alternativa sostenible, segura y funcional frente a la vulnerabilidad de las vías tradicionales ante fenómenos naturales, pendientes extremas o suelos inestables.

La propuesta de un túnel de 19,13 km en este eje vial no solo optimiza el recorrido y mejora la conectividad regional, sino que también reduce los riesgos geológicos, los impactos ambientales y los costos de mantenimiento a largo plazo. Además, permitiría un ahorro aproximado de 15 minutos en el tiempo de viaje entre Loja y Catamayo, al evitar zonas sinuosas, pasos de montaña y tramos con velocidad reducida (SCT, 2016). Esto se traduce en una mayor eficiencia operativa y en menores emisiones por combustión vehicular, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad del transporte.

Este tipo de soluciones integradas demuestra que, cuando se aplican criterios técnicos de diseño de manera rigurosa y adaptada a las condiciones locales desde las etapas iniciales, es posible desarrollar infraestructura vial que responda a las exigencias del terreno sin comprometer la seguridad, la eficiencia ni la sostenibilidad.

En un país como Ecuador, donde gran parte de la red vial atraviesa cordilleras y terrenos complejos, fomentar el uso estratégico de túneles basados en estándares técnicos reconocidos y metodologías integradas representa una oportunidad clave para modernizar el sistema de transporte nacional. Asimismo, favorece un desarrollo territorial más equilibrado, al conectar de manera confiable zonas productivas, centros urbanos y regiones aisladas, bajo criterios técnicos, ambientales y de planificación a largo plazo.





## Contribución de autores (CRediT)

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.

## Referencias

- Altamira, A. L. (2020). *Diseño geométrico de caminos de montaña: Particularidades y desafíos*. Avances en Investigación en Ingeniería, 17(2), 45–60. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7003>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). *A policy on geometric design of highways and streets (7th ed.)*. AASHTO.
- British Tunnelling Society. (2015). *Guidelines for tunnel design*. British Tunnelling Society.
- Federal Highway Administration. (2019). *Technical manual for design and construction of road tunnels: Civil elements*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Herrera, J., & Guzmán, R. (2020). Impacto ambiental y social en la construcción de túneles de carretera. *Revista de Ingeniería y Territorio*, 14(1), 22–35.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2021). *Investigación geológica y disponibilidad de recursos minerales en Ecuador: Informe de gestión 2020*. IIGE. <https://geoenergia.gob.ec>
- Instituto Nacional de Investigación Geológico, Minero y Metalúrgico. (2017). *Estudio geológico y geotécnico para el desarrollo de infraestructura vial en zonas andinas del Ecuador*. INIGEMM.



- Instituto Nacional de Vías. (2015). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Ministerio de Transporte.
- Ministerio de Obras Públicas. (2003). *Manual ecuatoriano de diseño geométrico de carreteras*. MOP.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). *Norma ecuatoriana de vialidad NEVI-12*. MTOP.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. MTMOC.
- PIARC. (2017). *Manual de túneles de carretera. Asociación Mundial de la Carretera*. <https://tunnelsmanual.piarc.org>
- Ramírez, P. (2016). *Evaluación de la estabilidad de taludes y geotecnia vial en la Sierra Sur del Ecuador [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]*. Universidad de Cuenca.
- Rodríguez, L., Mejía, P., & Carrillo, J. (2018). Túneles y sostenibilidad: Beneficios en infraestructura vial de montaña. *Revista Ingeniería Civil y Ambiente*, 12(2), 45–60.
- Sánchez Montero, J. L. (2022). *Uso de túneles para el desarrollo del transporte en la sierra ecuatoriana, con énfasis en el eje vial E35–E50 Loja–Catamayo [Tesis de maestría, Universidad Técnica Particular de Loja]*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. SCT.
- Valbuena, M., & Calderón, A. (2019). Impacto socioeconómico de los túneles viales en la región andina. *Revista de Transporte y Logística*, 5(1), 88–102.







# Levantamiento topográfico con drones en zonas de difícil acceso para proyectos viales en la región Amazónica ecuatoriana

Vallejo Bravo, Jhonny<sup>1</sup> & Puchaicela Santander, Ángel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jpvalejo10@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, aapuchaicela@utpl.edu.ec

## Introducción

La topografía constituye una disciplina fundamental en el ámbito de la ingeniería civil, ya que permite representar la forma del terreno considerando tanto sus dimensiones horizontales como verticales. Esta disciplina se subdivide en planimetría y altimetría. La planimetría se encarga del estudio y aplicación de los métodos necesarios para representar, a escala, los detalles de un terreno sobre una superficie plana, omitiendo el relieve o los desniveles (Del Río *et al.*, 2020). Por su parte, la altimetría se enfoca en la medición y representación de cotas (alturas), pendientes y diferencias de nivel entre distintos puntos (Del Río *et al.*, 2020).

La topografía permite realizar diversos tipos de levantamientos (Rincón Villalba, 2017), entre los cuales se destacan:

- Levantamientos de terrenos en general, para marcar linderos, ubicar propiedades y proyectar obras civiles.
- Levantamientos para vías de comunicación, aplicados en la construcción de caminos, ferrocarriles, canales y acueductos.
- Levantamientos de minas, destinados al control y fijación de trabajos subterráneos.
- Levantamientos catastrales, que buscan localizar linderos tanto en sectores urbanos como rurales.
- Levantamientos hidrográficos, relacionados con los deslindes de playas, ríos, lagos y embalses.



- Levantamientos aéreos, realizados mediante fotografías capturadas desde aeronaves o drones.

Actualmente, las zonas orientales del Ecuador, especialmente en la región amazónica, enfrentan serias dificultades para la ejecución de levantamientos topográficos. Factores como la densa vegetación, la alta humedad, la escasa infraestructura vial y el difícil acceso geográfico aumentan el riesgo, el tiempo y los costos asociados cuando se emplean métodos convencionales (Crespo & Ortega, 2019; Mora-Castro *et al.*, 2021). En regiones tropicales, las condiciones climáticas y la cobertura arbórea limitan la visibilidad terrestre y afectan la precisión de los levantamientos realizados mediante estación total o GPS convencional, lo que exige soluciones tecnológicas de mayor alcance (Carvajal & Ramos, 2018).

Ante esta problemática, la presente investigación propone el uso de drones con capacidad de fotogrametría como alternativa para el levantamiento topográfico. Esta tecnología ha demostrado ser altamente eficiente para la captura de datos en terrenos de difícil acceso, como aquellos ubicados en zonas selváticas (Pérez-Soto *et al.*, 2020). Entre sus ventajas destacan la generación de ortomosaicos, modelos digitales de elevación (MDE) y curvas de nivel con una precisión centimétrica, incluso bajo condiciones complejas de relieve, todo ello con mínima intervención física. Esta característica evita la apertura de trochas y favorece la conservación del entorno natural (Hernández-Ruiz & Vega-González, 2022; Vargas & Zamora, 2021).

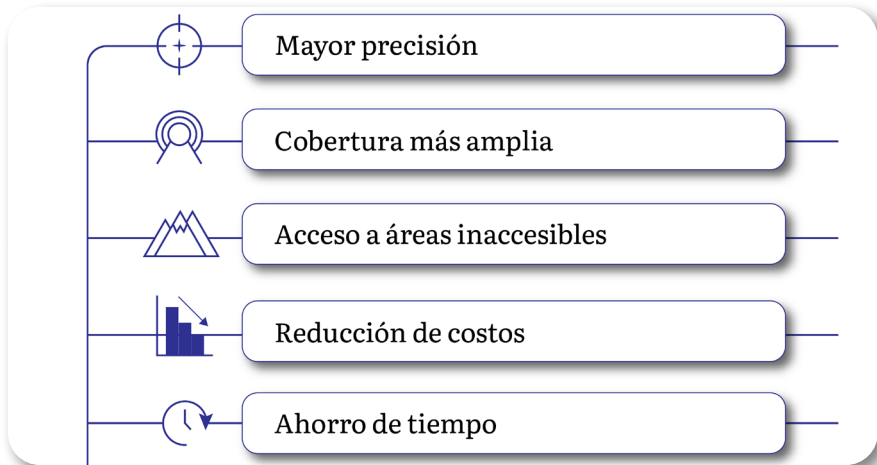
Actualmente, el uso de estas nuevas tecnologías en el sector de la construcción es cada vez más frecuente. El empleo de aeronaves no tripuladas (UAV) ofrece ventajas directas en cuanto al ahorro de tiempo y la precisión de los datos, lo que agiliza los procesos constructivos. Estas herramientas proporcionan información tanto en imágenes georreferenciadas como en medidas directas con altos niveles de precisión. Además, contribuyen a la reducción de riesgos



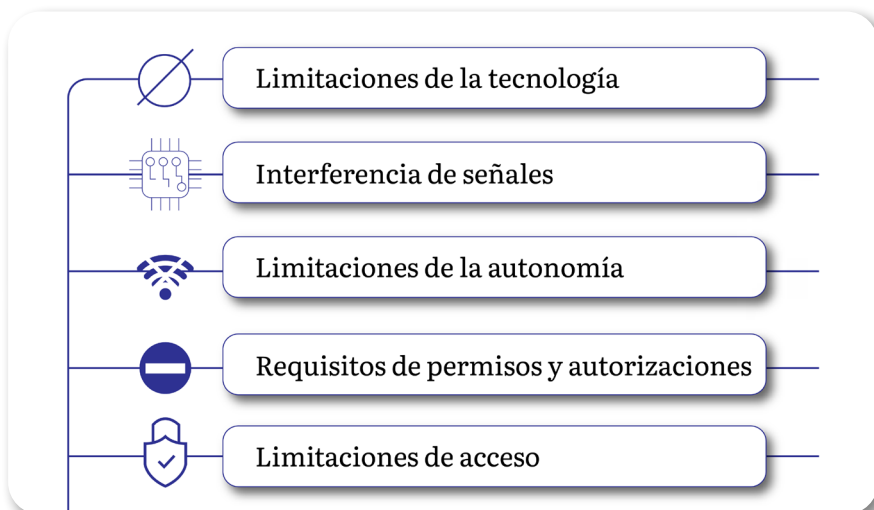
laborales, al permitir inspecciones de mantenimiento sin exponer al personal a condiciones peligrosas, y mejoran la planificación del proyecto gracias a su amplio campo de cobertura (Solórzano-Bákit et al., 2020).

Sus aplicaciones en el sector de la construcción continúan en expansión, especialmente en áreas como inspecciones de obra, levantamientos topográficos, mantenimiento de infraestructuras, evaluación del impacto ambiental, exploración geológica y gestión de riesgos (Solórzano-Bákit et al., 2020).

**Figura 1.** *Ventajas del uso de drones*



*Nota.* Elaborado en base a Sandoval (2025).

**Figura 2.** Desventajas del uso de dron

*Nota.* Elaborado en base a Sandoval (2025).

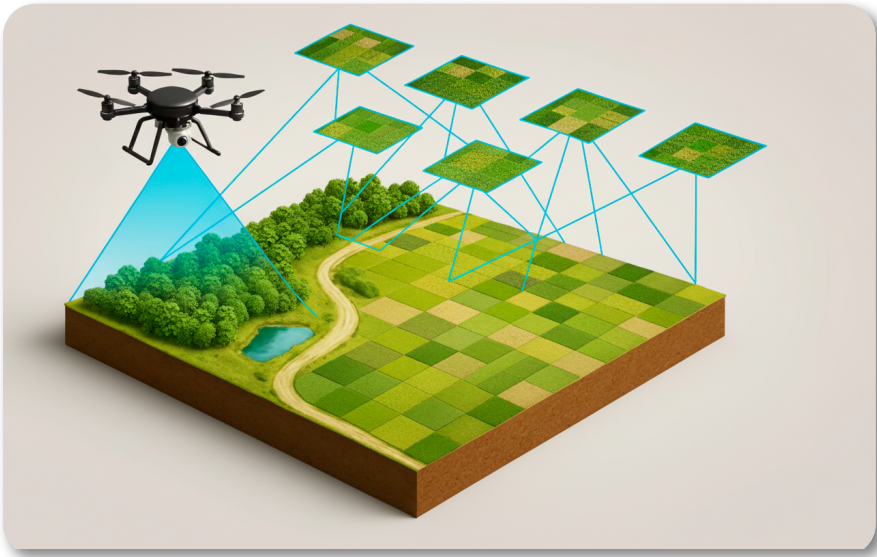
La fotogrametría es una técnica utilizada para determinar las dimensiones y la ubicación de objetos en el espacio a partir de fotografías. Este procedimiento se lleva a cabo mediante la medición derivada de la intersección de dos o más imágenes tomadas desde distintos puntos de vista, lo que permite reconstruir la geometría tridimensional del terreno (Gómez & Serrano, 2019; Torres et al., 2021).

Gracias a la fotogrametría, es posible generar modelos digitales del terreno (MDT) y modelos digitales de superficie (MDS) con alta resolución espacial, ampliamente aplicados en el diseño de infraestructuras viales, hidráulicas y urbanas (Muñoz & Carrillo, 2020). Asimismo, la integración de vehículos aéreos no tripulados (UAV) equipados con cámaras métricas y *software* de restitución fotogramétrica ha mejorado notablemente la precisión y eficiencia de los levantamientos topográficos (Ruiz-Barreto & Paredes, 2022; Fernández et al., 2023).



Como se ilustra en la siguiente figura, el proceso de captura de las fotografías se realiza de manera precisa y controlada, siguiendo rutas planificadas y parámetros de solape que garantizan la correcta generación del modelo tridimensional (Del Río *et al.*, 2020).

**Figura 3.** *Dron utilizado en medición de terrenos*



*Nota.* El vuelo fotogramétrico se realiza a altitud y velocidad constantes, capturando imágenes con un solape controlado para generar el modelo tridimensional del terreno.

La misión del vuelo fotogramétrico tiene como objetivo realizar un sobrevuelo del área a una altitud y velocidad uniformes, siguiendo un conjunto de rutas paralelas y gestionando las posibles desviaciones. Durante cada pasada, la cámara realiza exposiciones de manera que las fotografías presentan un traslape longitudinal significativo, lo cual es esencial para la reconstrucción precisa del terreno. Es decir, se establece un recubrimiento longitudinal predefinido entre fotogramas adyacentes de dos pasadas o vuelos consecutivos.



Por lo general, las pasadas se efectúan en sentido inverso, generando un solape transversal adicional, que mejora la continuidad del modelo tridimensional (Del Río *et al.*, 2020).

## **Materiales y métodos**

Para la captura de información geoespacial y el replanteo del proyecto vial se emplearon dos equipos principales: el sistema LiDAR aerotransportado AlphaUni 300 de la marca CHCNAV y la estación total Sokkia iM-55.

El sistema LiDAR se montó sobre una plataforma aérea no tripulada (UAV) equipada con sensores de barrido láser, unidad de navegación inercial (INS) y receptor de posicionamiento GNSS. Esta configuración permitió obtener una nube de puntos tridimensional de alta densidad y precisión en zonas de difícil acceso.

Por su parte, la estación total Sokkia iM-55 se utilizó para la toma de mediciones directas en campo y el replanteo de puntos de control, los cuales sirvieron para la verificación y ajuste de la información generada por el sistema LiDAR.

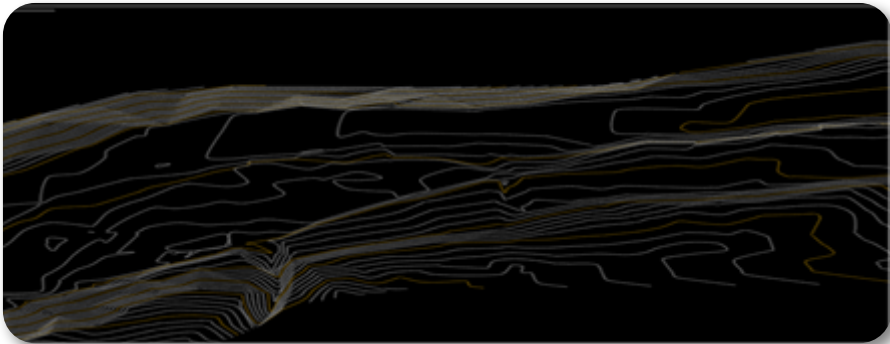
Durante la fase de levantamiento, se planificó el vuelo de acuerdo con las condiciones topográficas del área de estudio, definiendo la altura, velocidad y traslape de las trayectorias con el fin de garantizar una cobertura adecuada. El sistema LiDAR realizó el barrido láser aerotransportado, registrando pulsos sincronizados con los datos del sistema inercial y del posicionamiento satelital. En caso necesario, se incorporaron imágenes aéreas complementarias para mejorar la precisión del modelo tridimensional.

Una vez completada la captura, los datos obtenidos fueron contrastados con las mediciones realizadas con la estación total Sokkia iM-55, lo que permitió comprobar la exactitud y consistencia geométrica de la información.

Posteriormente, en gabinete, se procesó la nube de puntos, realizando la clasificación y filtrado de los datos para eliminar ruido y generar los modelos digitales de superficie (MDS) y modelos digitales del terreno (MDT). Con esta información se elaboraron curvas de nivel y planos topográficos mediante el *software* Autodesk Civil 3D, lo que facilitó el análisis geométrico y el diseño del proyecto vial.

Finalmente, la estación total se empleó nuevamente para el replanteo preciso de los puntos y alineamientos definidos en gabinete, asegurando la correcta materialización del trazado y la precisión en la ejecución de los trabajos topográficos.

**Figura 4.** *Franja topográfica levantada con estación total Sokkia iM-55*



*Nota.* Las coordenadas se presentan en el sistema WGS 84; la escala vertical está exagerada 2:1.

## Resultados

El levantamiento topográfico LiDAR y fotogramétrico se llevó a cabo sobre una superficie aproximada de 90 hectáreas, ubicadas en la margen derecha del río Upano, bajo una escala de trabajo de 1:1,000 y con curvas de nivel generadas a una equidistancia vertical de 1,0 m. La metodología incluyó las fases de alistamiento inicial, establecimiento del marco de referencia GNSS, planificación del vuelo, adquisición de datos, procesamiento y generación de productos cartográficos. Los productos finales comprendieron ortofotos georreferenciadas,

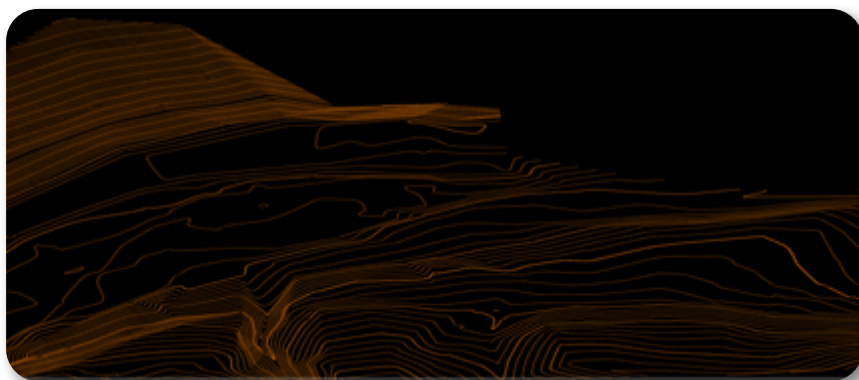


modelos digitales de superficie (MDS) y modelos digitales del terreno (MDT), entregados en formatos CAD, SHP y DEM, garantizando compatibilidad con plataformas SIG y software de diseño vial.

El sistema LiDAR AlphaUni300 de la marca CHCNAV (ver Figura 5), instalado sobre una plataforma aérea no tripulada (UAV), permitió obtener una nube de puntos tridimensional con una densidad promedio de 20 puntos por  $m^2$ . Este nivel de detalle facilitó la representación precisa del relieve, la identificación de rasgos geomorfológicos y la delimitación de zonas de difícil acceso cubiertas por vegetación densa.

Los datos capturados mostraron una notable consistencia interna. Sin embargo, al compararse las cotas obtenidas con las mediciones de control realizadas mediante la estación total Sokkia iM-55, empleada para el replanteo del eje vial, se evidenció una diferencia máxima de 5,38 m entre puntos coincidentes. Este resultado subraya la necesidad de mantener un único marco de referencia geodésico bien definido y homologado para evitar discrepancias en la integración de distintas fuentes de datos.

**Figura 5.** Franja topográfica levantada con el sistema LiDAR AlphaUni300-CHCNAV



*Nota.* Elaboración propia.



Si bien la fotogrametría con drones proporciona una cobertura rápida y eficiente en terrenos irregulares o con limitaciones de acceso, los resultados demuestran que, en proyectos que requieren alta precisión geométrica, es indispensable realizar procesos de validación cruzada mediante técnicas convencionales, como el uso de estación total o receptores GNSS de doble frecuencia. La comparación entre ambos métodos evidenció que la integración de las tecnologías LiDAR y fotogramétricas, combinada con controles topográficos de campo, permite obtener productos de alta fiabilidad y resolución. En conjunto, estos resultados confirman que la aplicación de sistemas aéreos no tripulados con sensores de alta precisión constituye una herramienta efectiva para el diagnóstico, planificación y diseño de infraestructura vial en regiones amazónicas caracterizadas por su compleja topografía y densa cobertura vegetal.

### **Contribución de autores (CRediT)**

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.

### **Referencias**

- Carvajal, L., & Ramos, F. (2018). Aplicación de tecnologías GNSS en zonas tropicales con limitaciones de visibilidad satelital. *Revista Latinoamericana de Topografía y Geodesia*, 12(3), 33–41.
- Crespo, R., & Ortega, P. (2019). Limitaciones del levantamiento topográfico tradicional en zonas de selva tropical ecuatoriana. *Revista Ecuatoriana de Ingeniería Civil*, 6(1), 15–24.
- Del Río, O., Gómez, F., López, N., Sáenz, J., & Espinoza, A. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de drones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(2), 45–58. <https://doi.org/10.1234/rai.v14i2.567>



- Fernández, J., Morales, R., & Pinto, S. (2023). Implementación de fotogrametría con drones en proyectos viales de montaña. *Revista de Ingeniería Aplicada*, 19(1), 54–66. <https://doi.org/10.3456/ria.v19i1.204>
- Gómez, E., & Serrano, V. (2019). *Principios y aplicaciones de la fotogrametría digital terrestre y aérea*. Ediciones UPM.
- Hernández-Ruiz, M., & Vega-González, R. (2022). Aplicaciones del mapeo con drones en proyectos de infraestructura sostenible en la Amazonía. *Revista de Tecnología y Medio Ambiente*, 9(1), 22–37.
- Mora-Castro, D., López, E., & Suárez, G. (2021). Evaluación de metodologías topográficas en ambientes de alta humedad y vegetación densa. *Revista Colombiana de Geomática*, 15(2), 45–58. <https://doi.org/10.33412/rcg.v15i2.2104>
- Muñoz, P., & Carrillo, D. (2020). Modelos digitales de terreno generados con fotogrametría UAV para diseño de infraestructura civil. *Revista Latinoamericana de Geomática*, 8(2), 101–114. <https://doi.org/10.33412/rlg.v8i2.238>
- Pérez-Soto, J., Martínez-Arce, J., & Silva-Campos, D. (2020). *Uso de drones fotogramétricos para la generación de modelos digitales del terreno en regiones selváticas*. *Ingeniería y Territorio*, 18(2), 71–84. <https://doi.org/10.31207/iyt.v18i2.155>
- Rincón Villalba, M. A. (2017). *Topografía: Conceptos y aplicaciones*. Ecoe Ediciones.
- Ruiz-Barreto, C., & Paredes, L. (2022). *Evaluación de precisión en levantamientos topográficos mediante drones fotogramétricos*. *Boletín Técnico de Ingeniería Civil*, 10(3), 33–47.
- Sandoval, Á. M. (2025). *Ventajas y desventajas del uso de drones en la topografía de la construcción [Informe técnico no publicado]*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Santo Domingo.



- Solórzano-Bákit, M. C., Jiménez-Jiménez, J., Porras-Bolaños, E., & Méndez-Flores, M. (2020). *Drones y tecnología como elementos claves en la gestión de procesos constructivos: una revisión de literatura*. Technology Inside, 6(6), 1–15.
- Torres, A., Linares, C., & Benítez, M. (2021). *Procesamiento fotogramétrico y generación de modelos 3D aplicados a obras lineales*. Ingeniería y Desarrollo Sustentable, 13(4), 72–86. <https://doi.org/10.15765/ids.134.2021>
- Vargas, P., & Zamora, L. (2021). *Comparativa entre métodos fotogramétricos y LiDAR para levantamientos topográficos en selva húmeda*. Boletín de Ingeniería y Geomática, 7(4), 88–99







# Evaluación del impacto de pendientes longitudinales en el diseño geométrico de caminos rurales: caso La Lojanita – Lago Agrio

Bermeo Aguirre, César Adrián<sup>1</sup> & Tinoco Cuenca, Josselyn Estefanía<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, cbermeo18@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jetinoco3@utpl.edu.ec

## Introducción

El diseño geométrico de caminos rurales, y en particular el control adecuado de las pendientes longitudinales, constituye un componente esencial para garantizar la seguridad vial, la eficiencia del transporte y la sostenibilidad de la infraestructura, especialmente en zonas de topografía compleja (Ortiz, 2020). En regiones montañosas como la provincia de Sucumbíos, la presencia de pendientes inadecuadas representa una problemática crítica que compromete la operatividad vehicular y aumenta considerablemente el riesgo de siniestros viales y el deterioro prematuro del pavimento. El camino rural La Lojanita, ubicado en el cantón Lago Agrio, ejemplifica esta situación, reflejando las limitaciones geométricas comunes en muchas vías rurales del país, donde la falta de aplicación rigurosa de los parámetros técnicos establecidos afecta directamente la funcionalidad y seguridad del sistema vial.

De acuerdo con la Normativa Ecuatoriana de Diseño Geométrico de Carreteras (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2018), las pendientes longitudinales en caminos de montaña de bajo volumen no deben exceder el 8%, salvo casos debidamente justificados por razones topográficas. Además, esta normativa establece criterios mínimos de visibilidad, distancia de frenado y drenaje que deben considerarse desde la etapa de diseño para garantizar condiciones de operación seguras y confortables. Sin embargo, en el tramo La Lojanita se han identificado segmentos que superan dicho límite, lo cual podría afectar la movilidad vehicular, especialmente durante eventos climáticos adversos, como lluvias intensas que reducen la adherencia y aumentan los tiempos de frenado.



Diversos estudios han demostrado que las pendientes pronunciadas sin un diseño complementario adecuado (como curvas de compensación, sistemas de drenaje eficientes o señalización preventiva) incrementan significativamente la probabilidad de pérdida de control vehicular, deslizamientos de tierra y accidentes por exceso de velocidad en descenso (Sánchez *et al.*, 2017; Gómez & López, 2020; Rodríguez, 2019). Asimismo, la acumulación de agua superficial en tramos con deficiencias de drenaje puede provocar hidroplaneo y erosión, afectando la durabilidad estructural del pavimento y elevando los costos de mantenimiento (Larsen & Simón, 2015; Martínez & Herrera, 2021).

En este contexto, analizar el impacto de pendientes verticales inadecuadas en el diseño geométrico del camino La Lojanita - Lago Agrio resulta fundamental para proponer soluciones técnicas que optimicen la trazabilidad, reduzcan riesgos operativos y mejoren la conectividad rural bajo criterios de seguridad y sostenibilidad.

## **Materiales y métodos**

La metodología empleada en este estudio se basó en el análisis geométrico del tramo vial La Lojanita – Lago Agrio, ubicado en el cantón Lago Agrio, mediante un enfoque técnico alineado con la normativa vigente. En una primera etapa, se realizó la recopilación y procesamiento de la información topográfica del corredor vial, incluyendo el perfil longitudinal original, con el propósito de establecer la base de evaluación.

El levantamiento topográfico se efectuó mediante el uso de un dron DJI Phantom 4 Pro, equipado con cámara métrica de 20 MP, volando a una altitud promedio de 80 m, con un solape longitudinal y transversal del 75 % y 65 %, respectivamente. Los datos obtenidos fueron procesados con el *software* Agisoft Metashape para la generación del modelo digital del terreno (MDT). Posteriormente, este modelo fue importado a AutoCAD Civil 3D, donde se elaboró el alineamiento y perfil longitudinal original del camino.



A continuación, se efectuó un análisis detallado de las pendientes longitudinales, identificando aquellas secciones que superan el 8% de inclinación, el valor umbral establecido por la Normativa de Diseño Geométrico del MTOP (2018). Con base en esta evaluación, se llevó a cabo una comparación técnica con los parámetros normativos, evidenciando los tramos que presentaban deficiencias geométricas y potenciales riesgos para la seguridad y operatividad vial.

Para garantizar la validez de los datos, se realizó una verificación cruzada entre el modelo digital generado y puntos de control obtenidos en campo mediante un receptor GNSS diferencial Trimble R10. La precisión planimétrica y altimétrica del MDT fue validada mediante la comparación de coordenadas, obteniendo errores medios inferiores a 5 cm.

En función de los resultados obtenidos, se procedió al rediseño del perfil longitudinal, aplicando criterios de ingeniería como la extensión de rampas, el ajuste de rasantes, la incorporación de curvas en zigzag y la implementación de pendientes compensadas, con el fin de optimizar la trazabilidad y asegurar la conformidad técnica con la normativa. El nuevo diseño se modeló en AutoCAD Civil 3D, empleando herramientas de generación automática de rasante y cálculo de pendientes, mientras que las secciones críticas fueron revisadas manualmente para verificar la continuidad y el cumplimiento de visibilidad. Finalmente, ambos modelos (original y modificado) fueron exportados a formato PDF y DWG para su comparación gráfica.

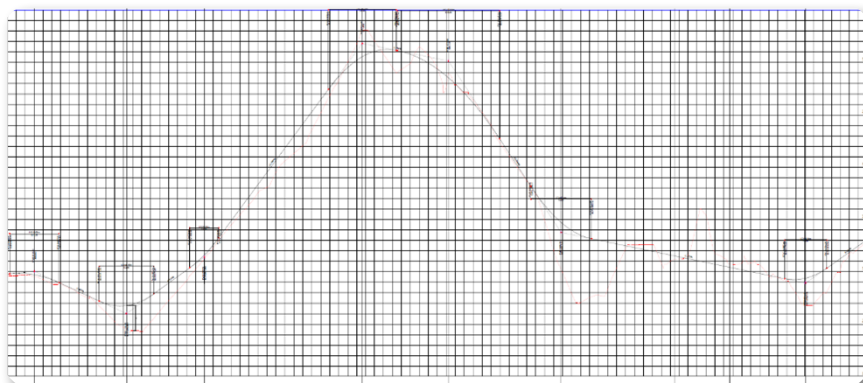
Esta metodología permitió identificar y corregir deficiencias técnicas conforme a los estándares nacionales, proporcionando una base replicable para futuras intervenciones en caminos rurales de topografía compleja y contribuyendo al diseño de infraestructuras más seguras y sostenibles.



## Resultados

El análisis del tramo vial La Lojanita permitió identificar dos escenarios diferenciados: el diseño original y el diseño modificado, cuyos resultados evidencian variaciones notables en términos de cumplimiento normativo, operatividad y seguridad vial. En el diseño original, se registraron tramos con pendientes entre el 9% y el 13%, especialmente en sectores de topografía irregular (Figura 1). Estas zonas mostraban signos de erosión superficial, pérdida de estabilidad del terreno y dificultades de acceso vehicular, particularmente durante la temporada lluviosa, lo que incrementa el riesgo de siniestros viales y acelera el deterioro del pavimento (ver Figura 1).

**Figura 1.** Perfil de la vía diseñada inicialmente



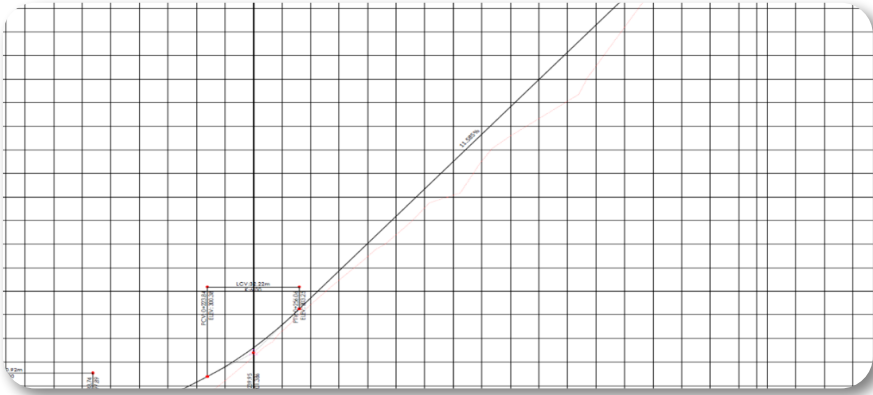
*Nota.* Elaboración propia.

En el diseño modificado, se analizaron diferentes alternativas de ajuste de rasante (ver Figuras 2 y 3), logrando finalmente una reducción de la pendiente máxima al 9%, como se muestra en la Figura 4. Esta modificación se realizó considerando criterios de costo y viabilidad constructiva, ubicándose dentro del rango aceptable según el MTOP (2018), aunque ligeramente por encima del valor óptimo



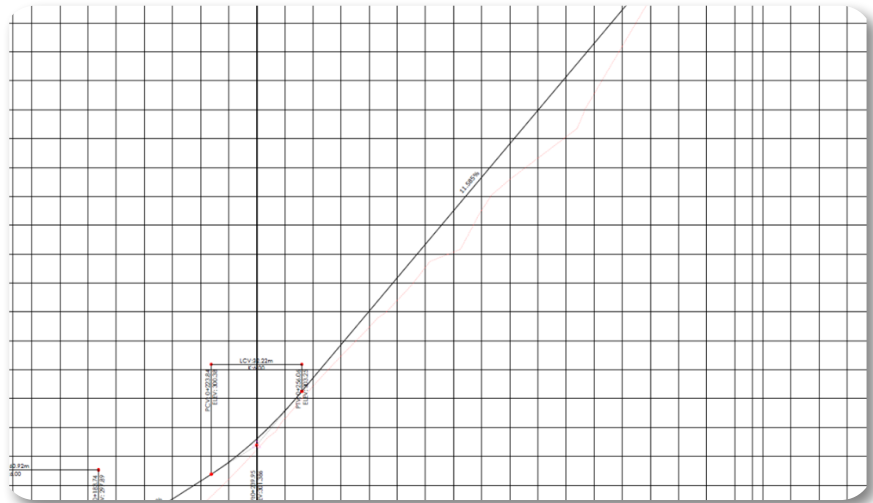
del 8%. El perfil longitudinal fue suavizado mediante el aumento de las longitudes de rampa y la reubicación de los puntos de cambio de pendiente, lo que permitió mejorar la continuidad y confort en la circulación.

**Figura 2.** *Ubicación de pendientes al 11,59 %*



*Nota.* Elaboración propia.

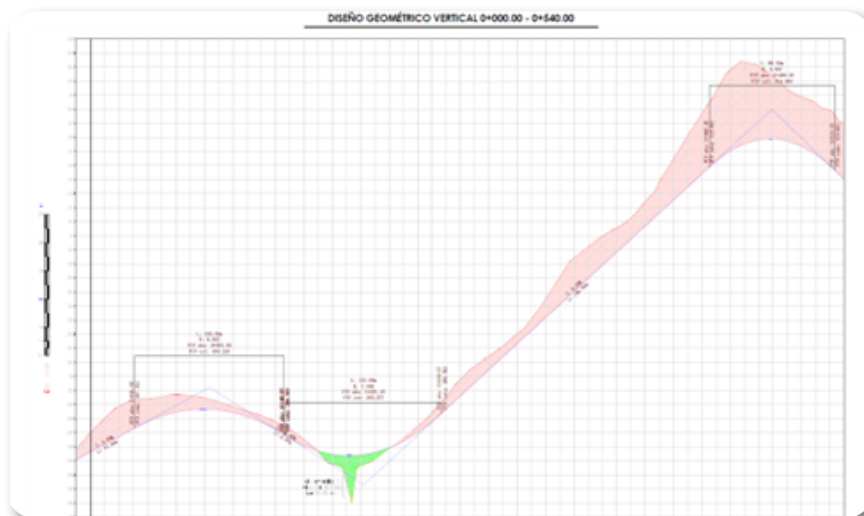
**Figura 3.** *Ubicación de pendientes al 13,04 %*



*Nota.* Elaboración propia.



**Figura 4.** *Perfil de vía modificado*



*Nota.* Elaboración propia.

Los resultados evidencian que pendientes superiores al 8-10% impactan negativamente la seguridad, estabilidad y durabilidad del camino rural La Lojanita, generando incumplimiento de la normativa del MTOP y un mayor riesgo operativo. En contraste, la propuesta modificada mejora sustancialmente el desempeño geométrico del tramo, ajustándose de forma más adecuada a los criterios técnicos vigentes y favoreciendo la seguridad y accesibilidad vehicular.

La Tabla 1 resume los principales aspectos comparativos entre ambos diseños, destacando las mejoras alcanzadas y la importancia de aplicar principios de diseño geométrico desde la etapa inicial del proyecto, priorizando la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia operativa.

**Tabla 1.** Comparación entre el diseño original y el diseño modificado del tramo La Lojanita

Aspecto	Diseño Original (Pendientes > 13%)	Diseño Modificado (Pendientes hasta 9%)
<b>Pendiente Vertical</b>	Superior al 13%	9% (más ajustado al estándar recomendado, pero no al 8% del MTOP)
<b>Cumplimiento con la normativa</b>	No cumple con la normativa del MTOP (pendientes excesivas)	Cumple parcialmente, ya que la normativa establece un máximo de 8%
<b>Impacto en la seguridad vial</b>	Alta probabilidad de aumentar el riesgo de siniestros debido a la pendiente excesiva	Mejora la seguridad vial al reducir la pendiente, pero no cumple el estándar óptimo (8%)
<b>Accesibilidad en la zona rural</b>	Mayor dificultad de acceso para vehículos, especialmente en condiciones climáticas adversas	Mejora el acceso para vehículos, especialmente en condiciones de lluvia o tráfico pesado
<b>Costos de construcción</b>	Posiblemente mayor costo debido a la necesidad de realizar trabajos adicionales para manejar las pendientes altas	Menor costo en comparación con el diseño original, pero aún más caro que la opción de cumplir estrictamente con el 8%
<b>Movimientos de tierra</b>	Requiere mayores movimientos de tierra debido a las pendientes pronunciadas	Movimientos de tierra más controlados, pero todavía importantes debido a la pendiente del 9%
<b>Impacto ambiental</b>	Posible mayor impacto ambiental por la alteración más drástica del terreno	Menor impacto ambiental en comparación con el diseño original
<b>Viabilidad a largo plazo</b>	Riesgo de deterioro más rápido de la infraestructura debido a las pendientes altas y condiciones adversas	Mejor rendimiento a largo plazo, pero podría requerir mantenimiento adicional si no se cumplen las pendientes ideales
<b>Impacto social y económico</b>	Puede dificultar el acceso y limitar el desarrollo económico de la zona debido a la dificultad de tránsito	Mejora la conectividad y facilita el acceso, impulsando el desarrollo social y económico de la zona

*Nota.* Elaboración propia.



## Contribución de autores (CRedit)

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.

## Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2018). *A policy on geometric design of highways and streets (7th ed.)*. AASHTO.
- Gómez, R., & López, D. (2020). Evaluación de la seguridad en carreteras rurales con pendientes pronunciadas. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 12(2), 45–56.
- Larsen, P., & Simón, J. (2015). Efectos del drenaje inadecuado en la durabilidad del pavimento. *Revista de Infraestructura y Transporte*, 9(3), 87–95.
- Martínez, R., & Herrera, L. (2021). Evaluación de pendientes longitudinales en carreteras rurales de montaña. *Revista de Ingeniería Civil y Transporte*, 18(1), 33–42.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2018). *Normativa de diseño geométrico de carreteras del Ecuador*. MTOP.
- Ortiz, P. (2020). *Diseño geométrico de caminos rurales*. Universidad Central del Ecuador.
- Rodríguez, J. (2019). *Factores críticos en la construcción de caminos rurales*. *Ingeniería y Territorio*, 14(2), 22–30.
- Sánchez, L., Pérez, A., & Mora, G. (2017). Influencia de la pendiente longitudinal en la seguridad vial de caminos rurales. *Revista Ingeniería y Territorio*, 11(1), 55–64.









# **Evaluación de pendientes y caracterización de condiciones viales con alternativas de mejora mediante levantamiento topográfico con drones: caso de estudio: vía Asunción, Cantón Girón – Azuay**

Sánchez-Guamán, Geovanna<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, [gpsanchez7@utpl.edu.ec](mailto:gpsanchez7@utpl.edu.ec)

## **Introducción**

En zonas rurales montañosas del Ecuador, como Lentag, ubicada en el cantón Girón (provincia del Azuay), las vías de bajo tráfico desempeñan un papel esencial para la conectividad agrícola, turística y comunitaria, siendo el principal medio de acceso a haciendas, comunidades y destinos naturales de interés. Sin embargo, la presencia de pendientes pronunciadas, drenaje deficiente y geometrías inadecuadas comprometen la transitabilidad y seguridad de los usuarios, especialmente durante la temporada de lluvias, cuando se incrementan los procesos erosivos y la pérdida de capacidad estructural del camino. Estas condiciones dificultan la movilidad, elevan los costos de transporte y limitan el desarrollo económico local (Rodríguez, 2019).

En este contexto, el levantamiento topográfico de precisión se convierte en una herramienta fundamental para evaluar las condiciones geométricas y proponer alternativas de mejora vial basadas en información confiable. Tradicionalmente, los métodos convencionales de topografía terrestre presentan limitaciones en zonas de difícil acceso o con fuertes pendientes; por ello, el uso de drones con tecnología RTK (Real-Time Kinematic) ha adquirido relevancia en los últimos años por su capacidad de generar modelos digitales de elevación (MDE) y ortomosaicos de alta resolución, permitiendo una representación fiel del terreno en menor tiempo y con mayor eficiencia (Colomina & Molina, 2014; Agisoft LLC, 2020; Eisenbeiss, 2009).



Según Ruiz y Herrera (2022), la aplicación de fotogrametría con drones facilita el análisis detallado de la morfología del terreno, posibilitando la detección de tramos críticos, deslizamientos potenciales y zonas con pendientes excesivas que puedan afectar la operación vehicular o incrementar los riesgos viales. Además, estos modelos tridimensionales sirven como base para el diseño y rediseño geométrico de caminos, la planificación de drenaje y la evaluación ambiental de futuras intervenciones (Jiménez et al., 2021).

De acuerdo con la Normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2018), el diseño de vías rurales debe adaptarse al relieve natural del terreno, garantizando la seguridad y comodidad de los usuarios mediante la aplicación de gradientes adecuados, radios mínimos de curvatura, distancias de visibilidad y pendientes máximas definidas según la clasificación del camino. Por su parte, el Ministerio de Obras Públicas del Perú (MOP, 2003) establece como referencia técnica que, para caminos rurales con tráfico bajo (TPDA < 100) en zonas montañosas, el gradiente máximo permisible puede alcanzar el 17% en tramos cortos, siempre que se adopten medidas de compensación y control.

Con base en estos lineamientos, el presente estudio tiene como objetivo evaluar las pendientes y caracterizar las condiciones viales de la vía de acceso a la Hacienda Bellavista, en la parroquia Asunción (cantón Girón-Azuay), mediante un levantamiento topográfico con dron DJI Phantom 4 RTK. A partir de los productos fotogramétricos generados (ortomosaico, nube de puntos y MDE), se analizaron las pendientes longitudinales y se identificaron zonas críticas, proponiendo alternativas geométricas de mejora orientadas a optimizar la seguridad y accesibilidad en la vía.

De esta manera, el estudio busca demostrar la efectividad del uso de drones como herramienta de diagnóstico y planificación vial rural, fortaleciendo la gestión técnica de infraestructuras en territorios con alta complejidad topográfica y contribuyendo a la conectividad sostenible de comunidades rurales del sur del Ecuador.



## Materiales y métodos

El levantamiento se realizó en una zona de aproximadamente 50 hectáreas con relieve irregular, atravesada por vías de lastre, representativa de caminos rurales de baja jerarquía en la parroquia Asunción. Esta área fue seleccionada por su relevancia en la conectividad local y por las condiciones topográficas que dificultan la movilidad durante la época lluviosa.

Para la adquisición de información, se utilizó un dron DJI Phantom 4 RTK, equipado con un sistema de posicionamiento en tiempo real (RTK) y una cámara integrada de 20 megapíxeles, adecuada para capturas fotogramétricas de alta resolución. El equipo fue compatible con estaciones base GNSS, lo que permitió aumentar la precisión en caso de ser necesario.

La planificación del vuelo se ejecutó en el *software* DJI GS RTK, estableciendo una altitud de vuelo de 80 m sobre el terreno, con un traslape frontal del 80 % y lateral del 70 %, asegurando una reconstrucción tridimensional precisa del relieve. Previo a la ejecución del vuelo, se realizó una visita de campo para identificar, levantar y señalizar los puntos de control terrestre (GCPs), esenciales para garantizar la exactitud posicional del modelo generado.

El procesamiento de las imágenes se efectuó en Agisoft Metashape, siguiendo las etapas de alineación de fotografías, incorporación de GCPs, generación de nube de puntos, ortomosaico y modelo digital de elevación (MDE) (Vega & Cárdenas, 2020). Para mejorar la eficiencia de la planificación, se importaron archivos KML con los polígonos del área de estudio, lo que facilitó la delimitación del terreno y la definición de los polígonos de vuelo.

El análisis del MDE se realizó en el *software* QGIS, donde se elaboró un mapa de pendientes clasificado según los rangos del INEGI (2018): 0–10 %, 10–20 %, 20–30 % y >30 %. Posteriormente, los resultados



fueron comparados con los parámetros del MTOP (2018), lo que permitió identificar tramos críticos y definir alternativas de mejora geométrica mediante el uso de líneas de cero como base para trazados preliminares.

## Resultados

El tramo evaluado, con una longitud de 1,810.25 metros (ver Tabla 1), conecta el ingreso principal con las instalaciones de la Hacienda Bellavista. Esta vía, clasificada como de baja demanda vehicular (TPDA < 100 vehículos/día), fue analizada geométricamente a partir del estudio de pendientes longitudinales. Se determinó que corresponde a un camino rural con revestimiento mínimo de lastre, característico de los accesos a propiedades agrícolas y turísticas en zonas rurales montañosas.

Previo a la ejecución del vuelo fotogramétrico con el dron DJI Phantom 4 RTK, se efectuó el reconocimiento de los linderos de la propiedad con el objetivo de delimitar el área de estudio y planificar la ubicación estratégica de los puntos de control terrestre (GCPs). Estos puntos fueron esenciales para garantizar la precisión geométrica del modelo generado y la correcta georreferenciación de los productos fotogramétricos.

Los GCPs fueron georreferenciados mediante levantamiento con estación total, lo que aseguró la exactitud posicional requerida en la etapa de procesamiento. La distribución y coordenadas de estos puntos se detallan en la Tabla 1, constituyendo la base de control para la generación de los modelos digitales y productos cartográficos derivados.

**Tabla 1.** *Coordenadas de puntos de control*

Código	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)
1	695136.997	9644903.756	2043.222
2	695302.300	9644828.300	2030.727
3	695476.730	9644810.701	2017.431
4	695419.111	9644677.744	1995.803
5	695856.048	9644573.142	1954.321
6	695835.586	9644176.841	1897.239
7	695943.969	9644183.592	1889.514

*Nota.* Elaboración propia.

Una vez reconocida en campo la zona de evaluación, se definió el área de levantamiento mediante un polígono de plan de vuelo. No obstante, debido a las condiciones montañosas del terreno y con el propósito de asegurar la calidad de los datos capturados, fue necesario establecer dos polígonos de vuelo independientes, diferenciados según el relieve del área, tal como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1.** *Plan de vuelo 1 y 2, Hacienda Bellavista*

*Nota.* Elaboración propia. (Izq: parte superior; Der: parte inferior).

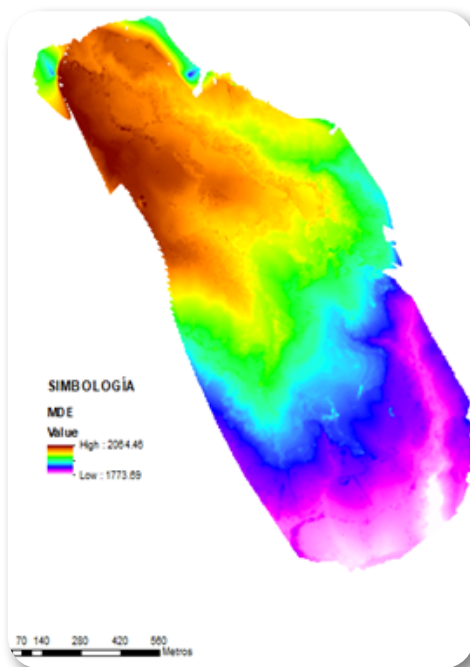


Durante el procesamiento en Agisoft Metashape, se cargaron las ortofotos y se incorporaron los siete puntos de control georreferenciados obtenidos en campo. Dada la irregularidad del terreno y la presencia de vegetación densa, se efectuó una clasificación de puntos para eliminar elementos no deseados, garantizando que el modelo generado representara el terreno real (MDE) y no la superficie con vegetación o estructuras (MDS). Esta depuración fue esencial para mantener la precisión métrica del análisis topográfico.

El Modelo Digital de Elevación (MDE) resultante se presenta en la Figura 2, donde se aprecia la topografía accidentada del sector, con áreas planas, onduladas y de fuerte pendiente, reflejando la complejidad geomorfológica de la zona de estudio. Estas condiciones, combinadas con la inestabilidad de taludes y la susceptibilidad a movimientos en masa, representan factores de riesgo importantes en la planificación vial (INIGEMM, 2020).

A partir del MDE, y mediante el uso del *software* QGIS, se elaboró el mapa de pendientes, mostrado en la Figura 3, el cual permitió caracterizar la distribución de gradientes en el tramo analizado.

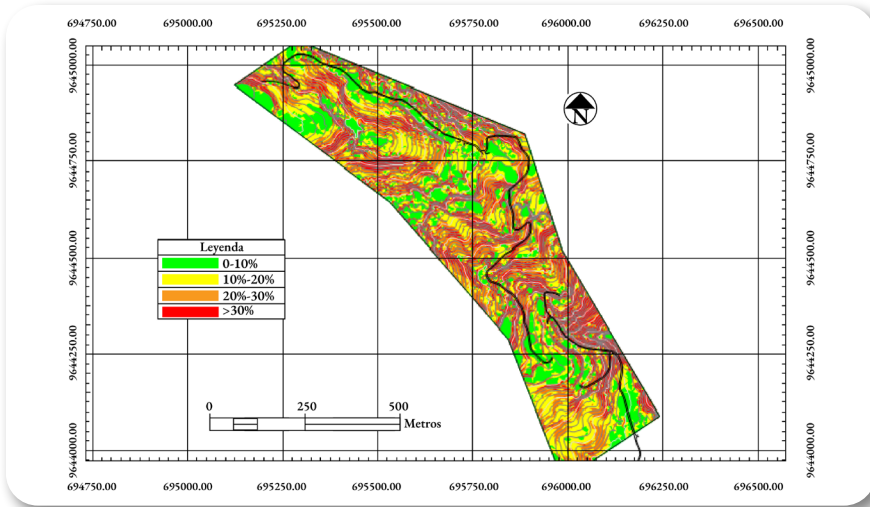
**Figura 2.** Modelo digital de elevación, Hacienda Bellavista



*Nota.* Elaboración propia.



Figura 3. Mapa de pendientes, Hacienda Bellavista



Nota. Elaboración propia.

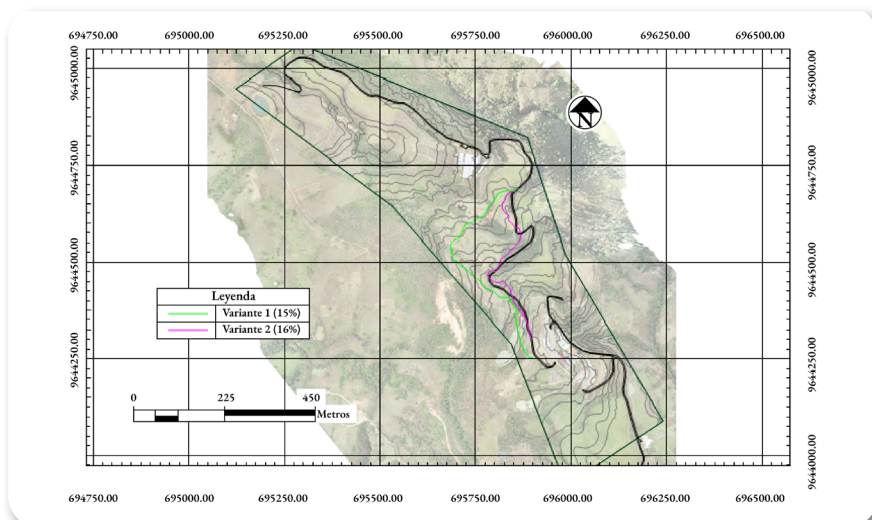
Los resultados indican que 27.5% del tramo presenta pendientes menores al 10%, 28.7% entre 10–20%, 17.5% entre 20–30% y 26.3% con pendientes superiores al 30%, estas últimas consideradas críticas para la seguridad vial y la estabilidad del terreno.

De acuerdo con los criterios establecidos por el MOP (2003), para vías rurales con tráfico bajo (TPDA < 100 vehículos/día) en topografía montañosa, la velocidad de diseño recomendada es de 20 km/h, con un radio mínimo de 15 m, peralte del 8% y pendiente longitudinal máxima del 14%, pudiendo llegar hasta el 17% en tramos menores a 750 m. El gradiente mínimo sugerido es de 0.5%. Estos parámetros constituyen la base para evaluar la viabilidad de rediseños o intervenciones geométricas.

El modelo digital del terreno permite además proponer alineamientos alternativos con pendientes máximas de 14–16%, valores que se mantienen dentro de los límites establecidos por el MOP (2003) para caminos rurales en zonas montañosas. Estas alternativas se definieron mediante el análisis de líneas de cero, optimizando la trazabilidad de la vía, como se observa en la Figura 4.



**Figura 4.** Evaluación de dos alternativas en zonas críticas mediante el uso de líneas de cero



*Nota.* Elaboración propia.

En conjunto, la integración de drones y técnicas fotogramétricas demostró ser una herramienta eficaz para evaluar con precisión la topografía vial, identificar zonas críticas y apoyar el diseño de soluciones técnicas sostenibles. El estudio en Lentag confirma la aplicabilidad de esta metodología para fortalecer la conectividad rural y turística, conforme a los criterios normativos de seguridad vial vigentes.

### Contribución de autores (CRedit)

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.



## Referencias

- Agisoft LLC. (2020). *Agisoft Metashape user manual: Professional edition, version 1.6*. [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_6\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_6_en.pdf)
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV photogrammetry (Doctoral dissertation, ETH Zurich)*. <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/71289>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). *Modelo digital de elevación: Clasificación de pendientes*. INEGI, México.
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador (INIGEMM). (2020). *Metodología para la evaluación de amenazas por movimientos en masa*. <https://www.inigemmm.gob.ec>
- Jiménez, A., Torres, M., & Paredes, F. (2021). Aplicación de drones en levantamientos topográficos para proyectos de infraestructura rural. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 17(2), 67–79.
- Ministerio de Obras Públicas del Perú (MOP). (2003). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE). (2018). *Normas de diseño geométrico de carreteras (Revisión 2018)*. <https://www.obraspublicas.gob.ec>
- Rodríguez, J. (2019). Factores críticos en la construcción de caminos rurales. *Ingeniería y Territorio*, 14(2), 22–30.



- Ruiz, C., & Herrera, D. (2022). Uso de drones en la evaluación de caminos rurales: Aplicaciones en topografía y geomática. *Revista Ingeniería y Territorio*, 18(1), 41–53.
- Vega, M., & Cárdenas, F. (2020). Metodologías para el análisis de pendientes en caminos rurales mediante modelos digitales de elevación. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 16(2), 85–94.







# Optimización del alineamiento vertical de la Av. Jorge Perrone mediante MDT y normativa vial en Guayaquil

Avecillas-Arellano, Alfonso<sup>1</sup>; Cevallos-Wong, Walther<sup>2</sup> & Campoverde-Guerrero, Pablo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, [acavecillas@utpl.edu.ec](mailto:acavecillas@utpl.edu.ec)

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, [wcevallos3@utpl.edu.ec](mailto:wcevallos3@utpl.edu.ec)

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, [pacampoverde@utpl.edu.ec](mailto:pacampoverde@utpl.edu.ec)

## Introducción

En la ciudad de Guayaquil, la vía Jorge Perrone, ubicada en la ciudadela Bellavista, presenta una alta incidencia de siniestros de tránsito, situación que ha generado preocupación entre los habitantes y las autoridades locales. Esta problemática se atribuye, en gran medida, a la pronunciada pendiente del trazado vial, la cual se ve agravada por factores como las precipitaciones intensas, la falta de drenaje superficial adecuado y el deterioro progresivo del pavimento.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2024), durante el primer trimestre de 2024, Guayaquil registró la mayor cantidad de siniestros de tránsito a nivel nacional, alcanzando 1,078 personas lesionadas y 44 fallecidos, superando a las ciudades de Quito y Cuenca, que ocuparon el segundo y tercer lugar, respectivamente. Este panorama evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de gestión vial y mejorar el diseño geométrico de las vías urbanas.

Entre las principales causas de los siniestros viales, se destacan la imprudencia de los conductores, el exceso de velocidad, el desrespeto a las señales de tránsito, la conducción bajo los efectos del alcohol, la imprudencia de los peatones, las condiciones climáticas adversas y el mal estado de las vías (ECUAVISA, 2024; Agencia Nacional de Tránsito [ANT], 2023). Este último factor no solo se relaciona con el desgaste del pavimento, sino también con un diseño vial deficiente que no cumple con los estándares mínimos de seguridad y confort definidos por la normativa nacional (MTOP, 2018; AASHTO, 2018).



En el ámbito del diseño vial, la fase preliminar del trazado geométrico se fundamenta en estudios topográficos detallados que permiten conocer la morfología del terreno. Gracias a los avances tecnológicos recientes, el uso de herramientas digitales ha optimizado la adquisición de datos, reduciendo los tiempos de procesamiento, mejorando la precisión altimétrica y aumentando la seguridad del personal técnico durante el trabajo de campo (Ruiz & Herrera, 2022; Vega & Cárdenas, 2020).

Una de las técnicas más utilizadas para obtener información del terreno es la teledetección, la cual, mediante sensores remotos instalados en satélites o aeronaves, permite la recolección de datos topográficos en zonas urbanas y rurales de difícil acceso. Esta tecnología se emplea ampliamente para generar modelos digitales de elevación (MDE), analizar cambios morfológicos del terreno y apoyar la planificación territorial y el diseño de infraestructura. Gracias a su alta resolución y cobertura espacial, se ha consolidado como una herramienta esencial en los estudios topográficos modernos (Chuvieco, 1990; González & Ramírez, 2021).

De igual forma, la fotogrametría con drones se ha convertido en una técnica complementaria de gran valor en la ingeniería civil y el urbanismo, al combinar imágenes aéreas de alta resolución con sistemas de posicionamiento GNSS de precisión centimétrica. Este método permite generar ortomosaicos, nubes de puntos y modelos tridimensionales del terreno que facilitan el análisis geométrico y la detección de deficiencias viales (Soza & Falaschi, 2020; Jiménez et al., 2021).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar las condiciones geométricas y operativas de la vía Jorge Perrone, a través del análisis fotogramétrico y topográfico de la información existente, con el fin de proponer alternativas de rediseño que mejoren la seguridad, funcionalidad y sostenibilidad de la vía en el sector de Bellavista, ciudad de Guayaquil.



## Materiales y métodos

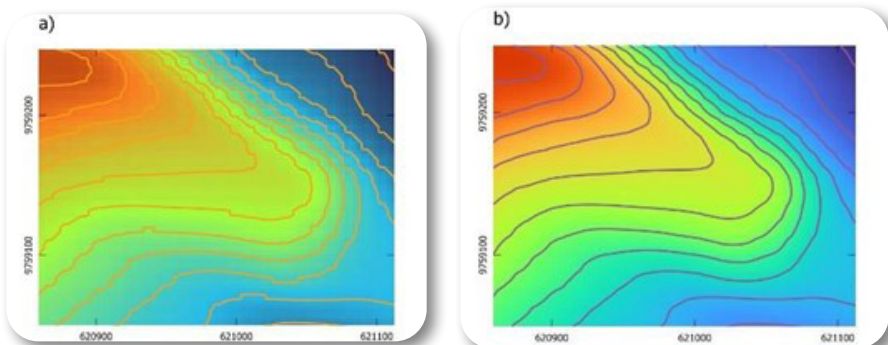
La investigación se estructuró en cuatro fases: recopilación de datos, depuración del modelo digital del terreno, evaluación de gradientes (se consideraron pendientes máximas del 7% y longitudes mínimas de rampa de 50 m) y rediseño vertical de la vía. El área de estudio correspondió a la avenida Jorge Perrone, ubicada en la ciudadela Bellavista, en el cantón Guayaquil.

En la fase inicial, se recopiló el Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir del servidor administrado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP, 2017). Aunque esta base de datos presenta una resolución adecuada para estudios de planificación, se reconoce que su fecha de elaboración puede implicar cierta obsolescencia temporal, dado que en zonas urbanas las condiciones topográficas y de infraestructura cambian con relativa rapidez. No obstante, se verificó que en el área de estudio no se han ejecutado obras viales o movimientos de tierra significativos desde 2017, por lo que se consideró válida su utilización como modelo base.

Para el procesamiento de esta información, se delimitó el polígono correspondiente al área de estudio utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente el *software* QGIS. Una vez delimitada el área, se procedió a la depuración de la imagen ráster, ya que las curvas de nivel extraídas presentaban una geometría irregular y carecían de suavidad (ver Figura 1).

**Figura 1.** a) MDT sin correcciones;

b) MDT con correcciones



*Nota.* Elaboración propia.



Para corregir dicha deficiencia, se aplicó el algoritmo *r.neighbors* (ver GRASS Development Team, 2024), disponible en la caja de herramientas del sistema GRASS GIS. Este comando permite realizar un filtrado espacial mediante vecindades móviles, reemplazando el valor de cada celda por una función estadística de las celdas vecinas. En este caso, se utilizó una vecindad cuadrada de 5×5 píxeles, con el método “average” (media aritmética), lo que permitió suavizar gradualmente las discontinuidades del terreno sin perder los rasgos topográficos principales. La resolución espacial del MDT procesado fue de 10 m, manteniendo la coherencia con el modelo original. El resultado se observa en la Figura 1b, donde se aprecia un relieve más continuo y un patrón de curvas de nivel suavizado.

Con el fin de verificar la precisión geométrica del MDT corregido, se realizó una comparación con curvas de nivel obtenidas de la cartografía del Instituto Geográfico Militar y con una imagen satelital de alta resolución. Las diferencias altimétricas fueron menores a  $\pm 0.5$  m en los puntos verificados, valor considerado aceptable para estudios de rediseño geométrico vial.

El MDT fue procesado utilizando Autodesk Civil 3D para trazar el eje vial y generar el perfil longitudinal, tomando como referencia los parámetros geométricos establecidos por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOP, 2002) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2018) para el rediseño.

## Resultados

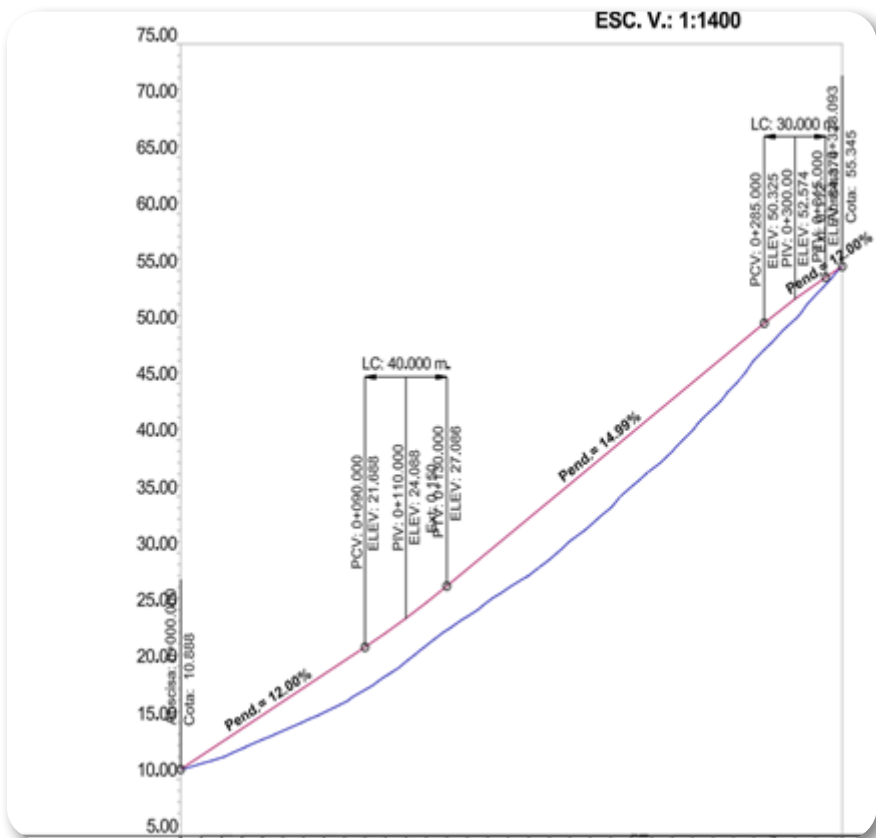
El análisis topográfico realizado permitió identificar la existencia de gradientes con pendientes comprendidas entre el 5 % y el 19 % a lo largo del tramo evaluado. Estos valores superan, en determinados sectores, los límites máximos recomendados por la normativa vigente, lo que evidencia la necesidad de un rediseño geométrico



del alineamiento vertical. Este ajuste resulta esencial para garantizar condiciones adecuadas de seguridad, confort y funcionalidad vehicular, en cumplimiento con los parámetros técnicos establecidos por el MOP (2002) y la AASHTO (2018).

Como parte de la propuesta técnica, se planteó la adopción de gradientes más moderadas, comprendidas en el rango de 12 % a 14 %, valores que se consideran compatibles con la topografía existente y acordes con los criterios de diseño para vías en zonas montañosas. La Figura 2 presenta el perfil longitudinal rediseñado, donde se destacan los sectores intervenidos y la comparación entre las pendientes originales y las proyectadas.

Figura 2. Perfil longitudinal rediseñado



Nota. Elaboración propia.



En conclusión, los resultados obtenidos sustentan técnicamente la necesidad de intervenir el trazado vertical del tramo en estudio. La implementación de gradientes dentro del rango propuesto contribuirá significativamente a mejorar la seguridad vial, disminuir el esfuerzo operativo de los vehículos y prolongar la vida útil de la infraestructura, asegurando una operación más eficiente y segura de la vía Jorge Perrone.

### Contribución de autores (CRedit)

Avecillas-Arellano, Alfonso y Cevallos-Wong, Walther participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Campoverde-Guerrero, Pablo contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

### Referencias

- AASHTO. (2018). *A policy on geometric design of highways and streets (7th ed.)*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Agencia Nacional de Tránsito (ANT). (2023). *Informe anual de siniestralidad vial en el Ecuador 2023*. Agencia Nacional de Tránsito.
- Agisoft LLC. (2020). *Agisoft Metashape user manual: Professional edition, version 1.6*. [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_6\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_6_en.pdf)
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp.
- ECUAVISA. (2024, abril 10). Guayaquil lidera las cifras de siniestros de tránsito en el primer trimestre de 2024. *ECUAVISA Noticias*. <https://www.ecuavisa.com>



- González, L., & Ramírez, C. (2021). Aplicación de la teledetección en estudios urbanos y evaluación del riesgo geotécnico. *Revista de Ingeniería y Territorio*, 17(2), 58–70.
- GRASS Development Team. (2024). *GRASS GIS 8.3. Reference Manual*. <https://grass.osgeo.org>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2024). *Estadísticas de siniestralidad vial en el Ecuador. Primer trimestre 2024*. INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Jiménez, A., Torres, M., & Paredes, F. (2021). Aplicación de drones en levantamientos topográficos para proyectos de infraestructura rural. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 17(2), 67–79.
- MAGAP. (2017). *Modelo Digital del Terreno (MDT) de cobertura nacional*. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2002). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). (2018). *Normativa de diseño geométrico de carreteras del Ecuador*. MTO. <https://www.obraspublicas.gob.ec>
- Ruiz, C., & Herrera, D. (2022). Uso de drones en la evaluación de caminos rurales: Aplicaciones en topografía y geomática. *Revista Ingeniería y Territorio*, 18(1), 41–53.
- Soza, D., & Falaschi, F. (2020). Aplicaciones fotogramétricas con drones en el estudio de la infraestructura vial. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 15(1), 23–35.
- Vega, M., & Cárdenas, F. (2020). Metodologías para el análisis de pendientes en caminos rurales mediante modelos digitales de elevación. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 16(2), 85–94.





## Rediseño geométrico de la vía Balbanera – Pallatanga – Bucay, sector de Trigoloma

Usamá-Narváez, Hugo<sup>1</sup>; Peñafiel-Hernández, David<sup>2</sup> & Campoverde-Guerrero, Pablo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, hrusama@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, dapenafiel10@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, pacampoverde@utpl.edu.ec

### Introducción

La carretera Balbanera–Pallatanga–Bucay constituye un corredor vial de alta relevancia para el Ecuador, al conectar la región Sierra con la Costa y facilitar el intercambio comercial y social entre las provincias de Chimborazo y Guayas. Sin embargo, en el tramo correspondiente al sector Trigoloma se ha identificado una zona crítica afectada recurrentemente por deslizamientos y derrumbes, lo que compromete la seguridad, la continuidad operativa y la eficiencia del sistema de transporte. Entre 2017 y 2024 se han registrado al menos seis deslizamientos de magnitud considerable en esta área, asociados principalmente a la influencia de la falla geológica de Pallatanga y a los altos niveles de pluviosidad local (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2024).

Además de los factores geológicos y climáticos, el deterioro de la superficie de rodadura incrementa los riesgos funcionales de la vía. El tramo presenta un Índice de Rugosidad Internacional (IRI) promedio de 3.90 m/km, valor superior al umbral recomendado de 2.50 m/km para carreteras con características funcionales similares (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones [MOP], 2002). Esta situación no solo disminuye el confort en la conducción, sino que también incrementa la probabilidad de siniestros y el desgaste vehicular. Según Lamm et al. (2013), un diseño geométrico inadecuado puede aumentar hasta en un 35 % la incidencia de siniestros en vías de montaña.



Estos problemas evidencian la necesidad de aplicar intervenciones técnicas de carácter preventivo en tramos con alta vulnerabilidad geológica. Diversos estudios en regiones andinas han demostrado la efectividad de los rediseños geométricos integrales que consideran las condiciones topográficas, geotécnicas y de tránsito para mitigar riesgos de inestabilidad similares (González et al., 2020; Martínez & Rivas, 2018). En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo diagnosticar, analizar y proponer un rediseño geométrico para el tramo Trigoloma, con el propósito de mejorar la seguridad vial, mitigar los procesos de inestabilidad y optimizar el desempeño funcional de la vía mediante soluciones técnica, económica y ambientalmente sostenibles.

## **Materiales y métodos**

El desarrollo del proyecto se estructuró en cuatro fases sucesivas. En la primera fase se realizó una recopilación sistemática de información histórica sobre deslizamientos e incidentes en el tramo Trigoloma, empleando como fuente principal los registros de la Secretaría de Gestión de Riesgos (2017). Paralelamente se efectuaron mediciones del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de acuerdo con las especificaciones establecidas por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOP, 2002). Asimismo, se levantaron datos geográficos y topográficos con el fin de caracterizar las condiciones físicas del terreno y la infraestructura vial existente.

La modelación de la geometría vial se llevó a cabo mediante el uso del *software* Autodesk Civil 3D, lo que permitió reproducir con precisión las alineaciones horizontales y verticales actuales, así como identificar deficiencias geométricas. Se calculó la Tasa de Cambio de Curvatura (CCR) conforme al método alemán, evaluando variaciones de curvatura en tramos de 2 000 m, según la metodología propuesta por García-Ramírez y Alverca (2019). Esta evaluación posibilitó el análisis de la consistencia geométrica del trazado con relación a una velocidad de diseño de 50 km/h.





Durante la tercera fase se realizaron estudios geotécnicos mediante sondeos de 10 m de profundidad en zonas críticas, con el propósito de caracterizar las propiedades del subsuelo, evaluar la estabilidad de los taludes y calcular los factores de seguridad actuales y proyectados. Se examinaron diversas alternativas de estabilización, entre ellas muros de gaviones, bermas y sistemas de drenaje superficial y subterráneo.

Finalmente, se propusieron mejoras geométricas orientadas a incrementar los radios mínimos de curva, optimizar los peraltes y ampliar el ancho de calzada, siguiendo las directrices de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2001) y del MOP (2002). Como complemento, se recomendó la rehabilitación del pavimento y la implementación de un sistema de drenaje eficiente para mitigar los procesos de infiltración y el deterioro estructural, garantizando la durabilidad y seguridad operativa del tramo en estudio.

## Resultados

Los resultados obtenidos del análisis y la propuesta de rediseño geométrico en el sector Trigoloma evidencian mejoras significativas en términos de seguridad vial, funcionalidad operativa y sostenibilidad del corredor Balbanera–Pallatanga–Bucay.

De acuerdo con los informes técnicos y los registros de mantenimiento, entre el 15 % y el 20 % de las curvas existentes presentan radios inferiores a los mínimos establecidos por la normativa vigente (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2018), lo que compromete la seguridad operativa, especialmente bajo condiciones climáticas adversas. En la Tabla 1 se presenta una comparación entre los parámetros geométricos actuales, los parámetros propuestos y los valores de referencia establecidos por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2001).



Se registró un incremento del radio mínimo de curva de 80 m a 180 m, superando el umbral recomendado de 150 m. El peralte se ajustó de 4 % a 8 % y el ancho de calzada se amplió de 6,50 m a 7,50 m, todos dentro o por encima de los estándares establecidos. Estas mejoras permiten una conducción más estable y segura, reducen la probabilidad de pérdida de control y generan una mayor fluidez vehicular.

**Tabla 1.** Comparación de parámetros geométricos

Parámetro	Existente	Propuesto	Norma AASHTO
Radio mínimo (m)	80	180	≥ 150
Peralte (%)	4	8	6–8
Ancho de calzada (m)	6,50	7,50	7,00

En cuanto al impacto proyectado, se estima una reducción del 40 % en la tasa de siniestros, pasando de 12,3 a 7,4 eventos por cada 100 km, y una disminución del 30 % en los costos anuales de mantenimiento, de 15 200 a 10 600 USD/km, como se detalla en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Impacto en seguridad vial y costos

Indicador	Antes	Después (proyección)
Tasa de siniestros (por 100 km)	12,3	7,4
Costo anual de mantenimiento (USD/km)	15 200	10 600

La consistencia geométrica del trazado mejoró al reducirse la Tasa de Cambio de Curvatura (CCR) de 450 gon/km a 280 gon/km, cumpliendo con el límite de 300 gon/km recomendado para carreteras ubicadas en zonas montañosas (García-Ramírez & Alverca, 2019). De manera complementaria, el factor de seguridad de los taludes aumentó de 1,20 a 1,80 tras la incorporación de muros de gaviones, lo que reduce significativamente el riesgo de deslizamientos.



En conjunto, los resultados confirman que las intervenciones propuestas fortalecen la seguridad vial, mejoran el desempeño funcional del tramo y favorecen una mayor eficiencia en la gestión de la infraestructura, contribuyendo a la sostenibilidad operativa del corredor Balbanera–Pallatanga–Bucay.

### Contribución de autores (CRedit)

Usama-Narváez, Hugo y Peñafiel-Hernández, David participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Campoverde-Guerrero, Pablo contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

### Referencias

- AASHTO. (2001). *A policy on geometric design of highways and streets (4th ed.)*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- García-Ramírez, A., & Alverca, P. (2019). Evaluación de la consistencia geométrica en carreteras de montaña mediante la tasa de cambio de curvatura (CCR): Aplicación del método alemán. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Vial*, 25(2), 55–68.
- González, J., Pérez, L., & Andrade, M. (2020). Rediseños geométricos en vías andinas: Evaluación de estabilidad y funcionalidad vial. *Revista de Ingeniería Civil y Transporte*, 16(1), 41–53.
- Lamm, H., Choueiri, E., & Hayward, J. (2013). Influence of geometric design on accident rates on mountainous roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2398(1), 112–120. <https://doi.org/10.3141/2398-13>



- Martínez, F., & Rivas, L. (2018). Optimización del diseño geométrico en carreteras de montaña bajo criterios de seguridad y eficiencia. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 15(3), 72–84.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2002). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2018). *Normativa de diseño geométrico de carreteras del Ecuador*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. <https://www.obraspublicas.gob.ec>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2017). *Registro histórico de eventos de movimientos en masa en la red vial estatal*. Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2024). *Informe técnico sobre deslizamientos en el tramo Trigoloma, carretera Balbanera–Pallatanga–Bucay*. Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador.







# Innovaciones tecnológicas en el análisis geométrico de vías en alta montaña: aplicación comparativa entre GPS diferencial y fotogrametría

Samaniego-Placencia, Irwin<sup>1</sup>; Pérez-Tapia, Deyvid<sup>2</sup> & Campoverde-Guerrero, Pablo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, hrusama@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, dlperez8@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, pacampoverde@utpl.edu.ec

## Introducción

En la región andina del Ecuador, las condiciones topográficas complejas de las zonas de alta montaña representan un desafío constante para el diseño, la construcción y el mantenimiento de la infraestructura vial. Muchos tramos en operación no cumplen con los parámetros geométricos establecidos por la normativa del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOP, 2002), lo que compromete su seguridad y funcionalidad. Esta problemática afecta principalmente a comunidades rurales y agrícolas que dependen de estas vías para su movilidad y desarrollo económico, pero que enfrentan restricciones para acceder a soluciones técnicas convencionales debido a las dificultades inherentes del terreno. En este contexto, surge la necesidad de adoptar herramientas tecnológicas que permitan obtener información topográfica precisa con menor costo y esfuerzo operativo.

Ante esta situación, se ha propuesto el uso de tecnologías emergentes como los sistemas de navegación global por satélite (GNSS) en modo cinemático en tiempo real (RTK) y la fotogrametría aérea mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT o drones). Estas herramientas permiten generar información topográfica de alta precisión incluso en áreas de acceso limitado. Estudios previos han demostrado que variables como la altura de vuelo, la resolución de las imágenes y la distribución de puntos de control terrestre (GCP) influyen directamente en la precisión de los productos fotogramétricos (Gonçalves & Henriques, 2015; Lalangui & Zárate, 2020; Ruiz & Herrera, 2022).



El presente estudio tiene como objetivo comparar los resultados obtenidos mediante levantamientos GNSS RTK y fotogrametría con VANT, evaluando la incidencia de la altura de vuelo y el número de GCP en la precisión métrica y la confiabilidad del análisis geométrico en vías de montaña que, si bien no cumplen completamente con los estándares normativos, mantienen un nivel de operatividad funcional dentro del sistema vial andino ecuatoriano.

## **Materiales y métodos**

El estudio tuvo como finalidad evaluar la precisión y eficiencia de dos metodologías de levantamiento topográfico: una basada en tecnología GNSS en modo cinemático en tiempo real (RTK) y otra mediante fotogrametría aérea utilizando un vehículo aéreo no tripulado (VANT) modelo DJI Phantom 4 Pro.

### **Levantamiento GNSS RTK**

Para el levantamiento GNSS se emplearon receptores geodésicos con capacidad RTK, los cuales registraron datos geoespaciales de alta precisión tanto en puntos de control terrestre (GCP) como en elementos relevantes del terreno. Esta información constituyó la base métrica de referencia para realizar la comparación con los resultados obtenidos a través de la fotogrametría aérea.

### **Levantamiento fotogramétrico**

El levantamiento fotogramétrico se efectuó utilizando un DJI Phantom 4 Pro, equipado con una cámara de 20 MP, sensor CMOS de una pulgada y obturador mecánico. Aunque el equipo no cuenta con un módulo RTK incorporado, la precisión posicional se mejoró mediante la disposición estratégica de puntos de control terrestre, práctica ampliamente respaldada por la literatura especializada





(Colomina & Molina, 2014; Silva, 2024). De acuerdo con estudios previos, la altura de vuelo influye significativamente en la precisión métrica de los modelos fotogramétricos; por ello, se realizaron vuelos a distintas altitudes, comprendidas entre 79,00 m y 187,84 m sobre el terreno.

## Procesamiento y análisis

Los datos obtenidos mediante el VANT fueron procesados en el *software* Agisoft Metashape, generándose nubes de puntos, ortofotografías y Modelos Digitales del Terreno (MDT). Posteriormente, en Autodesk Civil 3D se construyeron las superficies topográficas y se definió el eje vial con sus características geométricas. Finalmente, con ArcGIS Pro se efectuó el análisis altimétrico, contrastando los valores de cota a lo largo del eje mediante tablas de datos y cálculo de pendientes.

Este enfoque permitió evaluar cuantitativamente el impacto de las condiciones operativas sobre la precisión fotogramétrica y analizar la viabilidad técnica del uso de drones en zonas montañosas de difícil acceso, comparando su desempeño con el método GNSS RTK.

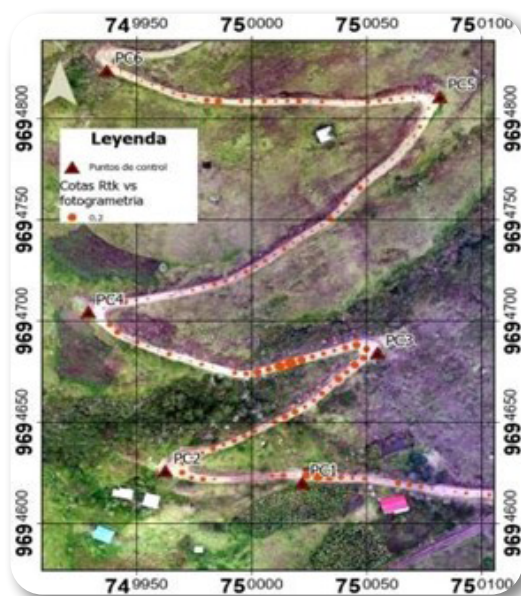
## Resultados

En la Figura 1 se muestran las diferencias de cota a lo largo del eje mediante símbolos proporcionales. Se observa que, si bien existe una tendencia a que los errores aumenten con la distancia respecto a los puntos de control, esta relación no es completamente proporcional. En ciertas zonas se presentan diferencias significativas de cota incluso en proximidad a los puntos de control. No obstante, se aprecia una mejor correlación y consistencia en los datos desde el punto de control 4 hacia la parte alta del levantamiento, lo que indica que a mayor altitud se obtuvo una mejor calidad en los datos. La diferencia máxima registrada fue de 0,39 m, mientras que el promedio general fue de 0,05 m.



En la Figura 2 se presenta el trazado generado a partir de la ortofoto, el cual coincide con el levantamiento realizado mediante GNSS. No obstante, la ortofoto proporciona un nivel de detalle significativamente superior, al tratarse de una imagen a escala real y de alta resolución. Esto permite identificar con mayor precisión elementos clave del diseño vial, como el desarrollo de curvas, tramos rectos, sobreanchos y el ancho efectivo de la calzada. Por lo tanto, se concluye que el uso de ortofotos constituye un método altamente fiable y adecuado para el trazado y verificación de vías existentes (Ruiz & Herrera, 2022; Vega & Cárdenas, 2020).

**Figura 1.** Representación espacial de las diferencias de cota medidas con GNSS y fotogrametría



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 2.** Trazado de la vía en estudio



*Nota.* Elaboración propia.



La diferencia de altitud entre el inicio y el punto final del trazado es de 120 m. En la Tabla 1 se detallan las características geométricas y verticales de las curvas más críticas del recorrido, con radios de aproximadamente 5 m. Además, en ciertos tramos se evidencian pendientes longitudinales de hasta 28 %, con una pendiente máxima de 30 %. Estos valores superan los límites recomendados por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2002), por lo que se concluye que esta vía no cumple con las condiciones mínimas de seguridad y debería cerrarse al tránsito vehicular hasta que se implementen las medidas correctivas correspondientes.

**Tabla 1.** Características geométricas y verticales de las curvas más críticas del trazado vial

Curva	Radio	Sobreancho	Pendiente longitudinal
C1	5 m	8,2 m	19 %
C2	4 m	6,0 m	20 %
C3	6,5 m	5,6 m	19 %
C4	6,5 m	6,5 m	28 %

## Contribución de autores (CRediT)

Samaniego-Placencia, Irwin, Pérez-Tapia, Deyvid participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Campoverde-Guerrero, Pablo contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

## Referencias

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>



- Gonçalves, J. A., & Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009>
- Lalangui, J., & Zárate, D. (2020). Evaluación de la precisión en levantamientos fotogramétricos con drones en zonas de topografía compleja. *Revista Ecuatoriana de Ingeniería Civil*, 12(1), 45–57.
- Ministerio de Obras Públicas. (2002). Normas de diseño geométrico de carreteras. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
- Ruiz, C., & Herrera, D. (2022). Uso de drones en la evaluación de caminos rurales: Aplicaciones en topografía y geomática. *Revista Ingeniería y Territorio*, 18(1), 41–53.
- Silva, R. (2024). Optimización de la precisión fotogramétrica en levantamientos con drones de bajo costo. *Revista Latinoamericana de Geomática y Cartografía*, 20(2), 60–72.
- Vega, M., & Cárdenas, F. (2020). Metodologías para el análisis de pendientes en caminos rurales mediante modelos digitales de elevación. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 16(2), 85–94.





ÁREA

# TRÁNSITO URBANO Y MOVILIDAD









# Simulación de un distribuidor de tráfico en el redondel ubicado en el terminal terrestre de la ciudad de Loja

Briceño-Tacuri, Israel<sup>1</sup>; Loaiza-Jiménez, Lenin<sup>2</sup> & Palacios-Ortega, Juan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, ipbriceno@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, leloaiza4@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jcpalacios2@utpl.edu.ec

## Introducción

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2025), en 2024 el cantón Loja registró una población de 257 110 habitantes, con una proyección de crecimiento que alcanzará los 275 308 habitantes para 2035. Este incremento demográfico implica una mayor competencia por el uso del espacio urbano, el cual es actualmente limitado y presenta desventajas en comparación con ciudades cercanas. En este contexto, la planificación del transporte urbano constituye un eje estratégico para garantizar la movilidad sostenible y la calidad de vida de los habitantes (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2018).

De acuerdo con Boyac y Geroliminis (2011), la movilidad y el transporte representan dos de los principales indicadores del crecimiento económico y social de una ciudad. Por ello, resulta fundamental que el cantón oriente sus esfuerzos hacia la optimización de estos componentes. Una estrategia eficaz consiste en la implementación de distribuidores de tráfico a desnivel, infraestructura que permite mejorar la conectividad, reducir los tiempos de viaje y favorecer la expansión urbana de manera ordenada (Rodríguez & Llamas, 2020; Shokry et al., 2020).

El redondel seleccionado como caso de estudio, ubicado en el sector del terminal terrestre de Loja, presenta problemas críticos de congestión durante las horas pico, alcanzando niveles de saturación que frecuentemente superan su capacidad de servicio. Según Li et al. (2024), las rotondas generan conflictos recurrentes



entre flujos vehiculares (especialmente en las interacciones de entrada–circulación, roce lateral y salida–circulación), lo que reduce la eficiencia operativa y aumenta el riesgo de incidentes. Estudios recientes sobre el desempeño de intersecciones convencionales y diseños alternativos evidencian que la geometría y la segregación de movimientos influyen significativamente en la capacidad y seguridad de las rotondas (Shokry et al., 2020).

La congestión en este punto se origina por la interacción simultánea de múltiples flujos vehiculares. Por un lado, el tráfico local del cantón Loja busca desplazarse del sector norte hacia el sur de la ciudad, así como hacia los cantones de Catamayo, Azuay y Zamora Chinchipe. Por otro lado, existe un flujo considerable de transporte de carga pesada que proviene de la provincia de Zamora con destino hacia la región Costa. A ello se suma el flujo continuo de transporte terrestre de pasajeros procedente del terminal terrestre, conformado por autobuses intercantonales, interprovinciales e internacionales. La confluencia de estos movimientos en un único punto origina una sobrecarga de capacidad, afectando la seguridad, la velocidad de operación y los niveles de servicio (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2018).

Con el objetivo de optimizar la eficiencia del tránsito y reemplazar la rotonda existente, se proyecta la construcción de un distribuidor de tráfico a desnivel que permita el desplazamiento ininterrumpido en los ejes sur–norte y este–oeste. El diseño propuesto eleva el flujo principal sur–norte mediante una estructura a desnivel, mientras que los movimientos secundarios se resuelven utilizando parte de la infraestructura actual y dos nuevas vías en zonas actualmente desocupadas.

Esta solución se fundamenta en el criterio técnico expuesto por Jovanović y Atelšek (2021), quienes sostienen que un distribuidor direccional proporciona el más alto nivel de servicio al permitir desplazamientos directos con mínimas reducciones de velocidad, mejorando así el desempeño operativo de la intersección. En

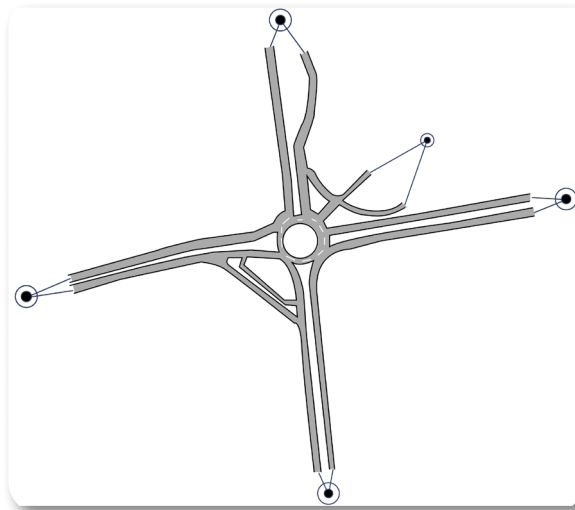
concordancia con lo anterior, AASHTO (2018) y Díaz y Zambrano (2019) destacan que la separación de flujos mediante desniveles constituye una de las estrategias más efectivas para reducir la congestión y mejorar la seguridad vial en entornos urbanos complejos.

## Materiales y métodos

La zona de estudio de la presente investigación se centró en el redondel Isidro Ayora Cueva, ubicado en el exterior del terminal terrestre de la ciudad de Loja, provincia de Loja. Este sector comprende las avenidas 8 de Diciembre e Isidro Ayora.

En primer lugar, se definieron las secciones y la disposición geométrica de las calles y de la rotonda, utilizando una plantilla elaborada mediante la herramienta OpenStreetMap, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1.** Zona de estudio – estado actual



En segundo lugar, en los nudos de acceso se colocaron señales de ceda el paso, con el fin de otorgar prioridad a los vehículos que circulan al interior de la rotonda, tal como se ilustra en la Figura 2.



**Figura 2.** *Modelo de la rotonda – estado actual*



Posteriormente, se efectuó un aforo vehicular durante un período continuo de siete días, registrándose diariamente el volumen de tránsito entre las 12:00 y 13:00 horas, franja correspondiente a la hora pico promedio de mayor demanda en el sector. El conteo se realizó mediante aforo manual, empleando observadores en campo encargados de registrar los vehículos por tipo y sentido de circulación.

Con base en los datos recogidos, se determinó un flujo horario promedio de aproximadamente 800 vehículos durante la hora de máxima demanda. La composición vehicular correspondió a 25 % autobuses, 25 % camiones y 50 % automóviles particulares. Asimismo, se identificaron los centroides de generación y atracción del flujo vehicular, a partir de los cuales se elaboró la matriz origen–destino (O/D) que se presenta en la Tabla 1.



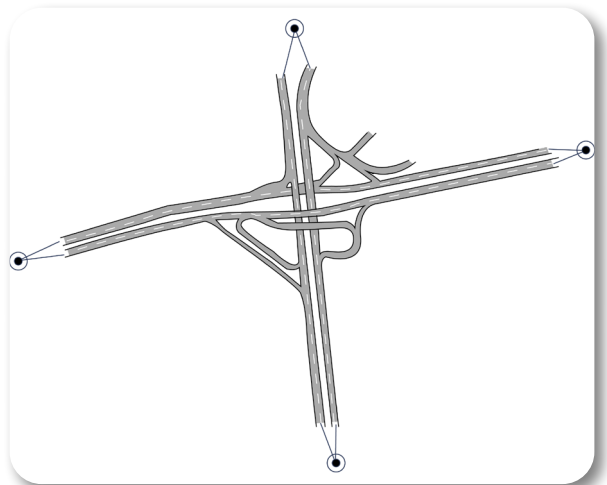
**Figura 3.** *Aforo vehicular*

**Tabla 1.** *Matriz O/D*

Matriz O/D	Norte	Sur	Este	Oeste	Noreste
<b>Norte</b>		250	250	250	50
<b>Sur</b>	250		250	250	50
<b>Este</b>	250	250		250	50
<b>Oeste</b>	250	250	250		50
<b>Noreste</b>	50	50	50	50	
<b>Total</b>	800	800	800	800	800

Posteriormente, se desarrolló el nuevo modelo vial, que consistió en la modificación de la rotonda mediante la incorporación de un distribuidor de tráfico en ambos sentidos de la Avenida 8 de Diciembre, como se muestra en las Figuras 4 y 5.

Esta intervención incluyó la incorporación de giros a la derecha, medida que, según Farivar et al. (2017), constituye una de las soluciones más efectivas para optimizar el flujo vehicular en intersecciones. Cuando estos giros se diseñan como carriles adicionales de circulación libre, permiten a los vehículos realizar la maniobra sin detenerse ni afectar de forma significativa el tránsito principal. De este modo, se reducen los tiempos de espera y se incrementa la capacidad operativa de la intersección. Adicionalmente, este tipo de diseño reduce los conflictos entre vehículos, mejora la seguridad vial y favorece la fluidez de la circulación, especialmente en zonas con altos volúmenes de tráfico. Por lo tanto, la implementación de estos giros se considera una estrategia clave para optimizar la eficiencia y funcionalidad de la infraestructura vial.

**Figura 4.** *Propuesta con distribuidor de tráfico*




**Figura 5.** *Propuesta con distribuidor de tráfico*



Finalmente, se realizó la comparación de escenarios, considerando tanto el modelo del escenario base como la propuesta, ambos con la misma demanda de tránsito. Se generó un escenario dinámico incorporando la demanda previamente establecida.

**Resultados**

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a los modelos simulados en el programa Aimsun Next 24.0.2, tanto para el estado actual como para la propuesta que incorpora un distribuidor de tráfico.

**Tabla 2.** *Comparación de resultados*

Parámetro	Modelo actual	Modelo nuevo	Unidad	% de diferencia	Parámetro
Cola máxima	222	4	veh	Reduce	Cola máxima
Densidad	24,22	6,24	veh/km	Reduce	Densidad
T. de demora	207,89	8,81	seg/km	Reduce	T. de demora
T. de parada	194,22	0,75	seg/km	Reduce	T. de parada
T. total de viaje	101,72	27,79	seg	Reduce	T. total de viaje
Velocidad	24,1	47,26	km/h	Aumenta	Velocidad



Se comprobó que la incorporación de un distribuidor de tráfico reduce significativamente la longitud máxima de las colas vehiculares, así como los tiempos de demora, detención y viaje total. Además, incrementa la velocidad del flujo vehicular, lo que demuestra que este diseño representa una solución más eficiente y optimizada en comparación con el estado actual de la rotonda.

Finalmente, es fundamental destacar la importancia del uso de herramientas de modelado y simulación del tránsito como práctica recomendada en la planificación y gestión de la movilidad urbana. En este contexto, el *software* Aimsun constituye una herramienta avanzada que permite representar de manera detallada el comportamiento del flujo vehicular, evaluar escenarios de congestión y analizar el impacto de distintas estrategias de intervención. Por lo tanto, la implementación de modelos desarrollados en Aimsun contribuye significativamente al diseño de soluciones más eficientes y sostenibles en materia de movilidad urbana.

## Contribución de autores (CRediT)

Briceño-Tacuri, Israel y Loaiza-Jiménez, Lenin contribuyeron principalmente en la conceptualización, metodología, análisis, recolección de datos e implementación del estudio, así como en la redacción del borrador original. Palacios-Ortega, Juan participó en la revisión crítica, corrección de estilo y supervisión general del manuscrito.

## Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). *A policy on geometric design of highways and streets (7th ed.)*. Washington, D.C.: AASHTO.
- Aimsun. (2025). *Aimsun Next 24.0.2 user's manual*. Barcelona, España: Aimsun S.L.U.



- Boyac, B., & Geroliminis, N. (2011). *Estimating the relationship between travel time and economic growth in urban networks*. *Transportation Research Part A*, 45(6), 523–538.
- Díaz, J., & Zambrano, A. (2019). Análisis del diseño horizontal en la red vial ecuatoriana. *Revista de Ingeniería Civil*, 25(2), 45–58. <https://doi.org/10.1234/ric.2019.0025>
- Farivar, S., Andalibian, R., & Tian, Z. Z. (2017). Modeling Right-Turn Blockage and Approach Capacity at Signalized Intersections with Channelized Right-Turn Lanes. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 143(2), 4016006. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000009>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). *Proyecciones poblacionales del cantón Loja 2024–2035*. Quito: INEC.
- Jovanović, M., & Atelšek, D. (2021). *Performance evaluation of directional interchanges in urban areas*. *Transportation Research Record*, 2675(5), 220–234.
- Li, L., Zhang, Z., Xu, Z.-G., Yang, W.-C., & Lu, Q.-C. (2024). *The role of traffic conflicts in roundabout safety evaluation: A review*. *Accident Analysis & Prevention*, 196, 107430. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107430>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2018). *Normas técnicas para el diseño geométrico de carreteras en Ecuador*. Quito: MTOP.
- Rodríguez, P., & Llamas, A. (2020). Diseño y evaluación de distribuidores viales en entornos urbanos densos. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Civil*, 12(4), 87–98.





Shokry, S., Tanaka, S., Nakamura, F., Ariyoshi, R., & Miura, S. (2020). Operational performance comparison between conventional intersections and two unconventional alternative intersection designs (UAIDs) under heterogeneous traffic conditions in Cairo, Egypt. *Transportation Research Procedia*, 48, 923–938. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.110>





## Estudio vial correspondiente al TPDA de la vía Juján - Babahoyo

Bajaña-Terán, Alonso<sup>1</sup>; Barros-Camargo, Franklin<sup>2</sup> & Game-Torres, Palmer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, adbajana2@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, fabarros@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, pgame@utpl.edu.ec

### Introducción

La vía Juján - Babahoyo forma parte del eje principal de la E25, considerada una de las rutas estratégicas de conexión entre las ciudades de Quito y Guayaquil, así como la principal vía de acceso a la provincia de Los Ríos (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEN] 004.01, 2016; Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2003).

Según Rodríguez (2021), esta zona presenta una marcada actividad ganadera y agrícola, lo que ha impulsado el desarrollo del comercio y el turismo en la región. Sin embargo, debido a las inundaciones recurrentes durante la temporada invernal (particularmente en los años 2019, 2020, 2022 y 2025), la vía experimenta problemas de drenaje que afectan su operatividad y seguridad.

El tramo Juján - Babahoyo, correspondiente a la red vial estatal E25, ha llegado a ser intransitable en varios puntos a causa del desbordamiento de cuerpos de agua, especialmente en sectores de la provincia de Los Ríos (El Universo, 2025). Las inundaciones han afectado de forma recurrente los kilómetros 53 y 54, motivo por el cual la Comisión de Tránsito del Ecuador (CTE) ha tenido que ejecutar operativos de desvío vehicular hacia rutas alternas para garantizar la circulación (MTOP, 2003).



**Figura 1.** *Problemas en la vía Juján – Babahoyo*



De acuerdo con El Universo (2025), más de 20 000 vehículos circulan diariamente por esta carretera, que enfrenta graves problemas de tráfico e inundaciones, lo que impacta directamente a la ciudadanía, los transportistas y los agricultores que dependen de ella para movilizar sus productos hacia los puertos del Guayas. Además, Primicias (2025) señala que los constantes siniestros viales y los cierres temporales, ocasionados incluso por procesiones fúnebres, agravan las condiciones de tránsito, provocando largas horas de espera y pérdidas económicas significativas.

El paso lateral Babahoyo - Juján constituye una obra vial de importancia nacional, concebida como un proyecto de gran envergadura destinado a mitigar la congestión vehicular y los efectos de las inundaciones en la zona de Ecuavegetal. Con una longitud aproximada de 10 km, esta carretera lateral busca descongestionar el tramo Babahoyo – Juján, históricamente afectado por su estrechez y deficiencias en drenaje (Expreso, 2024).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo recopilar y analizar los datos de tráfico promedio diario anual (TPDA) con el fin de apoyar el diseño geométrico y estructural de la vía Juján – Babahoyo, contribuyendo así a la planificación y mejoramiento de la infraestructura vial en la región.



## Materiales y métodos

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en la medición numérica, el análisis estadístico y la recolección de datos empíricos para examinar un problema y determinar el valor de la velocidad de diseño y la clasificación de la carretera.

Este proyecto aborda dos problemáticas principales: por un lado, la congestión vehicular generada por la existencia de una carretera de dos carriles; y por otro, el rápido deterioro del pavimento actual, ocasionado por diversos factores estructurales y operativos.

El método aplicado es de tipo inductivo, ya que parte del análisis de una problemática general para obtener los datos específicos de diseño requeridos. El estudio se desarrolló bajo un diseño de investigación transversal, dado que la recolección de datos se efectuó en un período determinado entre el 1 y el 3 de junio de 2025. Este enfoque permitió describir las condiciones existentes en la vía durante el momento del estudio.

Asimismo, se aplicó un diseño de investigación de campo, ya que la información se obtuvo directamente en el sitio, mediante la observación, medición y registro de variables relacionadas con el tráfico, el estado del pavimento y las condiciones operativas de la carretera. Para ello, se utilizaron instrumentos como inspección visual y contador manual, lo que permitió registrar de manera precisa las condiciones existentes.

Los datos recolectados fueron procesados y analizados utilizando técnicas estadísticas descriptivas para determinar los parámetros necesarios para el diseño vial, siguiendo las recomendaciones de la norma NEVI-2015 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2015).



## Resultados

Para obtener una mayor precisión en los datos, se establecieron dos estaciones de conteo vehicular, con el fin de registrar el flujo de tránsito considerando las diferentes entradas y salidas de vehículos a lo largo del tramo analizado.

La primera estación de conteo (Estación A) se ubicó en el ingreso a Juján, con coordenadas -1.8917, -79.5575 (latitud, longitud), donde se programaron los vuelos correspondientes con el primer dron. La segunda estación (Estación B) se situó en la salida de Juján e ingreso a la provincia de Los Ríos, con coordenadas -1.9000, -79.5667, punto donde se realizaron los vuelos con el segundo dron.

Los registros se efectuaron durante 24 horas continuas en un día representativo de condiciones normales de tráfico, con el objetivo de evitar distorsiones en los resultados y garantizar una medición confiable del flujo vehicular. Los resultados del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) obtenidos, junto con su proyección futura, se presentan en la Tabla 1.

Cada dron (DJI Mavic 3) fue pilotado por un operador profesional en su respectiva estación de conteo. Ambos pilotos coordinaron el inicio simultáneo de los vuelos y los períodos de descenso para reemplazo de baterías. La duración promedio de cada batería fue de aproximadamente 30 minutos, motivo por el cual se dispuso de baterías adicionales y cargadores suficientes para garantizar la continuidad de las filmaciones sin interrupciones.

La información capturada en video fue posteriormente procesada y validada mediante conteo visual y hojas de cálculo en Excel, sin recurrir a otro *software* de simulación o análisis. A partir de estos datos, se calculó el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) actual y se proyectaron los valores a futuro, considerando la tasa de crecimiento vehicular promedio anual correspondiente a la región.



En síntesis, los resultados evidencian que la vía Juján - Babahoyo presenta un volumen de tráfico significativo, lo que justifica su clasificación como carretera tipo R-1, de acuerdo con las normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). Dicha categoría se asigna a vías con un TPDA superior a 8 000 vehículos.

De acuerdo con las condiciones topográficas de la zona, predominantemente llanas, la velocidad de diseño recomendada se establece en 120 km/h, conforme a los lineamientos de las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras (Ministerio de Obras Públicas [MOP], 2003).

**Tabla 1.** *Tráfico Promedio Diario Anual de vehículos en los años 2012 y 2023 y proyectados a 2035*

Tipo	N° Veh. Año 2012	N° Veh. Año 2025	N° Veh. Proy Año 2035	Tasa de crecimiento (%)
Livianos	8 500	16 102	28 782	5,98%
Buses	1 963	2 489	3 087	2,18%
Camiones 3 o más ejes	3 657	4 803	6 155	2,51%
Total	14 120	23 394	38 024	—

Dado que el diseño geométrico se desarrolla sobre una carretera existente, los parámetros de diseño deben ajustarse a las condiciones reales del terreno, al volumen de tráfico y a la composición vehicular actual, a fin de garantizar la seguridad y funcionalidad del proyecto vial.

## Contribución de autores (CRedit)

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.



## Referencias

El Universo. (2025, abril 10). *Con descenso de nivel del agua, en la vía Babahoyo–Juján se descubren baches que afectan el paso vehicular.*

<https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/con-descenso-de-nivel-del-agua-en-la-via-babahoyo-jujan-se-descubren-baches-que-afectan-el-paso-vehicular-nota/>

Expreso. (2024, marzo 12). *El paso lateral de Juján, solución en manos de la Corte Constitucional.*

<https://www.expreso.ec/provincias/paso-lateral-jujan-solucion-manos-corte-constitucional-220025.html>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2016). *Normas técnicas ecuatorianas para carreteras y puentes* (INEN 004.01). Quito, Ecuador: INEN.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2003). *Normas para el diseño geométrico de carreteras*. Quito, Ecuador: Autor.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2015). *Normas Ecuatorianas de Vías e Infraestructura (NEVI-15)*. Quito: MTOP.

Primicias. (2025, febrero 15). *La vía Juján–Babahoyo, atrapada entre inundaciones, baches y un largo litigio judicial.*

<https://www.primicias.ec/sociedad/via-jujan-babahoyo-inundaciones-baches-litigio-judicial-prefectura-losrios-96423/>

Rodríguez, D. (2021). *La congestión vehicular y su incidencia en la demanda turística del cantón Juján [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]*. Repositorio Institucional.









## Modelamiento de una intersección para la implementación de un semáforo

Torres-Orellana, Jhandry<sup>1</sup>; Constantine-Moreira, Carlos<sup>2</sup> & Palacios-Ortega, Juan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jstorres27@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, caconstantine@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jcpalacios2@utpl.edu.ec

### Introducción

En la ciudad de Quito, específicamente en la intersección de la avenida Sebastián de Benalcázar y la calle Luis Felipe Borja, se ha identificado un problema recurrente de congestión vehicular, el cual afecta directamente a los residentes y usuarios viales del sector. Como medida paliativa, la municipalidad implementó un cambio de doble a único sentido en una vía secundaria que conecta con esta avenida principal. No obstante, esta modificación ha resultado insuficiente para mitigar los problemas de tráfico, generando repercusiones negativas en la calidad de vida de los habitantes, tales como el aumento de la contaminación ambiental y acústica, así como tiempos de viaje más prolongados para los conductores.

El crecimiento acelerado del parque automotor ha sido identificado como uno de los principales factores que inciden negativamente en la fluidez del tránsito, especialmente en zonas residenciales donde la infraestructura vial es limitada (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2003). La saturación de las vías no solo compromete la movilidad urbana, sino que también eleva los niveles de accidentalidad, registrándose en esta zona hechos de tránsito con consecuencias graves.

Diversos estudios han abordado el uso de herramientas de microsimulación como medio para analizar la movilidad urbana y evaluar la capacidad vial, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema de transporte (Barceló, 2010; Díaz, 2017). En este contexto, el *software* Aimsun se presenta como una herramienta técnica adecuada para modelar escenarios de tráfico, simular intervenciones y proponer soluciones basadas en evidencia.



El presente estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento del tránsito vehicular en la intersección mencionada mediante una simulación en Aimsun, con el fin de evaluar la viabilidad de implementar un sistema de control semafórico. Esta propuesta busca optimizar el flujo vehicular, reducir los tiempos de viaje, mejorar la seguridad vial y, en última instancia, contribuir a la mejora de la calidad de vida de los habitantes del sector y reducir el número de siniestros en el punto de estudio (ver Figura 1).

Figura 2. Perfil longitudinal rediseñado



Nota. Elaboración propia.

## Materiales y métodos

Para el análisis de la problemática vial en la intersección de la avenida Sebastián de Benalcázar y la calle Luis Felipe Borja, se efectuó un aforo vehicular tipo Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) durante un período continuo de cinco días, comprendido entre el 7 y el 11 de julio de 2024. El registro del flujo vehicular se realizó mediante cámaras de videovigilancia instaladas en puntos estratégicos, lo que permitió capturar de manera continua el tránsito en ambos sentidos. Posteriormente, las grabaciones fueron procesadas para obtener los



volúmenes de tráfico en distintos intervalos horarios, identificando los patrones de comportamiento de los usuarios y las franjas horarias de mayor congestión. Esta información resultó fundamental para el desarrollo de las propuestas de mejora vial (Pedraza-Martínez *et al.*, 2013).

**Tabla 1.** *Aforo vehicular del día de mayor demanda*

Hora	Automóvil	Camioneta	Autobús	Camiones 2 ejes	Camiones 3 ejes	Camiones articulados
06:00–07:00	350	22	23	7	5	1
07:00–08:00	476	48	25	3	2	0
08:00–09:00	509	51	26	15	4	1
09:00–10:00	462	35	26	5	2	1
10:00–11:00	489	28	21	4	7	1
11:00–12:00	525	57	31	6	5	1
12:00–13:00	475	38	22	9	9	0
13:00–14:00	533	62	32	13	10	0
14:00–15:00	564	34	25	10	9	0
15:00–16:00	491	41	24	3	8	1
16:00–17:00	549	26	27	8	1	1
17:00–18:00	572	14	30	8	5	0

*Nota.* Elaboración propia con base en el aforo vehicular (2025).

**Tabla 2.** *Fases del semáforo presupuesto*

Fases	Verde	Amarillo
Fase 1	30 s	4 s
Fase 2	25 s	3 s
Total, ciclo	---	62 s

*Nota.* En el análisis del ciclo semafórico no se consideró un período específico para el cruce peatonal, dado que en la intersección evaluada no existe fase peatonal independiente dentro del programa de control.



Tabla 3. Distribución de viajes en la intersección

Sentidos	Sebastián B. - Norte (veh)	Sebastián B. - Sur (veh)	Total (veh)
Sebastián B. (Norte)	-	60	60
Sebastián B. (Sur)	225	-	225
Luis Felipe (Este)	108	68	176
Total	333	128	461

Nota. Distribución de viajes en la intersección.

Figura 2. Modelado de la intersección con el software Aimsun



Nota. Elaboración propia con datos del aforo vehicular (2025).

La capacidad estimada de la vía intervenida se ubicó en un rango aproximado de 800 a 900 vehículos por hora, valor típico para este tipo de infraestructura vial urbana. En el caso específico de la avenida Sebastián de Benalcázar, la capacidad real se determinó mediante aforos vehiculares directos. De acuerdo con la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI), el TPDA corresponde al volumen total de tránsito que circula por una carretera durante un año, dividido entre 365 días, siendo un indicador clave para la planificación de intervenciones viales (NEVI, 2012).



El conteo vehicular se programó para un período continuo de 12 horas, comprendido entre las 06:00 y 18:00. Tras un análisis preliminar, se estableció que el lunes representa el día de mayor demanda vehicular, criterio que justificó su elección para la toma de datos, considerando la variabilidad del tráfico urbano (Oyola, 2017).

Una vez registrada la totalidad de vehículos en la intersección con la avenida Luis Felipe Borja, se ingresaron los datos correspondientes a la matriz de destino en el entorno de modelación. Con base en ello, se definieron dos fases de control para el nodo, utilizando como referencia tiempos promedio de cambios de luces obtenidos mediante cronometraje directo en intersecciones cercanas. Estos valores se emplearon como parámetros preliminares para la programación del sistema semafórico (Vacacela, 2024).

Para la construcción de la demanda de tráfico, se seleccionó el intervalo horario comprendido entre 07:00 y 08:00, al representar el pico máximo de flujo vehicular, siendo este el período de mayor interés para los objetivos del estudio, orientados a reducir la congestión y mejorar la fluidez vial. El trazado geométrico de las vías fue replicado con precisión a partir de una imagen satelital obtenida de Google, complementada con un levantamiento en campo utilizando cinta métrica para verificar los anchos de calzada y las condiciones geométricas reales observadas in situ.

La implementación de los datos obtenidos se realizó en el *software* Aimsun Next 24.0.2, mediante la asignación de centroides en los tramos viales estudiados, en los cuales se cargaron las matrices de destino. A partir de esta configuración, se procedió a la iteración de ciclos semafóricos, evaluando tanto los tiempos individuales de fase como el tiempo total del ciclo de semaforización para cada configuración propuesta (Medina, 2024).



## Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la simulación de tráfico en la intersección analizada permiten concluir que, para lograr una adecuada distribución del flujo vehicular durante las horas pico, la medida más efectiva es la implementación de un sistema semafórico con los intervalos de tiempo recomendados en la Tabla 2, configurando un ciclo total de 62 segundos.

A partir de la comparación entre el escenario actual y el escenario propuesto, se evidenció una reducción promedio del 35 % en el tiempo de espera por vehículo, un incremento del 22 % en la velocidad media de circulación y una disminución del 28 % en la longitud promedio de colas en los accesos principales.

Adicionalmente, la propuesta plantea la incorporación de semáforos inteligentes, capaces de evaluar el volumen del tránsito por sentido de circulación y ajustar automáticamente las fases según la demanda vehicular en tiempo real. Este tipo de sistema permite optimizar la eficiencia del control de tráfico y adaptarse a las condiciones variables de operación de la intersección.

Los resultados de la simulación muestran que la implementación del semáforo y los intervalos de tiempo establecidos permiten alcanzar un flujo vehicular continuo y equilibrado durante el período de máxima demanda (07:00–08:00 horas), lo cual evidencia una reducción significativa en la congestión y una mejora general en la fluidez del tránsito.

En síntesis, el escenario propuesto satisface las condiciones operativas necesarias para un desempeño adecuado de la intersección, demostrando que la instalación de un semáforo con control adaptativo constituye una solución viable y eficiente para mejorar la movilidad y la seguridad vial en este punto crítico de la ciudad.





## Contribución de autores (CRedit)

Torres-Orellana, Jhandry y Constantine-Moreira, Carlos participaron principalmente en la conceptualización, desarrollo metodológico, recolección y análisis de datos, así como en la redacción del borrador original del artículo. Palacios-Ortega, Juan contribuyó con la revisión crítica del contenido, corrección de estilo, validación del modelo propuesto y supervisión general del manuscrito.

## Referencias

- Barceló, J. (2010). *Fundamentals of traffic simulation*. Springer.
- Díaz, P. (2017). *Simulación del tránsito vehicular en intersecciones urbanas utilizando software de modelado Aimsun [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]*. Universidad de Cuenca.
- Medina, S. Y. (2024). *Análisis de la movilidad urbana y capacidad vial en vías urbanas de las calles Pichincha desde la avenida Las Palmeras hasta la calle Diez de Agosto de la ciudad de Machala*. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/23956>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2003). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. Quito, Ecuador: Autor.
- Norma Ecuatoriana Vial (NEVI). (2012). Volumen Nº 2. *Libro B: Norma para estudios y diseño vial*. Quito, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_6.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_6.pdf)
- Oyola, E. E. (2017). *Análisis de congestionamiento vehicular para la optimización de los semáforos desde el redondel El Cambio hasta el distribuidor El Bananero [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]*. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11616>



- Pedraza-Martínez, L. F., Hernández-Suárez, C. A., & López-Sarmiento, D. A. (2013). *Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular*. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(4), 583–594. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432013000400011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432013000400011)
- Vacacela, Z. L. (2024). *Análisis de la movilidad urbana y capacidad vial en vías urbanas de las calles Pichincha desde la avenida Las Palmeras hasta la calle Diez de Agosto de la ciudad de Machala [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]*. [https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/23956/1/Trabajo\\_Titulacion\\_3581.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/23956/1/Trabajo_Titulacion_3581.pdf)







# **Congestión de tránsito en el redondel del Minguero, Tulcán: evaluación, diagnóstico y recomendaciones para descongestionamiento**

Taco Hernández, Pamela Rosa<sup>1</sup>; Pozo García, Trotsky Lenin<sup>2</sup> & Palacios-Ortega, Juan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, prtaco@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, tlpozo2@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jcpalacios2@utpl.edu.ec

## **Introducción**

La gestión eficiente del tránsito en entornos urbanos se ha consolidado como una prioridad en los planes de desarrollo sostenible, especialmente en ciudades intermedias como Tulcán, que enfrentan una creciente presión sobre su infraestructura vial (Litman, 2021; ONU-Hábitat, 2020). El crecimiento acelerado del parque automotor, junto con el aumento del intercambio comercial transfronterizo, ha generado desafíos significativos en materia de movilidad urbana.

Uno de los puntos críticos de esta problemática es el redondel del Minguero, ubicado en la intersección de la Av. Veintimilla, Av. Andrés Bello y el sector Las Tejerías (coordenadas 0°48'42"N 77°43'07"O). Este nodo vial, de carácter estratégico, articula diversas rutas de alto flujo vehicular en la ciudad. Actualmente, evidencia signos de saturación durante los horarios de mayor demanda, lo que provoca retrasos sustanciales en los desplazamientos diarios y afecta directamente la calidad del entorno urbano inmediato (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2023; Agencia Nacional de Tránsito [ANT], 2023).

De acuerdo con datos del INEC y la ANT, el parque automotor en el cantón Tulcán ha experimentado un incremento superior al 35% en la última década, registrando más de 25,000 vehículos matriculados hasta el año 2023. Esta situación se ve agravada por la circulación constante de transporte interprovincial, intercantonal, de carga pesada y vehículos particulares provenientes de la frontera con Colombia.



La congestión en intersecciones giratorias como esta puede atribuirse a múltiples factores, tales como un diseño geométrico inadecuado, deficiencias en la señalización, crecimiento urbano no planificado y ausencia de mecanismos eficaces de regulación vial (Rodríguez & Morales, 2022; Pérez *et al.*, 2021). Frente a este panorama, resulta imprescindible emprender un estudio técnico que permita caracterizar el comportamiento del tránsito en dicha intersección y formular propuestas de intervención sustentadas.

Desde el enfoque contemporáneo de la ingeniería civil, se han incorporado herramientas analíticas y modelos de simulación para diagnosticar estos fenómenos urbanos y proponer soluciones sostenibles (Cervero, 2018). Investigaciones desarrolladas en ciudades ecuatorianas como Ambato y Cuenca han demostrado la efectividad de estrategias como la semaforización adaptativa, la redistribución de flujos vehiculares y la reconfiguración geométrica de redondeles para mejorar la movilidad urbana (Maldonado *et al.*, 2020; González & Herrera, 2019).

Este informe técnico tiene como objetivo evaluar la situación actual del redondel del Minguero, identificar los factores críticos que inciden en su desempeño vial y proponer estrategias orientadas a optimizar la circulación vehicular, reducir los tiempos de viaje y fortalecer la seguridad, comodidad y eficiencia del sistema de transporte urbano en Tulcán.

## **Materiales y métodos**

El estudio técnico para evaluar la congestión vehicular en el redondel del Minguero se llevó a cabo durante un período de dos semanas del mes de abril de 2025, con la finalidad de obtener datos reales del comportamiento del tránsito en condiciones habituales. La investigación se desarrolló exclusivamente mediante trabajo de campo, apoyándose en métodos manuales de recolección de información y observación directa.



Para el levantamiento de datos se contó con la participación de tres observadores, distribuidos estratégicamente en los cuatro accesos y dos puntos internos del redondel, de modo que cada observador cubriera un brazo o zona de flujo específica. Los observadores se ubicaron en zonas elevadas o seguras, con visibilidad completa del tramo asignado, y realizaron rotaciones cada 60 minutos para mantener la precisión y reducir la fatiga visual durante los conteos.

Se seleccionaron tres franjas horarias representativas del flujo vehicular: 07:00 a 09:00, 12:00 a 14:00 y 16:00 a 18:00. En cada una de estas franjas se realizaron conteos vehiculares manuales en días laborables, específicamente de lunes a viernes, para registrar la intensidad y características del tránsito en condiciones regulares. Los conteos se ejecutaron de manera simultánea en cada uno de los accesos del redondel, utilizando planillas impresas previamente estructuradas, cronómetros digitales y dispositivos de conteo manual, diferenciando los tipos de vehículos: livianos, pesados, motocicletas y transporte público.

El equipo registró la cantidad de vehículos que ingresaban y salían por cada brazo del redondel durante intervalos de 15 minutos, con el objetivo de identificar variaciones significativas de flujo a lo largo del período de observación. Para garantizar la confiabilidad de los datos, se estableció un margen de error máximo del 5%. La información recolectada fue organizada en tablas de Excel, lo que permitió el cálculo de volúmenes horarios, tasas de entrada y salida, y determinación de los momentos de mayor saturación.

A partir de estos datos, se procedió a evaluar el nivel de servicio de la intersección utilizando los lineamientos del Highway Capacity Manual (HCM 2010), considerando variables como el volumen vehicular, los tiempos de demora estimados por observación directa y la longitud de colas durante los picos de congestión. Además, se realizó una inspección visual de las condiciones físicas del redondel, incluyendo el ancho de calzadas, la geometría vial, la señalización existente y las posibles interferencias con el transporte público o peatones.



## Resultados

Los conteos vehiculares manuales mostraron que el mayor volumen se registró en la mañana (07:00–09:00), seguido por la tarde (16:00–18:00). El mediodía presentó un nivel intermedio de circulación (véase Tabla 1):

**Tabla 1.** *Promedios obtenidos por tipo de vehículo*

Horario	Livianos	Pesados	Motos	Transporte público	Total Promedio/Hora
07:00–09:00	1080	220	310	150	1760
12:00–14:00	820	180	260	120	1380
16:00–18:00	970	210	280	135	1595

*Nota.* Elaboración propia a partir de los conteos vehiculares manuales (2025).

Utilizando los lineamientos del Highway Capacity Manual (HCM 2010), se evaluó el nivel de servicio (LOS) de la intersección, considerando el volumen horario y los tiempos promedio de demora observados (ver Tabla 2).

**Tabla 3.** *Niveles de servicio de la intersección*

Horario	Volumen Observado (veh/h)	Demora Promedio (s/veh)	Nivel de Servicio (LOS)
07:00–09:00	1760	47	E (muy deficiente)
12:00–14:00	1380	32	D (deficiente)
16:00–18:00	1595	41	E (muy deficiente)

*Nota.* Elaboración propia a partir de los conteos vehiculares y el HCM 2010 (2025).

Estos resultados evidencian una congestión significativa en la intersección, particularmente en las franjas horarias de la mañana y la tarde, donde el nivel de servicio se clasifica como muy deficiente (LOS E), indicando demoras excesivas y reducción de la eficiencia operativa.





Al comparar estos hallazgos con estudios similares desarrollados en otras ciudades ecuatorianas, por ejemplo, el caso documentado por Rodríguez y Méndez (2021) en la intersección de la Av. Cevallos en Ambato, se observa una tendencia común en ciudades intermedias: la infraestructura vial existente resulta insuficiente frente al crecimiento acelerado del parque automotor. En dicho estudio, se determinó un nivel de servicio D en una intersección semaforizada, con tiempos de demora comparables a los del presente análisis. Esto refuerza la hipótesis de que una geometría vial tradicional, sin rediseño ni control dinámico, resulta ineficiente para gestionar flujos vehiculares crecientes.

Se concluye que la capacidad operativa del redondel del Minguero ha sido superada. Por tanto, se requieren intervenciones técnicas que mitiguen la congestión y mejoren la movilidad urbana. Entre las soluciones propuestas se encuentra la reducción del diámetro del redondel, lo que permitiría optimizar el espacio disponible y habilitar carriles exclusivos para buses interprovinciales, urbanos y vehículos particulares. Esta reorganización contribuiría a reducir conflictos entre tipos de transporte y mejorar la fluidez del tránsito.

Adicionalmente, se recomienda la implementación de sistemas de semaforización inteligente, capaces de adaptar la gestión del flujo vehicular en tiempo real según la demanda. Estas medidas deben complementarse con una señalización técnica adecuada, que garantice mayor seguridad vial, eficiencia operativa y comodidad para todos los usuarios del sistema de transporte urbano.

### **Contribución de autores (CRedit)**

Taco Hernández, Pamela Rosa y Pozo García, Trotsky Lenin realizaron la conceptualización, el desarrollo metodológico, la recolección y análisis de datos, así como la redacción del borrador original del artículo. Palacios-Ortega, Juan se encargó de la revisión crítica de los resultados, la corrección de estilo y la supervisión general del contenido del manuscrito.



## Referencias

- Cervero, R. (2018). Beyond mobility: Planning cities for people and places. *Island Press*. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-835-0>
- González, M., & Herrera, P. (2019). *Evaluación del rediseño geométrico de redondeles urbanos en Cuenca para optimizar la movilidad*. Universidad de Cuenca.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Parque automotor del Ecuador 2023*. Quito: INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Litman, T. (2021). *Transportation and environmental policy integration: Lessons from the sustainable transport movement*. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/integrate.pdf>
- Maldonado, D., Jara, F., & Espinoza, G. (2020). *Análisis de la semaforización adaptativa como estrategia de descongestionamiento en intersecciones urbanas: Caso Ambato*. Universidad Técnica de Ambato.
- Miranda, M., Saiz-Linares, Á., da Costa, A., & Castro, J. (2020). Active, experiential and reflective training in civil engineering: Evaluation of a project-based learning proposal. *European Journal of Engineering Education*, 45(6), 937–956. <https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1785400>
- Nukić, I. Š., Galić, M., & Dolaček-Alduk, Z. (2015). Impact of changes in a project team structure on the team performance. *Advances in Civil and Architectural Engineering*, 6(10), 58–66. <https://doi.org/10.13167/2015.10.7>
- Organización de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). (2020). *Guía práctica de movilidad urbana sostenible en ciudades intermedias latinoamericanas*. ONU-Hábitat. <https://unhabitat.org>



- Pérez, A., Torres, C., & Aguilar, R. (2021). Factores de congestión vial en intersecciones urbanas: diagnóstico y soluciones aplicadas en Ecuador. *Revista Ingeniería y Territorio*, 15(2), 45–57.
- Rodríguez, L., & Méndez, P. (2021). Evaluación del nivel de servicio en la intersección semaforizada de la Av. Cevallos en Ambato. Universidad Técnica de Ambato.
- Rodríguez, M., & Morales, E. (2022). Diseño geométrico y su incidencia en la congestión vehicular: estudios de caso en ciudades ecuatorianas intermedias. *Revista de Ingeniería Civil y Transporte*, 12(1), 23–35.
- Transportation Research Board. (2010). Highway capacity manual (5th ed.). *National Research Council*.





# Optimización del tráfico vehicular en una intersección urbana de alto flujo en la ciudad de Azogues mediante el Software Aimsun

Tapia- Cárdenas, César<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, catapia13@utpl.edu.ec

## Introducción

En el contexto urbano de la ciudad de Azogues, una de las principales problemáticas viales actuales radica en la congestión vehicular que se genera en intersecciones de alto flujo. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2021), el parque automotor urbano ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, sin que la infraestructura vial se haya desarrollado al mismo ritmo. Este desajuste ha provocado un deterioro progresivo en las condiciones de movilidad urbana.

Factores como la falta de sincronización semafórica, la ausencia de estudios técnicos sobre tiempos óptimos de espera y el incremento desordenado del parque automotor han contribuido al aumento de los niveles de tráfico, lo cual repercute negativamente en los tiempos de desplazamiento, el consumo energético y la contaminación ambiental (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2020; Litman, 2021). De hecho, organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019) y ONU-Hábitat (2020) han advertido que la congestión urbana constituye uno de los principales factores que disminuyen la calidad de vida en ciudades intermedias de América Latina.

Frente a este escenario, la implementación de herramientas tecnológicas para la gestión del tráfico se vuelve indispensable. En este sentido, el *software* Aimsun ha demostrado ser una alternativa eficaz para simular, modelar y optimizar la operación del tránsito urbano en intersecciones complejas, al permitir evaluar escenarios con base en datos reales y predecir el comportamiento del flujo vehicular bajo distintas configuraciones viales (Barceló, 2010; Aimsun, 2023).



El presente estudio tiene como objetivo analizar una intersección crítica de la ciudad de Azogues mediante la aplicación del *software* Aimsun, con el propósito de reducir significativamente el nivel de congestión, optimizar los tiempos de viaje y proponer estrategias de mejora fundamentadas en principios de la ingeniería del transporte y simulación digital avanzada.

## **Materiales y métodos**

### **Caracterización de la intersección de estudio**

La intersección seleccionada para este estudio se ubica en una zona urbana de la ciudad de Azogues, en la confluencia de la avenida 16 de Abril y la calle Adolfo Palomeque. Esta intersección presenta una configuración en cruz, con dos carriles por sentido en la vía principal y dos carriles en la vía secundaria. No cuenta con canalizaciones específicas para giros, y los pasos peatonales están parcialmente señalizados, lo cual representa un factor de riesgo y congestión adicional. La elección de este punto se fundamentó en su alta demanda vehicular durante las horas pico, especialmente en el horario vespertino.

Con el propósito de analizar el comportamiento del tráfico, se realizó un levantamiento de información en campo durante tres días hábiles consecutivos. El conteo vehicular se concentró en el horario comprendido entre las 17:00 y 18:00, considerado como representativo de la hora pico. Durante este período, se registraron los volúmenes de tránsito por tipo de vehículo (livianos, pesados, motocicletas), así como observaciones cualitativas sobre el comportamiento de los conductores y las condiciones operativas de la intersección. La geometría vial fue determinada mediante mediciones directas, y complementada con imágenes satelitales y planos catastrales municipales actualizados.

## Modelado y simulación con Aimsun

Una vez sistematizada la información recolectada, se procedió al modelado de la intersección utilizando el *software* Aimsun. En el entorno de simulación se integraron todos los datos obtenidos: la configuración geométrica, los flujos vehiculares por tipo y sentido, así como los tiempos semafóricos existentes. Para el análisis, se definieron dos escenarios: el primero corresponde a la situación actual o “escenario base”, mientras que el segundo contempla una propuesta de optimización, centrada principalmente en el rediseño de fases semafóricas y ajustes operacionales.

La metodología empleada fue de tipo cuantitativo y experimental, orientada a la comparación de indicadores de desempeño vial entre ambos escenarios. Se analizaron variables como los tiempos promedio de demora por vehículo, la longitud de colas por acceso y el nivel de servicio (LOS) de la intersección. Estas métricas se evaluaron conforme a los estándares establecidos en la literatura técnica y estudios previos sobre simulación de tráfico urbano (Tinoco, 2023). La Figura 1 presenta una imagen referencial de la intersección seleccionada para este análisis.

**Figura 1.** *Intersección de estudio*

*Nota.* Imagen referencial de la intersección objeto de estudio, mostrando la configuración geométrica, accesos y puntos de conteo vehicular utilizados para el levantamiento de información en campo durante el horario vespertino.





## Resultados

Los resultados obtenidos mediante la simulación en Aimsun muestran una mejora significativa en el desempeño de la intersección tras la reprogramación de las fases semafóricas. Se redistribuyeron los tiempos de luz verde, asignando mayor duración a las aproximaciones con mayor demanda y reduciendo los tiempos muertos entre fases. Además, se restringió el estacionamiento en doble fila en los accesos más conflictivos.

Estas medidas permitieron reducir la longitud promedio de colas de 18 a 10 vehículos, lo que representa una disminución del 44 %. La demora media por vehículo bajó de 62 a 39 segundos, equivalente a una mejora del 37 % en los tiempos de espera. El nivel de servicio (LOS) mejoró de D a C, y la capacidad de procesamiento de la intersección aumentó en un 10 %, permitiendo gestionar un mayor volumen vehicular sin generar congestión adicional.

La Tabla 1 presenta el resumen comparativo entre el escenario actual y el escenario con optimización semafórica.

Tabla 1. Resultados de la modelación en Aimsun

Indicador	Escenario Actual	Optimización Semafórica
Longitud promedio de cola (vehículos)	18	10
Demora media por vehículo (segundos)	62	39
Nivel de servicio (LOS)	D	C
Capacidad de procesamiento (%)	100%	110%
Reducción de cola (%)	----	44%
Reducción de demora (%)	----	37%

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de simulación en Aimsun (2025).





## Contribución de autores (CRediT)

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.

## Referencias

- Aimsun. (2023). *Manual técnico del software de simulación de tráfico*. Aimsun SL.
- Barceló, J. (2010). *Fundamentals of traffic simulation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2021). *Infraestructura vial y su impacto en el desarrollo territorial*. INEC.
- Litman, T. (2021). *Transportation and environmental policy integration: Lessons from the sustainable transport movement*. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/integrate.pdf>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOP). (2020). *Normas técnicas para la planificación y mantenimiento de vías*. Quito: MTOP.
- Organización de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). (2020). *Guía práctica de movilidad urbana sostenible en ciudades intermedias latinoamericanas*. ONU-Hábitat. <https://unhabitat.org>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2019). *Informe mundial sobre el transporte urbano y la salud*. OMS. <https://www.who.int>



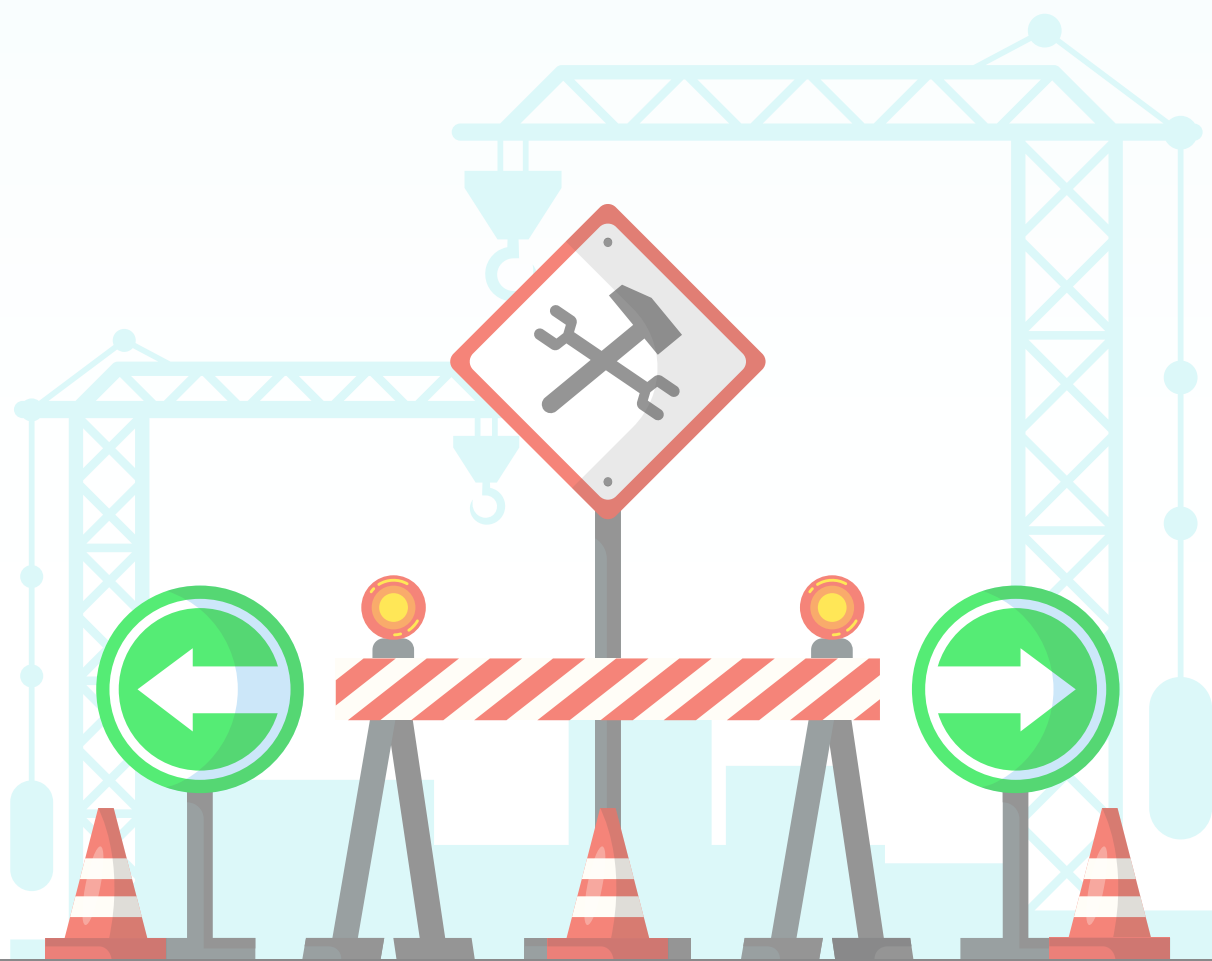
Tinoco, J. C. (2023). *Análisis y propuesta de solución integral al congestionamiento vehicular que se produce en la Av. 24 de Mayo y Vía al Valle, de la ciudad de Cuenca* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Universidad de Cuenca.





ÁREA

# GESTIÓN DE PROYECTOS VIALES







# Beneficios ambientales y económicos del uso de Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) en Ecuador: una alternativa sostenible para la construcción vial

Barros Calderón, Fernanda<sup>1</sup>; Maza Espinoza, Freddy Geovanny<sup>2</sup> & Díaz-Muñoz, Fabián<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, fbarros@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, fgmaza@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, fpdiaz@utpl.edu.ec

## Introducción

El sector de la construcción es uno de los mayores generadores de residuos sólidos en el mundo. Según el informe What a Waste 2.0 del Banco Mundial, esta industria genera alrededor del 43 % de dichos residuos, de los cuales entre un 10 % y un 13 % son dispuestos en botaderos sin tratamiento (Kaza et al., 2018). Este escenario demanda estrategias sostenibles para mitigar su impacto ambiental.

En Europa, por ejemplo, se producen anualmente aproximadamente cinco millones de toneladas de residuos de construcción y demolición. De este total, solo el 38 % es reciclado, mientras que el 60 % se deposita en vertederos próximos al lugar de origen (Comisión Europea, 2025). Este contexto evidencia la necesidad urgente de fomentar el reciclaje en el sector constructivo.

Una alternativa viable es el uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP, por sus siglas en inglés), especialmente en obras de mantenimiento vial, bacheos y nuevas estructuras de pavimento. Las investigaciones sobre RAP iniciaron en la década de 1980 en Estados Unidos. Desde entonces, se ha buscado optimizar su inclusión en mezclas nuevas, manteniendo el desempeño estructural. En la actualidad, se recomienda incorporar hasta un 30 % de RAP combinado con 70 % de material nuevo (Figuerola & Fonseca, 2020).

En Ecuador, la reutilización de RAP es limitada y subutilizada. La mayoría de las capas asfálticas removidas no se reciclan, lo que representa una pérdida de recursos potencialmente aprovechables.



Este proyecto demuestra que su uso genera beneficios ambientales, reducción de costos y optimización de materiales.

## **Materiales y métodos**

El RAP se obtuvo mediante el fresado de capas asfálticas deterioradas o retiradas por requerimientos constructivos, con una profundidad determinada (Copeland, 2011). Este material fue transportado a plantas de trituración o procesado *in situ*, y posteriormente clasificado según granulometría y humedad para su reutilización. Se realizaron análisis de cohesión, adhesión, fatiga y ahuellamiento para evaluar el desempeño del RAP, considerando que sus propiedades podrían verse afectadas por su uso previo (Figueroa Infante & Fonseca Santillana, 2020).

Según la Federal Highway Administration (FHWA), las proporciones de RAP variaron entre un 10 % y 15 % para aplicaciones de baja exigencia, y hasta un 100 % para aplicaciones de alta exigencia, dependiendo de las regulaciones y la tecnología disponible (Federal Highway Administration, 2018). Para la evaluación, se emplearon normas como la AASHTO M 302 y M 295.

La FHWA se planteó metas de uso de RAP y, durante cinco años, creó y aplicó diferentes mezclas. Estas fueron documentadas para futuras aplicaciones. En la Tabla 1 se presentan los distintos proyectos en donde dichas metas se cumplieron con éxito, demostrando que el RAP pudo utilizarse en diferentes concentraciones. Los proyectos se ejecutaron en distintas ciudades de EE. UU., lo cual permitió identificar buenas prácticas para su implementación (U.S. Department of Transportation, 2020).

El uso de RAP redujo significativamente la necesidad de extracción de áridos naturales y disminuyó la generación de residuos. Se estimó que, por cada kilómetro de rehabilitación con RAP, se evitó la explotación de 1500 toneladas de agregados y el uso de 75 toneladas de betún asfáltico (Huang et al., 2007; Copeland, 2011).



**Tabla 1.** *Proyectos de campo utilizando altos RAP*

Lugar	% RAP	Fecha de construcción
Carolina del Norte	40 %	Sep. 07
Carolina del Sur	30 y 50%	Oct. 07
Wisconsin	25 %	Nov. 07
Florida	45 %	Dic. 07
Kansas	30 a 40%	May. 08
Delaware	35 %	Verano 2008
Minnesota	30%	2008
Illinois	10 a 50% permitido	2008

*Nota.* U.S. Department of Transportation (2020).

Este enfoque favoreció la conservación de recursos no renovables, mitigando impactos ambientales como la degradación del paisaje, la alteración de ecosistemas y la pérdida de biodiversidad. Además, se evitó la disposición del RAP en escombreras, lo cual redujo la carga ambiental y los costos asociados. Por cada tonelada de RAP utilizada, se evitó el vertido de 0,8 toneladas de residuos (Cuesta *et al.*, 2021).

En cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub>, existió una relación directa entre la cantidad de RAP y la reducción de gases de efecto invernadero. En mezclas con 30 % de RAP, se registraron disminuciones del 30 % en emisiones. Los datos presentados por Castro, Sabogal y Fernández-Gómez (2022) confirmaron reducciones desde un 17 % de contenido reciclado, tal como se muestra en la Tabla 2. Además de los beneficios ambientales, el uso de RAP permitió reducir los costos de materiales entre un 14 % y 34 %, según las técnicas y condiciones locales (Hansen & Copeland, 2017).



Tabla 2. *Proyectos de campo utilizando altos RAP*

Mezcla Asfáltica	Contenido de RAP (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (lb/Ton)
1	0	164,5
2	20	155,4
3	20	130,5
4	20	124,1
5	20	117,5
6	17	132,6
7	0	150,3

Nota. U.S. Department of Transportation (2020).

En Ecuador, un caso de estudio en el tramo Guangarcucho–Jadán (Azuay) evidenció un ahorro de \$56,776.94 respecto a una rehabilitación convencional. El proyecto tradicional presentaba un presupuesto de \$732,215.35, mientras que la alternativa con RAP alcanzó \$675,437.41 (Campoverde Espinoza & Uyaguari Perea, 2021). Se sabe también que actualmente otros gobiernos provinciales, como el del Guayas, han empezado a promocionar el uso de RAP para el mantenimiento vial (Guayas, 2025).

## Resultados

La gestión ambiental fue frecuentemente relegada en proyectos de infraestructura. En Ecuador, la ausencia de una normativa específica sobre el manejo de residuos de construcción acentuó esta omisión. Sin embargo, los resultados de este estudio demostraron que la incorporación de RAP fue técnicamente viable y ambientalmente beneficiosa, sin requerir esfuerzos logísticos adicionales.

Uno de los principales hallazgos fue el ahorro del 8% en un proyecto ejecutado en Cuenca, en comparación con alternativas que utilizaron exclusivamente agregados nuevos. Aunque este valor fue inferior al registrado en experiencias internacionales (14–34%),

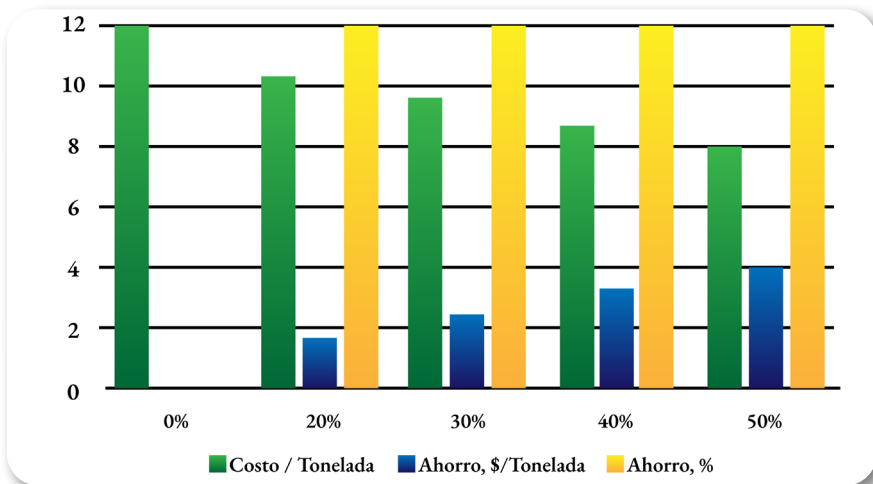


resultó significativo si se consideran las limitaciones tecnológicas del país. Esta diferencia de ahorro pudo reorientarse a otros fines sociales o ambientales.

Se confirmó, además, una relación directa entre el porcentaje de RAP utilizado y el ahorro económico. Por ejemplo, el uso de un 20 % de RAP permitió reducir los costos en un 14 %, mientras que un 50 % logró disminuirlos hasta en un 34 %, en comparación con mezclas compuestas únicamente por materiales vírgenes (Castro et al., 2022).

De forma complementaria, la FHWA presentó una tabla comparativa de ahorros basada en los proyectos analizados. Entre los beneficios operativos identificados se incluyeron: mayor rendimiento debido a la disponibilidad in situ de materiales, reducción de los tiempos de ejecución, menor uso de maquinaria, y mayor durabilidad del equipo. Además, se observaron diferencias de costo dependiendo de si el reciclaje fue realizado en frío o en caliente.

**Tabla 2.** Ahorro mediante uso de RAP



*Nota.* U.S. Department of Transportation (2020).



## Contribución de autores (CRediT)

Barros Calderón, Fernanda y Maza Espinoza, Freddy Geovanny participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Díaz-Muñoz, Fabián contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

## Referencias

- Campoverde Espinoza, D. E., & Uyaguari Perea, A. D. (2021). *Análisis comparativo estructural y económico de la rehabilitación de pavimentos con mezcla asfáltica reciclada y mezcla tradicional. Caso: Vía Guangarcucho – Jadán, provincia del Azuay [Tesis de grado, Universidad del Azuay]*. Repositorio UDA. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11294>
- Castro, J. E., Sabogal, D. J., & Fernández-Gómez, W. M. (2022). Análisis de ciclo de vida para mezclas asfálticas con inclusión de RAP: Impacto ambiental y emisiones de CO<sub>2</sub>. *Revista Ingeniería y Región*, 21(1), 56–68. <https://doi.org/10.25054/22154004.2933>
- Comisión Europea. (2025, abril 30). *Gestión de residuos y reciclaje: Políticas ambientales de la Unión Europea*. [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling_en)
- Copeland, A. (2011). *Reclaimed asphalt pavement (RAP) in asphalt mixtures: State of the practice (Report No. FHWA-HRT-11-021)*. Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/11021/11021.pdf>
- Cuesta, L., Vargas, M., Orozco, A., & Díaz, J. (2021). Potencial del reciclaje de pavimentos en la reducción de residuos de construcción y demolición. *Revista de Ingeniería Civil*, 18(2), 34–42.



Federal Highway Administration. (2018). *Reclaimed asphalt pavement in asphalt mixtures: A synthesis*. U.S. Department of Transportation.

Figueroa Infante, A. G., & Fonseca Santillana, C. M. (2020). *Diseño y evaluación de mezclas asfálticas con contenido de RAP en la ciudad de Quito [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]*. Repositorio UCE. <https://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21879>

Guayas, Prefectura del. (2025, mayo 5). *Actualización institucional sobre gestión vial y obras públicas*. <https://www.facebook.com/share/v/1GFpConb1s/?mibextid=wwXlfr>

(Nota. APA acepta redes sociales si son publicaciones institucionales verificables.)

Hansen, K. R., & Copeland, A. (2017). *Annual asphalt pavement industry survey on recycled materials and warm-mix asphalt usage: 2016*. National Asphalt Pavement Association. [https://www.asphaltpavement.org/PDFs/Engineering/NAPA\\_Survey\\_RAP\\_RAS\\_WMA\\_2016.pdf](https://www.asphaltpavement.org/PDFs/Engineering/NAPA_Survey_RAP_RAS_WMA_2016.pdf)

Huang, Y., Bird, R., & Heidrich, O. (2007). *A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements*. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1), 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.02.002>

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F., Ionkova, K., Millán, J. M., Poveda, R. A., Sarraf, M., Malkawi, F., Harinath, A. S., Banna, F., An, G., Imoto, H., & Leung, D. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050 (Urban Development Series)*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>

U.S. Department of Transportation. (2020). *Use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in highway construction projects: Case studies and best practices*. Federal Highway Administration.





# Implementación de asfalto fresado como alternativa de bajo costo de pavimentación tipo doble riego en calles de sectores periféricos

Reyes Estrella, Peter Leonard<sup>1</sup>; Pantaleón Sarsoza, Cristhian Osnar<sup>2</sup> & Vásquez-Monteros, Javier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, plreyes2@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, copantaleon@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, cjvasquez23@utpl.edu.ec

## Introducción

El pavimento flexible es una estructura compuesta por varias capas superpuestas y compactadas sobre la superficie del terreno, diseñada para resistir las cargas inducidas por el tránsito vehicular. Comúnmente, está conformado por la subrasante, subbase, base y una capa de rodadura o carpeta asfáltica. El espesor de estas capas varía en función de las cargas del tránsito, las condiciones de drenaje, la geología del terreno y los materiales empleados (Buitrago, 2022).

El pavimento asfáltico fresado o reciclado (RAP, por sus siglas en inglés) se refiere al material proveniente del fresado o remoción de pavimentos en procesos de reconstrucción o rehabilitación. Cuando este material es triturado y tamizado adecuadamente, puede generar agregados de alta calidad (López & Paredes, 2020), los cuales pueden utilizarse como capas de base o subbase en estructuras de pavimento flexible, permitiendo reducir el consumo de materia prima virgen.

Dada su utilidad, el incremento en el uso de asfalto reciclado en proyectos de infraestructura vial se ha consolidado como una estrategia clave a nivel global para reducir costos, disminuir el impacto ambiental y promover la sostenibilidad en la construcción de carreteras (Villacorta & Vargas, 2017; Zaumanis et al., 2014; Aurangzeb et al., 2015).

En Ecuador, las limitaciones presupuestarias y las políticas públicas han llevado a los profesionales de la ingeniería municipal a buscar soluciones viales más económicas, especialmente en zonas



periféricas. Una de estas estrategias es la incorporación de pavimento asfáltico reciclado en proyectos nuevos, práctica que actualmente se aplica en el departamento de Obras Públicas del GAD Municipal del cantón Huaquillas, provincia de El Oro.

El presente estudio busca demostrar la diferencia de costos entre la ejecución de un proyecto vial utilizando carpeta asfáltica tradicional frente a uno que emplea asfalto fresado bajo la técnica de doble riego. Esta técnica (también llamada doble tratamiento superficial) consiste en dos aplicaciones consecutivas de ligante asfáltico (usualmente emulsión), cada una seguida del esparcido y compactación de agregados, para conformar una capa delgada de sellado y rodadura.

## **Materiales y métodos**

La investigación se desarrolló en dos fases. La primera consistió en identificar las calles intervenidas con carpeta asfáltica y aquellas pavimentadas mediante el método de doble riego. La segunda fase, de enfoque cuantitativo, implicó el desglose y análisis de los precios unitarios (APU) de proyectos viales ejecutados en la ciudad de Huaquillas, con el objetivo de comparar los costos de ambos métodos de pavimentación.

El análisis de precios unitarios (APU) es una herramienta utilizada en la planificación de obras civiles que permite calcular el costo detallado de cada componente involucrado (Ocampo & Santiago, 2024). Para este estudio, se seleccionaron calles con características geométricas similares, intervenidas por el GAD Municipal de Huaquillas. En el caso de la carpeta asfáltica, se analizó la pavimentación de la calle Piñas, en el tramo comprendido entre la calle 15 de Agosto y la calle Velasco Ibarra, con una longitud de 835 metros. Para el método de doble riego, se estudió la calle Banderas, desde la calle García Moreno hasta la calle 17, con una longitud de 850 metros. Ambas calles presentan un ancho de 7 metros y un espesor de 5 cm en la capa de rodadura.





Los costos se calcularon por metro cuadrado de capa de rodadura, considerando el rendimiento de obra e incluyendo los gastos por equipos y herramientas, materiales, transporte y mano de obra. En el caso de la carpeta asfáltica, el APU contempla la mezcla producida en planta, así como la maquinaria especializada utilizada en su colocación. En contraste, el método de doble riego emplea material reciclado que se coloca directamente en el sitio, sin procesamiento en planta, utilizando maquinaria y adherentes específicos.

Para efectos comparativos, se excluyó el análisis del paquete estructural de las capas de subrasante, subbase y base, ya que en ambos casos se utilizó la misma configuración. Por tanto, el estudio se centró únicamente en la capa de rodadura.

En la carpeta asfáltica, esta capa está compuesta por una imprimación (mezcla de RC-250 y diésel industrial), seguida de la colocación de la mezcla asfáltica, la cual es compactada con rodillos vibratorios y neumáticos. Por su parte, en el método de doble riego, se inicia también con una imprimación (RC-250 + diésel industrial), luego se tiende y compacta el material reciclado con rodillo vibratorio, se aplica una capa de ligadura (asfalto RC-250) y, finalmente, una capa de polvo de roca, sellada con rodillo neumático.

## Resultados

Los resultados de la comparación de rubros con APU evidencian una diferencia significativa en función de los materiales y procesos involucrados, como se muestra en la Tabla 1 y 2.

**Tabla 1.** *Clasificación de rubros en pavimentación con carpeta asfáltica*

Descripción	Precio (m <sup>2</sup> )
<b>Equipo y herramienta</b>	
Cargadora frontal	0,27
Planta asfáltica	2,00
Terminadora de asfalto	0,65
Rodillo Vibratorio	0,32
Rodillo Neumático	0,30
Tanquero distribuidor de asfalto (imprimación)	0,14
<b>Materiales</b>	
Asfalto AC-20	2,66
Material pétreo para agregado asfáltico	1,32
Aditivo para carpetas asfálticas	0,11
Asfalto RC-250 (imprimación)	0,25
Diesel industrial	0,38
<b>Transporte</b>	
Transporte de mezcla asfáltica	0,085
<b>Mano de Obra</b>	
Peón (x8)	0,32
Operador de cargadora frontal	0,05
Operador de planta asfáltica	0,04
Operador de rodillo autopropulsado (x2)	0,09
Operador de acabadora asfáltica	0,04
Operador de Distribuidor de asfalto (imprimación)	0,02
Técnico obras civiles	0,04
<b>TOTAL (precio por m<sup>2</sup>)</b>	<b>9,09</b>

**Tabla 2.** *Clasificación de rubros para pavimentación tipo doble riego con asfalto fresado*

Descripción	Precio (m <sup>2</sup> )
<b>Equipo y herramienta</b>	
Cargadora frontal	0,27
Motoniveladora	0,45
Rodillo Vibratorio	0,32
Rodillo Neumático	0,30
Tanquero distribuidor de asfalto (imprimación)	0,14
Tanquero distribuidor de asfalto (ligante)	0,05
<b>Materiales</b>	
Asfalto fresado (reciclaje)	0,00
Asfalto RC-250 (imprimación)	0,25
Asfalto RC-250 (ligante)	0,15
Diesel industrial	0,38
Polvo de roca	0,04
<b>Transporte</b>	
Transporte de material fresado	0,085
<b>Mano de Obra</b>	
Peón (x8)	0,32
Operador de cargadora frontal	0,05
Operador de motoniveladora	0,05
Operador de rodillo autopropulsado (x2)	0,09
Operador de Distribuidor de asfalto (imprimación)	0,02
Operador de Distribuidor de asfalto (ligante)	0,01
Técnico obras civiles	0,04
<b>TOTAL, precio por m<sup>2</sup></b>	<b>3,02</b>

De esta manera, se demostró que la implementación de asfalto fresado como pavimentación tipo doble riego representa un ahorro del 66,81% con respecto a la carpeta asfáltica tradicional y cumple satisfactoriamente con las necesidades viales.



## Contribución de autores (CRediT)

Reyes Estrella, Peter Leonard y Pantaleón Sarsoza, Cristhian Osnar participaron principalmente en la conceptualización, desarrollo metodológico, recolección y análisis de datos, así como en la redacción del borrador original del artículo. Vásquez-Monteros, Javier contribuyó con la revisión crítica del contenido, corrección de estilo, validación del modelo propuesto y supervisión general del manuscrito.

## Referencias

- Argüello, F., & Moya, J. (2023, enero). *Mezclas asfálticas con RAP, pavimentos asfálticos reciclados*. *Revista Infraestructura Vial*, 14–28. Recuperado de PITRA-LanammeUCR.
- Buitrago, V. (2022). *Revisión de literatura sobre el uso de asfalto flexible reciclado (RAP) como alternativa para la pavimentación de vías terciarias y el efecto económico en la construcción y mantenimiento de la vía*. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/a80b8ad6-15f1-43af-89e5-40797a94fa7a>
- López, P., & Paredes, D. (2020). *Reutilización de hormigón asfáltico reciclado procedente de proyectos de recapeo para su uso como base y subbase en pavimentos flexibles [Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca]*. Repositorio UCACUE. <https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core>
- Ocampo, M., & Santiago, K. (2024, julio). *Comparación de costos entre pavimentos flexibles y rígidos*. Universidad Católica de Cuenca.
- Villacorta, L., & Vargas, N. (2017). *Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP)*. *Infraestructura Vial*, 19(33), 35–44.



- Zaumanis, M., Mallick, R. B., & Frank, R. (2014). *100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis*. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 230–245. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.006>
- Aurangzeb, Q., Al-Qadi, I. L., Ozer, H., & Yang, R. (2015). *Hybrid life cycle assessment for asphalt mixtures with high RAP content*. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.01>





# Gestión vial para el mantenimiento rutinario en vías lastradas mediante microempresas o asociaciones viales constituidas legalmente

Pesantez Ruiz, Gustavo<sup>1</sup>; Dávila Alcívar, Dario<sup>2</sup> & Díaz-Muñoz, Fabián<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, pesantezgus@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, dariodavila83@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, fpdiaz@hotmail.com

## Introducción

La gestión y el mantenimiento de la infraestructura vial en Ecuador constituyen un aspecto fundamental para garantizar la seguridad, la transitabilidad y la sostenibilidad del eje vial, el cual se encuentra distribuido entre distintas entidades públicas. Específicamente, las vías estatales son administradas por el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTOP); las vías provinciales corresponden a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Provinciales; las vías cantonales, a los GAD Municipales; y las vías rurales, a los GAD Parroquiales.

La gestión vial, entendida como la conducción proactiva del organismo gestor hacia el cumplimiento de metas a largo plazo, implica una planificación eficiente, acciones preventivas que minimicen el deterioro y el fortalecimiento de capacidades para la toma oportuna de decisiones (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2018). Sin embargo, actualmente no existe una política consolidada para la gestión del mantenimiento rutinario, lo cual ha derivado en un deterioro progresivo de las vías bajo su jurisdicción, un aumento en los costos de reparación y una disminución de la seguridad vial.

Desde 2018, el MTOP ha generado 2376 fuentes de empleo mediante microempresas viales encargadas del mantenimiento de 6.578 kilómetros del eje vial estatal, lo que evidencia la potencialidad de modelos de gestión descentralizada para la conservación de la infraestructura (MTOP, 2018). A nivel internacional, se han documentado experiencias exitosas en países como Perú, donde los



modelos de mantenimiento rutinario implementados han logrado extender la vida útil de las carreteras y reducir los costos operativos (CONCOPE & OIT, 1999; Japan International Cooperation Agency [JICA], 2016)

En el contexto ecuatoriano, el convenio de cooperación firmado en 1999 entre el CONCOPE y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) permitió capacitar a los consejos provinciales e implementar experiencias piloto de mantenimiento a través de asociaciones viales. Como resultado, en la provincia del Azuay se conformaron dos microempresas que atendieron 49 km de vías en tres cantones, generando empleo directo e indirecto y contribuyendo a la sostenibilidad del eje vial provincial (CONCOPE & OIT, 1999).

El presente proyecto aborda la problemática del deterioro de las vías a nivel local, proponiendo un modelo de gestión vial que facilite la conservación de la infraestructura mediante la participación de microempresas viales. El objetivo principal de esta investigación es diseñar e implementar un esquema de gestión vial sostenible que optimice el uso de los recursos y fortalezca las capacidades locales para mantener el eje vial en condiciones óptimas. Este enfoque busca alinearse con experiencias internacionales y contribuir a la seguridad y resiliencia de la movilidad comunitaria.

En la Figura 1 se observa la labor de la Microempresa Manos Unidas en el cantón Sígig, parroquias de Cutchil y Ludo.

**Figura 1.** Limpieza de cunetas. Microempresa Manos Unidas, vía Cutchil-Ludo, 24 Km longitud, Sígig, Azuay







## Materiales y métodos

Se conformó un equipo promotor conformado por un promotor técnico, ingeniero civil, encargado de las zonas de intervención y los caminos que se incorporarían al sistema de mantenimiento en microempresas. Este profesional realizó capacitaciones técnicas, supervisó los trabajos en campo y autorizó los pagos de acuerdo con el avance físico de los trabajos. Además, se contó con un promotor social, quien desempeñó funciones de coordinador y articulador de las acciones operativas relacionadas con la promoción, capacitación y conformación de las microempresas. Y, por último, se incluyó un promotor legal, responsable de la constitución de las microempresas y de la formulación y firma de los contratos de servicios entre las microempresas y la entidad correspondiente.

Como proyecto piloto, se conformaron dos microempresas viales en el año 2000, y hasta 2005 se sumaron otras cuatro, las cuales están indicadas en la Tabla 1. En el período comprendido entre 2000 y 2005, se mantuvo un total de 114,6 km de vías, con un ancho de calzada de 7,0 m. En estas actividades participaron 57 socios en total, de los que el 20% correspondió a género femenino. Se generaron 57 empleos directos, y por el tiempo de mantenimiento rutinario, las vías se mantuvieron expeditas, lo que redujo los tiempos de desplazamiento, generó ahorros en el mantenimiento de los vehículos y mejoró la seguridad tanto para los usuarios del transporte público como privado. Asimismo, esta modalidad propició un ahorro significativo para el Gobierno Provincial del Azuay, dado que el mantenimiento periódico se extendió en el tiempo durante la ejecución de los trabajos de mantenimiento rutinario manual.

**Tabla 1.** *Microempresas conformadas en la Provincia del Azuay, período 2000-2005*

Nombre Microempresa	Vía mantenida	Longitud (km)	Cantón	Número de Socios
<b>Manos Unidas</b>	Cutchil-Ludo	24	Sígsig	12
<b>Unión y Progreso</b>	Lentag-La Asunción-San Fernando	22,5	Girón-Santa Isabel	11
<b>Alianza y Progreso</b>	Chordelég-Principal-Puente Zhio	18	Chordeleg-Sígsig	9
<b>Unión y Trabajo Guel</b>	Sígsig-Guel-Puente Zhio	13	Sígsig	7
<b>Microempresa de Producción Sinincay</b>	Anillo vial de Sinincay	18,5	Cuenca	9
<b>La Esperanza</b>	Anillo vial de El Valle	18,6	Cuenca	9
<b>TOTAL</b>		114,6		57

*Nota.* Elaboración propia a partir de datos del Departamento de Obras Públicas del Gobierno Provincial del Azuay (2005).

El análisis de los datos obtenidos en el proyecto piloto de mantenimiento vial rutinario, llevado a cabo por el Departamento de Obras Públicas de la Prefectura del Azuay, permitió establecer parámetros claves en relación con la frecuencia del mantenimiento periódico y la reconfiguración de la capa de rodadura, así como los costos asociados con ambas alternativas de una carretera (ver Tabla 2).

**Tabla 2.** *Costo del mantenimiento vial por km con equipo caminero (costos referenciales año 2004)*

Descripción	Costo x km de mantenimiento (US\$)	No. mantenimientos durante periodo	Costo en 2 años (US\$)	Costo en 1 año (US\$)
<b>Mantenimiento periódico (cada 2 años)</b>	9500	1	9500	4750
<b>Reconfiguración de la capa de rodadura (Equipo caminero, motoniveladora, retroexcavadora, rodillo vibratorio, camión cisterna)</b>	2500	3	7500	3750
<b>Costo anual de mantenimiento vial (sin considerar mantenimiento emergente)</b>	8500			

*Nota.* Datos referenciales del mantenimiento vial en el Azuay (2004).



En la Tabla 2 se presenta el costo referencial del mantenimiento vial por kilómetro utilizando equipo caminero, correspondiente al año 2004. Las acciones de mantenimiento periódico (cada dos años) y la reconformación de la capa de rodadura, además del mantenimiento regular del equipo caminero (motoniveladora, retroexcavadora, rodillo vibratorio y camión cisterna), muestran que el costo total en dos años por km alcanza los US\$ 9 500, con un costo anual de US\$ 4 750. El costo anual de la reconformación de la capa de rodadura es de US\$ 3 750, dando un valor total por año de mantenimiento tradicional con maquinaria de US\$ 8 500.

Por otro lado, en la Tabla 3 se muestran los valores relacionados con el mantenimiento microempresas, también referenciados al año 2004. La inversión por km en dicha metodología, con una frecuencia de mantenimiento rutinario cada cuatro años, equivale a US\$ 9 500 en total, con un cargo anual medio de US\$ 2 375. Además, si se consideran cuatro intervenciones en el mismo periodo, el costo promedio anual es de US\$ 1 580. Al comparar los costos de mantenimiento para 1 año (Tabla 2 y Tabla 3), se refleja un ahorro importante en comparación con el costo tradicional, del 53,47%. Los costos operativos asociados a las microempresas incluyen mantenimiento y operatividad de equipos, además de los socios legales acreditados, lo que garantiza formalidad y sostenibilidad del proceso.

**Tabla 3.** Costo del mantenimiento vial por Km con Microempresa vial (costos referenciales año 2004)

Descripción	Costo x km de mantenimiento (US\$)	No. mantenimientos durante periodo	Costo en 2 años (US\$)	Costo en 1 año (US\$)
<b>Mantenimiento periódico (cada 4 años)</b>	9500	1	9500	2375
<b>Mantenimiento rutinario mediante microempresas viales (Socios legalmente constituidos)</b>	1580	4	6320	1580
<b>Costo anual de mantenimiento vial (sin considerar mantenimiento emergente)</b>	3955			

*Nota.* Elaboración propia a partir de datos del Departamento de Obras Públicas del Gobierno Provincial del Azuay (2005).



Los resultados del proyecto piloto evidencian que el empleo de microempresas viales representa una alternativa eficaz y favorable para la gestión vial en el contexto del Azuay, logrando significativos ahorros en costos. La optimización en la utilización de la maquinaria de la Prefectura permitió destinar recursos a otros tramos viales, incrementando la cobertura y la frecuencia de atención. Además, la implementación de este sistema facilitó la generación de empleo directo para 57 familias, promoviendo el desarrollo social en la zona.

Desde el aspecto técnico, se evidencia que el mantenimiento rutinario realizado en la vía Cutchil - Ludo se pudo extender hasta los seis años sin pérdida significativa en el tránsito, lo que muestra la durabilidad y eficiencia del sistema.

En conclusión, la experiencia del proyecto piloto valida la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento vial con microempresas, el cual no solo ofrece un ahorro sustancial en los costos de mantenimiento, sino que también contribuye a mejorar la cobertura, la generación de empleo y la sostenibilidad de la infraestructura vial en el Azuay. Como recomendación práctica en ingeniería vial, esta modalidad puede ser replicada y adaptada a diferentes contextos regionales.

### **Contribución de autores (CRediT)**

Pesantez Ruiz, Gustavo y Dávila Alcívar, Dario participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Díaz-Muñoz, Fabián contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.



## Referencias

- CONCOPE & Organización Internacional del Trabajo. (1999). *Convenio de cooperación para la capacitación en mantenimiento vial*. Quito, Ecuador.
- Jiménez Galán, R. A. (2006). *Microempresas viales como un sistema alternativo vial en la Provincia del Azuay 2000–2006 [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2739>
- JICA (Japan International Cooperation Agency). (2016). Sustainability of rural road maintenance through community-based microenterprises in Latin America. *JICA Research Institute*. [https://www.jica.go.jp/jica-ri/publication/other/lrg1wn0000004zcf-att/Sustainability\\_Rural\\_Roads.pdf](https://www.jica.go.jp/jica-ri/publication/other/lrg1wn0000004zcf-att/Sustainability_Rural_Roads.pdf)
- Menéndez, J. R. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas: Manual técnico*. Lima: OIT/Oficina Subregional de los Países Andinos. <https://webapps.ilo.org/public/spanish/employment/recon/eiip/download/mcrrmantec.pdf>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2018). Informe de gestión de microempresas viales. Quito, Ecuador.
- Organización Internacional del Trabajo. (2018). *Gestión vial y sostenibilidad*. Ginebra, Suiza.
- Salomón, E. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas: Guía conceptual*. Lima: OIT/Oficina Subregional de los Países Andinos. [https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/romar\\_mt.pdf](https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/romar_mt.pdf)





# Incorporación de plástico PET reciclado en mezclas asfálticas como una alternativa sostenible para mejorar la infraestructura vial en Quito

Lamiña, Jimmy<sup>1</sup>; Náveda, Ángel<sup>2</sup>; Naula, Byron<sup>3</sup> & Zúñiga-Suárez, Alonso<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jclamina@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, agnabveda@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, bgnaula@utpl.edu.ec

<sup>4</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, arzunigax@utpl.edu.ec

## Introducción

En los últimos años, la ingeniería vial ha puesto una atención creciente en la sostenibilidad ecológica. Las naciones desarrolladas están dando prioridad a la creación de pavimentos que, además de ser resistentes y económicos, generen el menor daño posible al medio ambiente (Baradaran & Ameri, 2025). En este contexto, investigadores han estado estudiando estrategias para generar procesos y materiales más sostenibles, como el uso de asfalto templado (Warm Mix Asphalt, WMA) y la reincorporación de materiales reciclados, tales como residuos plásticos, asfalto recuperado (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) y caucho pulverizado, entre otros (Baradaran & Ziaee, 2025; Wang et al., 2022).

Los plásticos han desempeñado un papel clave en la vida humana y han contribuido significativamente al desarrollo y progreso de la sociedad en múltiples aspectos. Debido a su baja densidad, alta resistencia, facilidad de diseño, procesabilidad, durabilidad y bajo costo, los plásticos son adecuados para una amplia variedad de aplicaciones (Evide et al., 2021). Las estadísticas muestran que, desde 1950, la fabricación mundial de plástico ha aumentado en promedio un 2,7% anual, y se espera que alcance aproximadamente 800 millones de toneladas por año para 2050. Investigaciones realizadas en diversos países evidencian que, a mayor desarrollo económico, mayor es el consumo de productos plásticos (Hossain et al., 2022; Pan et al., 2020).



Frente a esta problemática, la ingeniería civil busca alternativas sostenibles que permitan reutilizar materiales reciclables en obras de infraestructura, especialmente en el ámbito vial. Investigaciones previas han demostrado el potencial del tereftalato de polietileno (PET) reciclado como aditivo en mezclas asfálticas, mejorando propiedades como la estabilidad, la resistencia a la deformación y la durabilidad del pavimento (Cabrera, 2021; Modarres & Hamed, 2014).

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica y ambiental de incorporar PET triturado en mezclas asfálticas en caliente, utilizando agregados procedentes de la mina del río Pita. Para ello, se comparan mezclas convencionales con otras modificadas con PET, con el fin de analizar sus propiedades mecánicas y reológicas. Los resultados permitirán valorar el potencial del PET reciclado como modificador sostenible en pavimentos asfálticos, aportando al desarrollo de soluciones más responsables y eficientes en la ingeniería vial local.

## **Materiales y métodos**

Los materiales fueron seleccionados conforme a las especificaciones de las normas ASTM C33 y AASHTO M 147, garantizando su idoneidad mediante la verificación de sus propiedades físicas. El agregado grueso consistió en una grava silícea triturada con tamaño nominal máximo de 19 mm, cuyas características físicas —como la angularidad y la resistencia al pulimento— favorecieron la adherencia y la estabilidad en la capa de rodadura. Se empleó arena natural como agregado fino, libre de materia orgánica y con un módulo de finura entre 2,3 y 3,1, lo que mejoró la trabajabilidad de la mezcla. Como filler se utilizó polvo calizo, con alta fracción pasante por el tamiz n.º 200, lo que contribuyó a la cohesión interna y a la resistencia frente a esfuerzos de corte.



El ligante empleado fue cemento asfáltico tipo AC-20 (Ramírez & Castro, 2002), clasificado según AASHTO M 226. Este presentó propiedades adecuadas para su aplicación, con una penetración de 60–70 décimas de milímetro a 25 °C, punto de ablandamiento entre 48 y 52 °C, viscosidad de 0,20–0,30 Pa·s a 135 °C y ductilidad superior a 100 cm. Dichas propiedades aseguraron un adecuado equilibrio entre rigidez y flexibilidad frente a variaciones térmicas y cargas vehiculares.

Como aditivo modificador se empleó tereftalato de polietileno (PET) reciclado, proporcionado por Enkador S.A., en forma de escamas provenientes de botellas posconsumo. Estas fueron trituradas y tamizadas hasta obtener un tamaño entre 2,36 y 4,75 mm, ajustado a la granulometría del agregado fino. El PET presentó una densidad entre 1,35 y 1,39 g/cm<sup>3</sup>, temperatura de fusión de 250–260 °C y resistencia a la tracción entre 55 y 75 MPa, lo que permitió su incorporación térmica sin degradación estructural. Estas características contribuyeron a incrementar la rigidez de la matriz asfáltica y mejorar su comportamiento frente a la deformación plástica a altas temperaturas (Kalantar et al., 2012; Ahmadinia et al., 2011). Las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y dieléctricas del PET se presentan en la Tabla 1.

El diseño de mezcla se basó en la metodología de mezcla densa tipo MD-12, conforme a la norma INEN 3048, priorizando una distribución granulométrica continua para optimizar el empaquetamiento de partículas. El PET reciclado reemplazó parcialmente al agregado fino en proporciones de 1%, 2% y 3% respecto al peso total. Antes de su incorporación, fue lavado y secado para remover impurezas que pudieran afectar la adherencia con el ligante. Tanto los agregados como el PET fueron calentados a 160 °C y posteriormente mezclados con el ligante a 150 °C durante 90 s, empleando un mezclador mecánico para garantizar la homogeneidad de la matriz. Estas temperaturas se consideran estándar para la producción de mezcla asfáltica en caliente (Asphalt Institute, 2014).



Las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas se evaluaron mediante ensayos de laboratorio. Se determinó la estabilidad y el flujo mediante el ensayo Marshall (ASTM D6927), el contenido de vacíos de aire según ASTM D3203 y la resistencia a la humedad mediante el procedimiento AASHTO T 283, que incluyó ciclos de saturación y congelación para evaluar la pérdida de estabilidad. La susceptibilidad térmica se analizó mediante el ensayo de rigidez dinámica conforme a AASHTO T 307, cubriendo un rango de temperaturas entre 0 °C y 60 °C, con el objetivo de caracterizar el comportamiento viscoelástico bajo condiciones reales de servicio.

**Tabla 1.** *Propiedades del tereftalato de polietileno (PET)*

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,34–1,39
Resistencia a la tensión	MPa	59–72
Resistencia a la compresión	MPa	76–128
Resistencia al impacto (Izod)	J/mm	0,01–0,04
Dureza	—	Rockwell M94–M101
Dilatación térmica	10 <sup>-4</sup> /°C	15,2–24
Resistencia al calor	°C	80–120
Absorción de agua (24 h)	%	0,02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto de luz solar	—	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	—	Excelente
Calidad óptica	—	Transparente–opaco
Temperatura de fusión	°C	244–260

Los resultados fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , lo que permitió identificar diferencias estadísticamente significativas entre las mezclas convencionales y las modificadas con PET. Para garantizar la validez de los ensayos, se utilizaron equipos calibrados bajo



normas internacionales, incluidos un compactador Marshall (ASTM D6926), un horno de secado con control térmico ( $110 \pm 5$  °C), tamices normalizados según ASTM E11 y un viscosímetro rotacional (ASTM D4402).

## Resultados

Los agregados pétreos empleados cumplieron con los requisitos establecidos por las normas ASTM, AASHTO y NTE INEN, confirmando su idoneidad para mezclas asfálticas. El agregado grueso presentó una gravedad específica bulk de  $2,500 \text{ g/cm}^3$  y una gravedad específica aparente de  $2,648 \text{ g/cm}^3$ , mientras que el agregado fino mostró valores de  $2,513 \text{ g/cm}^3$  y  $2,567 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. La absorción de agua fue moderada: 2,22% para el agregado grueso y 3,30% para el intermedio, lo cual influye directamente en la cantidad de ligante necesaria durante el diseño de la mezcla.

El ensayo de desgaste Los Ángeles arrojó resultados de 34,20% y 33,69%, evidenciando una resistencia aceptable a la abrasión. Además, el equivalente de arena fue del 78%, lo que indica una baja presencia de finos arcillosos y favorece la adherencia del ligante.

En cuanto al cemento asfáltico tipo AC-20, este cumplió con la norma ASTM D3381. Se registró una viscosidad a 60 °C de 229,189 Pa·s, un punto de inflamación de 289 °C (superior al mínimo exigido de 232 °C) y una ductilidad de 53 cm. Estas propiedades aseguran una adecuada capacidad de deformación sin fractura, esencial para su desempeño ante cargas repetidas y variaciones térmicas.

El diseño de mezcla convencional, con un contenido óptimo de asfalto del 7,2%, alcanzó una estabilidad Marshall de 3.560 lbf, cumpliendo con los estándares para pavimentos sometidos a tráfico pesado. No obstante, presentó un flujo de 17 in/100, ligeramente superior al rango recomendado (8–14 in/100), lo que sugiere cierta



susceptibilidad a la deformación plástica. El porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) fue del 77%, valor que también supera el rango óptimo (65–75 %), lo cual podría incrementar el riesgo de exudación.

La mezcla modificada con 5 % de PET reciclado mostró una mejora del 3,9 % en la estabilidad Marshall (3.700 lbf) y un aumento en la densidad aparente (2,390 g/cm<sup>3</sup>). Sin embargo, este refuerzo estructural se acompañó de un flujo elevado (19 in/100) y un VFA del 80 %, evidenciando una condición de sobrecompactación que puede comprometer la durabilidad del pavimento bajo altas temperaturas.

Respecto al comportamiento térmico, el módulo resiliente confirmó una mayor rigidez en la mezcla modificada a todas las temperaturas evaluadas. A 10 °C, alcanzó 4.800 MPa frente a los 4.200 MPa de la mezcla convencional; a 20 °C, 3.100 MPa frente a 2.700 MPa; y a 40 °C, 1.400 MPa frente a 1.100 MPa. Esta rigidez adicional sugiere una menor susceptibilidad térmica y una mejor resistencia estructural en climas fríos, aunque también implica un mayor riesgo de agrietamiento bajo carga repetida (ASTM D7369).

En síntesis, la incorporación de PET reciclado mejoró algunas propiedades mecánicas y térmicas de la mezcla, pero también introdujo desventajas en condiciones de calor o tráfico intenso, como el incremento del flujo y del VFA, además de un costo adicional de USD 9,33 por m<sup>3</sup>. Por tanto, su aplicación resulta recomendable en zonas de clima frío, donde la rigidez estructural es prioritaria. No obstante, se desaconseja su uso en regiones cálidas debido a la posible pérdida de desempeño por deformación plástica (Modarres & Hamedi, 2014; Ossa et al., 2016).

### **Contribución de autores (CRediT)**

Lamiña, Náveda y Naula, participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Zúñiga Suárez contribuyó con la revisión crítica,



edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

## Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2019). *AASHTO M 147: Standard specification for materials for aggregate and soil-aggregate subbase, base, and surface courses*. Washington, DC.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2019). *AASHTO M 226: Standard specification for viscosity-graded asphalt cement*. Washington, DC.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2019). *AASHTO T 283-19: Standard method of test for resistance of compacted asphalt mixtures to moisture-induced damage*. <https://www.transportation.org/>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (n.d.). *AASHTO T 307: Standard method of test for determining the resilient modulus of soils and aggregate materials*. Washington, DC.
- Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., & Shafigh, P. (2011). *Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt*. *Materials & Design*, 32(10), 4844–4849. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.016>
- Asphalt Institute. (2014). *MS-2: Asphalt mix design methods (7th ed.)*. Asphalt Institute.
- ASTM International. (2022). *ASTM C33/C33M-22: Standard specification for concrete aggregates*. <https://www.astm.org>



- ASTM International. (2020). *ASTM D6927-20: Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures*. <https://www.astm.org>
- ASTM International. (2022). *ASTM D6926: Standard practice for preparation of bituminous specimens using Marshall apparatus*. <https://www.astm.org>
- ASTM International. (2017). *ASTM D3203-17: Standard test method for percent air voids in compacted dense and open asphalt mixtures*. <https://www.astm.org>
- ASTM International. (2020). *ASTM D3381: Standard specification for viscosity-graded asphalt cement for use in pavement construction*.
- ASTM International. (2020). *ASTM D7369: Standard test method for determining the resilient modulus of bituminous mixtures by repeated load indirect tension*.
- ASTM International. (2022). *ASTM E11: Standard specification for woven wire test sieve cloth and test sieves*.
- Baradaran, S., & Ameri, M. (2025). *Durable and sustainable warm mix asphalt pavement using value-added recycled PET*. *Case Studies in Construction Materials*, 23, Article e05362. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05362>
- Baradaran, S., & Ziaee, S. A. (2025). *Review of the mechanical properties of asphalt pavement reinforced with natural plant fibers as an eco-friendly solution in pavement engineering*. *Road*, 33(123), 167–192.
- Cabrera Sendoya, L. V. (2021). *Influencia del uso de PET reciclado como reemplazo de agregados en la respuesta mecánica y durabilidad de mezclas asfálticas*.
- Evode, N., Qamar, S. A., Bilal, M., Barceló, D., & Iqbal, H. M. (2021). *Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability*. *Case Studies in Chemical and*

- Environmental Engineering*, 4, 100142. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100142>
- Hossain, R., Islam, M. T., Ghose, A., & Sahajwalla, V. (2022). Full circle: Challenges and prospects for plastic waste management in Australia to achieve circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133127>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2021). NTE INEN 3048: Cemento. Requisitos. Quito, Ecuador.
- Kalantar, M. A. (2012). Improving mechanical properties of asphalt concrete by adding waste plastic (PET) as aggregate. *Journal of Applied Sciences*, 12(3), 273–277.
- Modarres, A., & Hamed, H. (2014). *Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes*. Materials & Design, 61, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.04.022>
- Ossa, E. A., García, J. L., & Botero, J. C. (2016). Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros y caucho reciclado para pavimentos en regiones cálidas. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 31(3), 209–218. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732016000300003>
- Pan, D., Su, F., Liu, C., & Guo, Z. (2020). Research progress for plastic waste management and manufacture of value-added products. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 3(4), 443–461. <https://doi.org/10.1007/s42114-020-00192-9>
- Ramírez, L., & Castro, P. (2002). *Efecto de la viscosidad del ligante asfáltico sobre las propiedades de la mezcla asfáltica*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme), Universidad de Costa Rica.



Wang, W., Cheng, H., Sun, L., Sun, Y., & Liu, N. (2022). Multi-performance evaluation of recycled warm-mix asphalt mixtures with high reclaimed asphalt pavement contents. *Journal of Cleaner Production*, 377, 134209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134209>









# **Análisis comparativo entre los procesos de diseño y construcción tradicional y la aplicación de la metodología BIM en infraestructura vial**

Guevara-Zambrano, Nathaly<sup>1</sup>; Miño-Chávez, Jefferson<sup>2</sup> & Carrión-Coronel, Eduardo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, nmguevara2@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jrmino3@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, efcarrion@utpl.edu.ec

## **Introducción**

El diseño y la construcción de infraestructura vial se han desarrollado tradicionalmente mediante modelos bidimensionales, en los cuales la cuantificación de materiales se realiza manualmente. Este enfoque presenta limitaciones significativas, como la inexactitud en la estimación de materiales, lo que puede generar incrementos de costo y desviaciones en el cronograma del proyecto.

Según Cañón Buitrago *et al.* (2023), la metodología Building Information Modeling (BIM) surge como una alternativa innovadora que optimiza los procesos de diseño y construcción mediante una estructura organizada y parametrizada. Esta metodología no solo permite la visualización tridimensional del diseño vial y sus componentes, sino que también incrementa la precisión en la cuantificación de materiales, proporcionando datos más exactos que contribuyen a una mejor gestión de recursos y a la reducción de desperdicios.

Además, el uso de BIM en el ámbito vial favorece una mayor integración entre las distintas disciplinas involucradas en el proyecto, facilitando la comunicación y la coordinación entre los diferentes profesionales participantes.

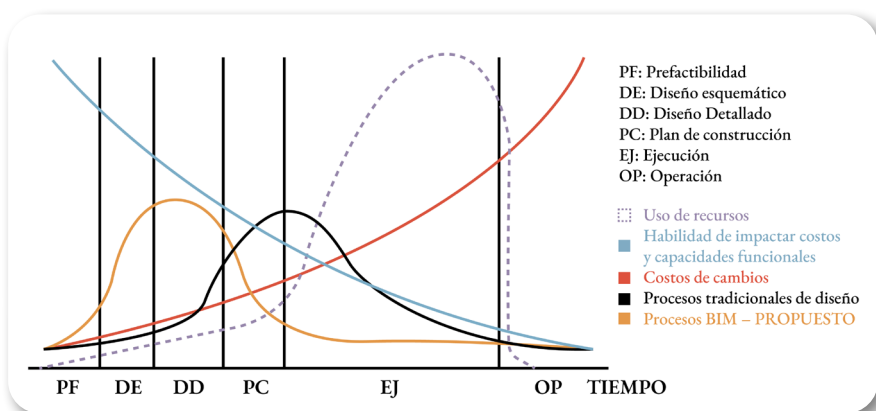
La metodología BIM se alinea con la curva de Patrick MacLeamy, la cual permite comparar el desarrollo de los proyectos bajo este enfoque frente al método tradicional (BIMP SAS, 2021).



En la Figura 1 se observa que, en el enfoque tradicional (curva negra), la mayor inversión de recursos se concentra al inicio de la etapa de ejecución y disminuye progresivamente. Esto se debe a que, una vez iniciada la obra, suelen presentarse inconvenientes derivados de un diseño poco eficiente o de la falta de coordinación entre disciplinas, ocasionando un incremento en el consumo de recursos.

Por otro lado, al aplicar la metodología BIM (curva amarilla), la mayor inversión de recursos se concentra en la etapa de diseño detallado. Este enfoque permite realizar un análisis exhaustivo de interferencias y detectar posibles conflictos antes del inicio de la construcción, lo que optimiza la planificación y reduce significativamente el consumo de recursos durante la fase de ejecución (Alianza BIM, 2022).

**Figura 1.** Ciclo de vida de un proyecto de acuerdo a la curva de Patrick MacLeamy



Además, se observa que, utilizando el método tradicional (curva naranja), los costos iniciales no son evidentes. Sin embargo, a medida que avanza la construcción, estos aumentan significativamente, generando modificaciones en el presupuesto inicial y afectando la planificación financiera del proyecto.

Por otro lado, al aplicar la metodología BIM, se requiere una inversión mayor en las etapas iniciales. No obstante, conforme avanza la ejecución del proyecto, los costos tienden a disminuir, optimizando



el uso de recursos y mejorando la rentabilidad. La situación en Ecuador refleja una transición gradual hacia métodos más eficientes, siendo las empresas privadas las primeras en implementar esta metodología.

Alianza BIM (2022) señala que, bajo la metodología tradicional, los proyectos presentan hasta un 92% de retrasos y un 130% de sobre costos, cifras que evidencian la necesidad de adoptar sistemas de planificación y control más robustos. La incorporación de BIM puede reducir significativamente estos problemas.

En síntesis, mientras que el método tradicional presenta incrementos progresivos en costos durante la construcción (debido a ajustes no previstos y problemas de coordinación) el enfoque BIM concentra su inversión en el diseño detallado, permitiendo anticipar conflictos, mejorar la toma de decisiones y reducir sustancialmente los costos durante la ejecución. En Ecuador, este cambio metodológico continúa en desarrollo, con el sector privado liderando la adopción hacia prácticas más eficientes y sostenibles.

## **Materiales y métodos**

Se realizó un análisis de proyectos viales, tanto a nivel nacional como internacional, en los cuales se ha implementado la metodología BIM. De acuerdo con un proyecto de investigación vial desarrollado por la Universidad Católica de Colombia, la metodología aplicada se estructuró en tres etapas fundamentales: recolección de información, construcción del modelo y análisis comparativo entre la metodología BIM y el método tradicional (Marín & Moyano, 2023).

Para el desarrollo y diseño del proyecto vial se emplearon diversos *softwares* especializados. El modelado y la cuantificación de la información de construcción se realizaron mediante Revit, mientras que Navisworks se utilizó para la visualización, coordinación y seguimiento del avance conforme al cronograma. Asimismo, se



efectuó una comparación entre la programación real del proyecto y aquella obtenida mediante la aplicación de BIM, además de analizar los rendimientos asociados a los Análisis de Precios Unitarios (APU).

Adicionalmente, se evaluó un proyecto desarrollado en Ecuador, en la provincia de Pichincha, con una longitud de 13 km. Inicialmente, el trazado se efectuó bajo el método tradicional; sin embargo, posteriormente se implementó la metodología BIM con el objetivo de verificar las cuantificaciones y optimizar el diseño vial.

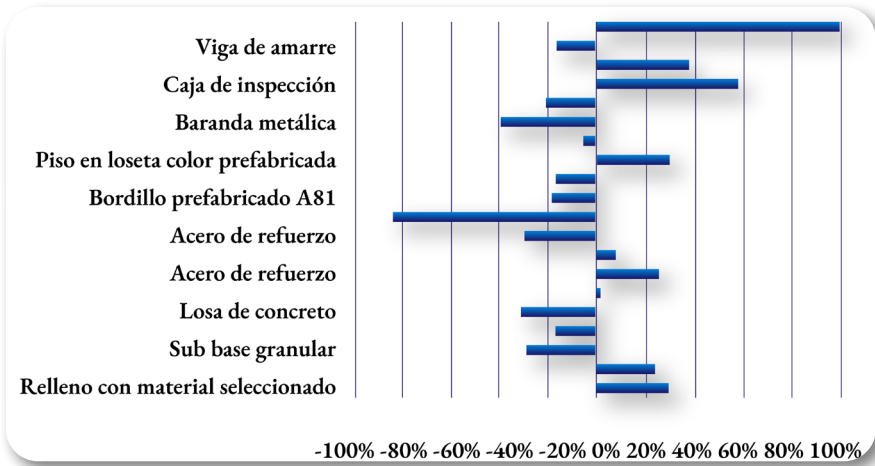
En este caso, el trabajo comenzó utilizando el *software* Civil 3D, donde se ejecutaron el diseño geométrico, las cuantificaciones preliminares e incluso un rediseño vial debido a problemas identificados en el trazado inicial. Posteriormente, el modelado continuó en Revit, donde se realizó la cuantificación detallada de los materiales correspondientes a las obras de arte. Finalmente, se integró el proyecto completo mediante un *software* de coordinación, con el fin de consolidar toda la información y planificar el proceso constructivo.

Aunque la aplicación principal de esta metodología se centró en las fases de diseño y construcción, la información generada también permite planificar de manera más eficiente las labores de mantenimiento, contribuyendo así a un mejor desempeño y vida útil de la infraestructura vial.

## Resultados

Según la investigación realizada por Marín y Moyano (2023), en la Figura 2 se presenta la variación en la cuantificación de materiales. En dicha figura, los valores positivos representan un incremento en las cantidades obtenidas mediante Revit en comparación con las cuantificaciones manuales, mientras que los valores negativos indican una reducción en dichas cantidades.

**Figura 2.** Variación en la cuantificación de materiales utilizando la metodología tradicional y la metodología BIM



*Nota.* Adaptado de Marín y Moyano (2023).

En cuanto a los tiempos de ejecución, la metodología tradicional requirió 207 días para completar el proyecto, mientras que, mediante la aplicación de BIM, fueron necesarios únicamente 116 días (Marín & Moyano, 2023). Esto representa una reducción del 28 %, equivalente a 91 días menos, lo que evidencia una ventaja sustancial a favor de la metodología BIM.

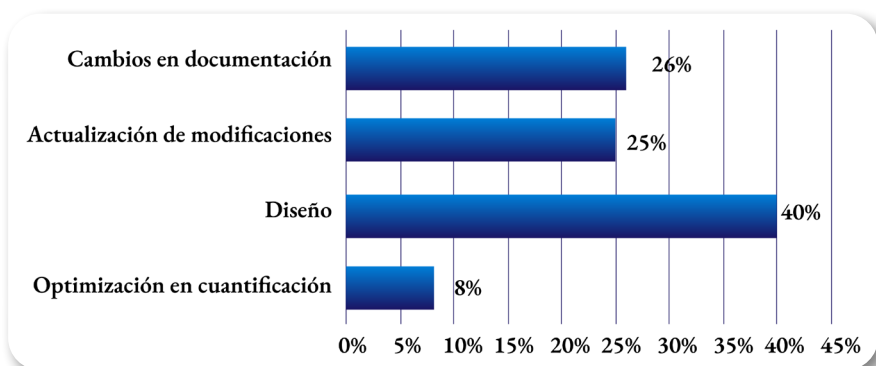
Los resultados obtenidos en los proyectos analizados coinciden con lo señalado por Trejo (2018), quien evidenció que la implementación de BIM en la planificación y el control de proyectos permite optimizar significativamente los tiempos de ejecución, mejorar la coordinación interdisciplinaria y reducir los sobrecostos asociados a modificaciones no previstas. La experiencia documentada por Trejo (2018) respalda los hallazgos del presente estudio, donde se observaron reducciones sustanciales en los plazos de ejecución y mejoras en la eficiencia de los procesos constructivos al aplicar la metodología BIM.

Por su parte, en el estudio de consultoría del proyecto vial desarrollado en Ecuador, se observó (según lo presentado en la Figura 3) una mejora significativa en la optimización del trabajo al



implementar BIM. En promedio, la eficiencia del trabajo aumentó un 25 % en comparación con el método tradicional, arrojando resultados consistentes con los obtenidos en el caso de estudio de Colombia.

**Figura 3.** Optimización de trabajo usando metodología BIM



Se concluye que la aplicación de la metodología BIM no solo permite una reducción significativa de los costos del proyecto, sino que también optimiza la coordinación durante todas las etapas de ejecución. En los proyectos de ingeniería vial, se recomienda su implementación debido a los beneficios que aporta en la optimización de los procesos constructivos, la facilidad para realizar actualizaciones y la mejora en la eficiencia de diversos procedimientos.

En el contexto ecuatoriano, la adopción de esta metodología se encuentra en una fase inicial dentro del sector privado, con perspectivas de expansión hacia el ámbito público. Su utilización contribuye a una gestión más eficiente de los recursos y a una planificación más precisa de las distintas etapas del proyecto, fortaleciendo la toma de decisiones y mejorando el desempeño general de la infraestructura vial.





## Contribución de autores (CRediT)

Guevara-Zambrano, Nathaly y Miño-Chávez, Jefferson participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Carrión-Coronel, Eduardo contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

## Referencias

- Alianza BIM. (2022). BIM en Ecuador: ¿Para cuándo un estándar nacional? <https://alianzabim.com/blog/bim-en-ecuador-para-cuando-un-estandar-nacional/>
- BIMP SAS. (2021). *Diseño en construcción: Un proceso integrador clave*. <https://www.bimpsas.com/disenio-en-construccion/>
- Cañón Buitrago, E. D., Vargas, W. E., & Benavides Zambrano, A. M. (2023). *Metodología BIM: Conceptos y su aplicación en proyectos de infraestructura vial*. Eco Ediciones.
- Marín, E., & Moyano, D. (2023). *Aplicación comparativa entre la metodología BIM y el método tradicional, en el caso de estudio "Proyecto vial La Flora localidad USME"*. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/9ea19903-affc-42cf-b1c0-08b60ed5bf22/content>
- Trejo, N. (2018). *Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción*. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168599/Estudio-de-impacto-del-uso-de-la-metodología-BIM-en-la-planificación-y-control-de-proyectos.pdf>





# Uso del HDM-4 para la evaluación técnica y económica de la vía Santa Fe – Caluma de la Provincia Bolívar

Alarcón-Gualotuña, María<sup>1</sup>; Montesdeoca-Matute, Jaime<sup>2</sup> & Díaz-Muñoz, Fabián<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, isa.alarcong15@gmail.com

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jwmontesdeoca1@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, fpdiaz@utpl.edu.ec

## Introducción

La gestión eficiente de la infraestructura vial constituye un pilar esencial para el desarrollo socioeconómico de cualquier región. En este sentido, la evaluación del estado funcional y estructural de las carreteras, así como la planificación estratégica de sus actividades de mantenimiento y rehabilitación, se convierten en procesos fundamentales.

La vía Santa Fe–Caluma, situada en la provincia de Bolívar, Ecuador, cumple un rol significativo en la conectividad territorial y en la dinámica del transporte local. No obstante, con el fin de garantizar su operatividad a largo plazo y maximizar la eficiencia de las inversiones destinadas a su conservación, resulta indispensable disponer de herramientas metodológicas robustas que permitan diagnosticar su condición actual y modelar su desempeño futuro bajo diversos escenarios de intervención.

El modelo HDM-4 (Highway Development and Management Tool, versión 4) se consolida como una herramienta de referencia a nivel internacional para la evaluación técnica y económica de proyectos de infraestructura vial. Su capacidad para simular el proceso de deterioro de los pavimentos, estimar los costos de operación vehicular, cuantificar los beneficios percibidos por los usuarios y analizar diversas alternativas de mantenimiento y rehabilitación lo posiciona como un instrumento clave para la formulación de políticas y la toma de decisiones basadas en evidencia en el ámbito de la gestión vial (Posada Henao, 2005).



La presente investigación se enfoca en la aplicación del modelo HDM-4 para la evaluación integral de la vía Santa Fe–Caluma, ubicada en la provincia de Bolívar. Mediante la recopilación y análisis de datos técnicos relevantes —incluyendo características geométricas de la vía, volúmenes de tráfico, condiciones climáticas y costos asociados— se busca calibrar y operar el modelo con el fin de generar indicadores clave que describan su estado actual, proyecten su comportamiento futuro y permitan evaluar la factibilidad técnica y económica de distintas alternativas de intervención. Los resultados obtenidos aportarán insumos técnicos valiosos para los entes responsables de la gestión vial en la provincia, facilitando la formulación de estrategias sostenibles orientadas a preservar la funcionalidad operativa de esta arteria vial de importancia regional.

La vía Santa Fe–Caluma constituye un corredor estratégico que conecta la ciudad de Guaranda con las parroquias rurales de Santa Fe y Caluma, extendiéndose hasta el cantón Pueblo Viejo, en la provincia de Los Ríos. Este eje vial atraviesa diversas zonas geográficas, facilitando el acceso a comunidades rurales dispersas y fomentando el intercambio económico, social y cultural entre las provincias de Bolívar y Los Ríos. Asimismo, desempeña un papel crucial en la cadena logística regional al permitir el transporte eficiente de productos agrícolas de alto valor comercial, como la naranja, el cacao y el café, los cuales representan pilares fundamentales de la economía local.

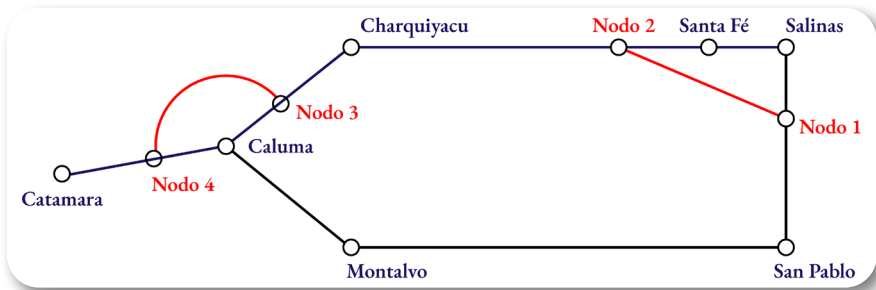
## **Materiales y métodos**

En la Figura 1 se muestra el esquema de la red vial correspondiente al área del proyecto. La línea azul representa el corredor objeto de estudio, mientras que la línea negra indica el corredor vial existente que actúa como una alternativa competidora.



La mejora del corredor analizado tendrá un impacto directo sobre la utilización y el desempeño operativo de este corredor alternativo, dado que ambos compiten funcionalmente en términos de accesibilidad y eficiencia del transporte.

Figura 1. Esquema de la red vial analizada



Las características fundamentales de la red vial en su estado actual, correspondiente al escenario “Sin Proyecto”, se detallan en la Tabla 1.

Por su parte, la Tabla 2 presenta las especificaciones técnicas previstas para la red vial bajo el escenario “Con Proyecto”, reflejando las modificaciones e intervenciones consideradas en la propuesta de mejora.

Tabla 1. Características de la Red Vial existente (sin proyecto)

Tramo	Calzada		Esp.	Superficie de rodadura		Geometría		TPDA
	Long. (km)	Ancho (m)	Ancho (m)	Tipo	IRI	S+B	° Curvatura	
Salinas - Nodo 1	3	7.2	1.5	Asfalto	2.5	65	300	2000
Salinas - Santa Fe	2.6	7	0	Asfalto	4	70.2	523	731
Santa Fe - Nodo 2	2.3	5.1	0	Asfalto	5	70.2	523	28
Nodo 2 - Charquiyacu	43.52	5.1	0	Grava	10	72.5	581	28
Charquiyacu - Nodo 3	4.6	6	0	Asfalto	4	10.8	20	581
Nodo 3 - Caluma	2.7	7.2	0	Asfalto	4	10.8	20	1159
Nodo 1 - San Pablo	31	7.2	1.5	Asfalto	2.5	65	300	2000
San Pablo - Montalvo	45	7.2	1.5	Asfalto	2.5	70	400	2000
Montalvo - Caluma	23	7.2	1.5	Asfalto	3	30	200	944

**Tabla 2.** Características de la Red Vial (con proyecto)

Tramo	Calzada		Esp.	Superficie de rodadura		Geometría		TPDA
	Long. (km)	Ancho (m)	Ancho (m)	Tipo	IRI	S+B	° Curvatura	
Salinas - Nodo 1	3	7.2	1.5	Asfalto	2.5	65	300	2810
Salinas - Santa Fe	2.6	7	0	Asfalto	4	70.2	523	575
Santa Fe - Nodo 2	2.3	5.1	0	Asfalto	5	70.2	523	575
Nodo 2 - Charquiyacu	43.52	6	0	Grava	10	69	481	399
Charquiyacu - Nodo 3	4.82	7	1	Asfalto	4	10	20	1145
Nodo 3 - Caluma	2.7	7.2	0	Asfalto	4	10.8	20	1159
Nodo 1 - San Pablo	31	7.2	1.5	Asfalto	2.5	65	300	2411
San Pablo - Montalvo	45	7.2	1.5	Asfalto	2.5	70	400	2411
Montalvo - Caluma	23	7.2	1	Asfalto	3	30	200	927

De acuerdo con el estudio de tráfico, el parque vehicular fue clasificado en las siguientes categorías: vehículos livianos (automóviles y camionetas), buses, camiones de dos ejes, camiones de tres ejes y camiones articulados (más de tres ejes). Las tipologías vehiculares representativas, junto con sus características operativas, se presentan en la Tabla 3, mientras que la Tabla 4 incluye los costos económicos asociados a cada categoría vehicular.

Para la determinación de los costos asociados a los usuarios y el cálculo del valor del tiempo, se empleó el método del Valor Social del Tiempo propuesto por la CEPAL (Contreras, 2004). Según esta metodología, el valor del tiempo productivo corresponde al 100 % del salario promedio de un adulto, mientras que el valor del tiempo de ocio se establece como el 43 % del valor del tiempo productivo.

**Tabla 3.** *Características básicas de los vehículos representativos*

	Nombre	Toyota Hilux	HINO FF 2002	HINO FB4	HINO FC10	HINO SS60	
Definición	Tipo base:	Camioneta	Autobús	Camión	Camión	Camión	
	Clase:	Pasajeros	Mediano	Mediano	Pesado	Articulado	
	Categoría:	Motorizado	Motorizado	Motorizado	Motorizado	Motorizado	
	Método de vida:	Constante	Óptima	Óptima	Óptima	Óptima	
Características básicas	Físicas	Espacio equivalente en vehículos de pasajeros	1	1.5	1.5	1.6	1.8
		Número de Ruedas	4	6	6	10	18
		Número de Ejes	2	2	2	3	5
		Tipo de Neumático	Radial	Diagonal	Diagonal	Diagonal	Diagonal
	Neumáticos	Número de recauchutes por neumático	0.3	1.3	1.3	1.5	1.6
		Costo del Recauche (% del nuevo)	15	43.79	50	50	50
		Km anuales	30	70	70	86	86
	Utilización	Horas de Trabajo	1.3	1.75	1.75	2.05	2.05
		Vida Media (años)	8	10	12	12	14
		Uso Privado (%)	80%	0	0	0	0
		Pasajeros (personas)	3	40	0	0	0
	Carga	Viajes de Trabajo (%)	60	61	100	100	100
		Número de Ejes Equivalentes	0.01	0.70	1.25	2.28	4.63
		Peso Medio en Circulación (Ton)	1.5	6	9	16	48

**Tabla 4.** Precios de los recursos económicos (dólares)

Tipo de vehículo	Vehículo nuevo (US\$)	Neumático de repuesto (US\$)	Combustible (US\$/litro)	Aceites Lubricante (US\$/litro)	Tripulación (US\$/hora)	Mantenimiento (US\$/hora)
<b>Toyota - Hilux</b>	16 600	137	0.39	5.5	1.28	7.74
<b>HINO FF 2002</b>	63 750	353	0.25	3.02	7	9.49
<b>HINO FB 4 Serie 300</b>	45 000	399	0.25	3.02	6.53	9.49
<b>HINO FC - Serie 500</b>	95 000	556.73	0.25	3.02	7.36	12.92
<b>HINO SS 60 Serie 700</b>	115 000	556.73	0.25	3.02	7.36	12.92

Dentro de los costos asociados a los usuarios, se incluye también el costo de los siniestros. Para la valoración de estos costos, se aplica la metodología descrita en el Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (De Rus Mendoza & Campos Méndez, 2011). Esta metodología establece el valor de los siniestros en función de la disposición al pago por evitar riesgos de fatalidad, basándose en la percepción del valor que los individuos asignan a la prevención de riesgos mortales.

Para los fines de este análisis, se consideró que dicho valor está estrechamente vinculado al PIB per cápita. En la Tabla 5 se presenta un resumen de los costos adoptados para este estudio.

**Tabla 5.** Cuadro de los usuarios

Rubro	Valor
Valor del tiempo productivo	2,1 (USD/h)
Valor del tiempo de ocio	0,9 (USD/h)
Disposición al pago para reducir riesgos de muerte	50.000 (USD/por accidente)





El submodelo de deterioro del HDM-4 simula el daño sufrido por la vía debido a las condiciones climáticas y las cargas de tráfico, así como la mitigación de dicho daño derivada de las actividades de mantenimiento. Para ello, es esencial proporcionar al modelo información sobre las intervenciones de conservación programadas durante el período de análisis, el cual abarca un horizonte de 20 años. En la condición “Sin Proyecto”, se asume que las vías existentes deberán someterse a un mantenimiento continuo con el fin de garantizar su transitabilidad y preservar las condiciones operativas mínimas necesarias para su uso.

El mantenimiento rutinario debe ejecutarse en el *software* HDM-4 tanto en la condición “Con Proyecto” como en la condición “Sin Proyecto”. Debido a que la evaluación económica se basa en una comparación de costos entre ambas situaciones, los costos asociados al mantenimiento rutinario de la red existente, al ser idénticos en ambos escenarios, se compensan mutuamente y, por lo tanto, no se modelan de manera explícita. Para los tramos incluidos en el proyecto, se han considerado las actividades de mantenimiento descritas en el informe correspondiente, estimándose un costo global anual aproximado de USD 7.000,00 por kilómetro.

Los costos asociados al mantenimiento periódico están directamente influenciados por las cargas de tráfico; en consecuencia, estos costos variarán en función del volumen vehicular registrado durante el período de análisis. Para la condición “Con Proyecto”, en la cual se contempla una calzada con pavimento flexible, se han definido como actividades principales la ejecución de un recapeo con carpeta asfáltica de 5 cm de espesor en el año 10, junto con la instalación de la señalización horizontal correspondiente. Finalmente, en la Tabla 6 se detallan los costos preliminares de construcción utilizados para la evaluación de la factibilidad económica, los cuales incluyen indemnizaciones, fiscalización y ejecución de la obra, tanto



a precios de mercado como económicos. El costo de fiscalización se estimó como un porcentaje del costo total de la obra, siguiendo los parámetros establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) para este tipo de proyectos.

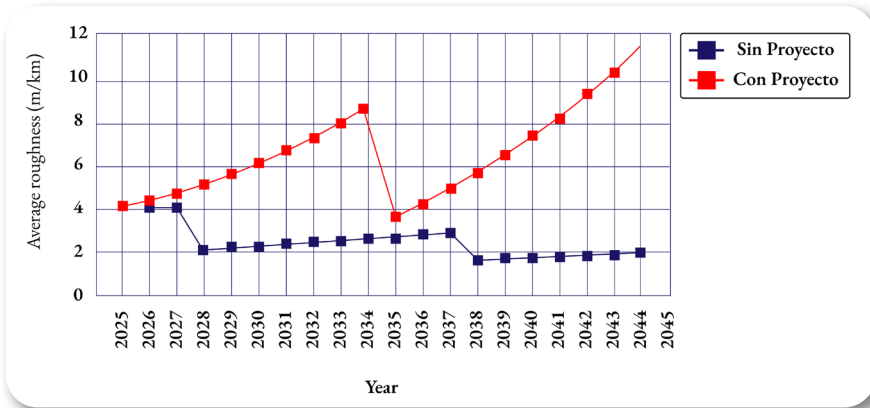
Tabla 6. Costo del proyecto final

Rubro	Precio de mercado (US\$)	Precios económicos (US\$)
Costo de construcción	91 963 739.49	74 950 447.68
Indemnizaciones	1 640 284.55	1 336 831.91
Costo de fiscalización (5% del costo de construcción)	4 598 186.97	3 747 522.38
Costo de la Obra	98 202 211.01	80 034 801.98

## Resultados

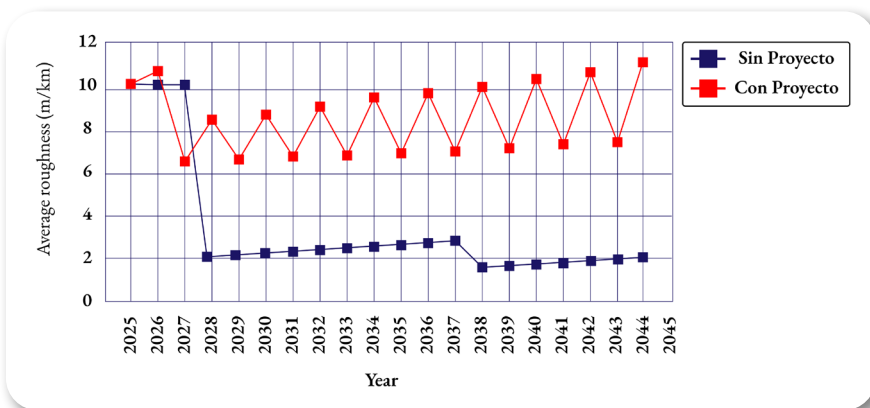
El submodelo de deterioro simula el comportamiento del pavimento frente a las cargas de tráfico y a las condiciones ambientales, así como la respuesta obtenida tras la implementación de actividades de mantenimiento. Un ejemplo ilustrativo de la evolución del deterioro bajo diferentes condiciones se presenta en las Figuras 2, 3 y 4. En la Figura 2 se observa un tramo del proyecto actualmente asfaltado. La línea roja representa el pronóstico de deterioro, indicando que para el año 2035 será imprescindible realizar una reconstrucción del pavimento a fin de mantener la transitabilidad; de no efectuarse esta intervención, se corre el riesgo de perder el valor del patrimonio vial. Por su parte, la línea azul muestra la condición “Con Proyecto”, evidenciando que, tras la reconstrucción, el nivel de servicio será considerablemente superior al de la condición “Sin Proyecto”. Además, al décimo año de servicio será necesario ejecutar un refuerzo estructural que permitirá conservar un nivel de servicio adecuado hasta el final del período de análisis.

**Figura 2.** Simulación del deterioro del pavimento en las secciones del proyecto



La Figura 3 muestra un tramo de vía que actualmente presenta una superficie granular de rodadura. La línea roja corresponde a la condición “Sin Proyecto”, donde se evidencia que será necesario realizar reconformaciones periódicas de la rasante, ya que, en caso contrario, la vía podría alcanzar rápidamente condiciones de intransitabilidad. Con la implementación del proyecto, la línea azul demuestra que el nivel de servicio se mantendrá significativamente superior durante todo el período analizado, reforzando la pertinencia de la intervención.

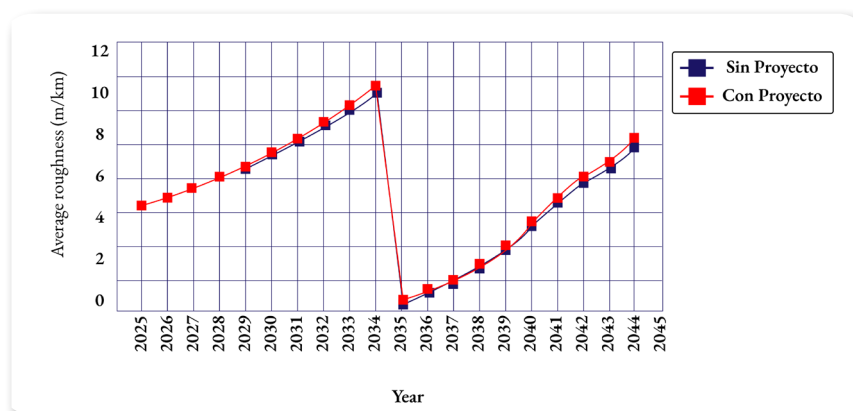
**Figura 3.** Simulación del deterioro del pavimento en las secciones del proyecto





En la Figura 4, se presenta un tramo de vía que, si bien no forma parte del proyecto, se ve influenciado por su implementación. Tras la construcción del nuevo corredor, un porcentaje importante de los usuarios migrará hacia la vía intervenida, generando una disminución en el volumen de tráfico del tramo analizado. Este descenso en la demanda induce un menor deterioro del pavimento, lo que permite posponer las actividades de mantenimiento previamente programadas, optimizando así los recursos destinados a la conservación vial.

**Figura 4.** Simulación del deterioro del pavimento en las secciones del proyecto



Como resultado de la mayor fluidez vehicular derivada del incremento en la capacidad y el mejor estado de las vías, se genera una disminución significativa en los costos asumidos por los usuarios. Los ahorros en Costos de Operación Vehicular (COV), aplicando una tasa de descuento del 15%, alcanzan los USD 99,56 millones durante el período de análisis. Por su parte, los ahorros en tiempos de viaje ascienden a USD 7,76 millones. Finalmente, un beneficio adicional de gran relevancia corresponde a la reducción de siniestros de tránsito. Aunque se aplican valores inferiores al promedio mundial, dado el contexto emergente del país, los ahorros descontados al 15 % alcanzan USD 17,69 millones, constituyendo un impacto económico sustancial.

## Contribución de autores (CRediT)

Alarcón-Gualotuña, María y Montesdeoca-Matute, Jaime participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Díaz-Muñoz, Fabián contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

## Referencias

- Alianza BIM. (2022). *BIM en Ecuador: ¿Para cuándo un estándar nacional?* <https://alianzabim.com/blog/bim-en-ecuador-para-cuando-un-estandar-nacional/>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2019). *AASHTO M 147: Standard specification for materials for aggregate and soil-aggregate subbase, base, and surface courses*. Washington, DC.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2019). *AASHTO M 226: Standard specification for viscosity-graded asphalt cement*. Washington, DC.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2019). *AASHTO T 283-19: Standard method of test for resistance of compacted asphalt mixtures to moisture-induced damage*. <https://www.transportation.org/>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (n.d.). *AASHTO T 307: Standard method of test for determining the resilient modulus of soils and aggregate materials*. Washington, DC.
- Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., & Shafigh, P. (2011). *Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt*. *Materials & Design*, 32(10), 4844–4849. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.016>



- Asphalt Institute. (2014). MS-2: *Asphalt mix design methods* (7th ed.). Asphalt Institute.
- ASTM International. (2020). *ASTM D3381: Standard specification for viscosity-graded asphalt cement for use in pavement construction*.
- ASTM International. (2020). *ASTM D6927-20: Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures*. <https://www.astm.org>
- ASTM International. (2020). *ASTM D7369: Standard test method for determining the resilient modulus of bituminous mixtures by repeated load indirect tension*.
- ASTM International. (2017). *ASTM D3203-17: Standard test method for percent air voids in compacted dense and open asphalt mixtures*. <https://www.astm.org>
- ASTM International. (2022). *ASTM C33/C33M-22: Standard specification for concrete aggregates*. <https://www.astm.org>
- ASTM International. (2022). *ASTM D6926: Standard practice for preparation of bituminous specimens using Marshall apparatus*. <https://www.astm.org>
- ASTM International. (2022). *ASTM E11: Standard specification for woven wire test sieve cloth and test sieves*.
- Baradaran, S., & Ameri, M. (2025). Durable and sustainable warm mix asphalt pavement using value-added recycled PET. *Case Studies in Construction Materials*, 23, *Article e05362*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05362>
- Baradaran, S., & Ziaee, S. A. (2025). Review of the mechanical properties of asphalt pavement reinforced with natural plant fibers as an eco-friendly solution in pavement engineering. *Road*, 33(123), 167–192.



BIMP SAS. (2021). *Diseño en construcción: Un proceso integrador clave*.  
<https://www.bimpsas.com/disenio-en-construccion/>

Cabrera Sendoya, L. V. (2021). *Influencia del uso de PET reciclado como reemplazo de agregados en la respuesta mecánica y durabilidad de mezclas asfálticas*.

Cañón Buitrago, E. D., Vargas, W. E., & Benavides Zambrano, A. M. (2023). *Metodología BIM: Conceptos y su aplicación en proyectos de infraestructura vial*. Eco Ediciones.

Contreras, E. (2004). *Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica*. <https://hdl.handle.net/11362/5603>

De Rus Mendoza, G., & Campos Méndez, J. (2011). *Manual de evaluación económica de proyectos de transporte*. <https://doi.org/10.18235/0009777>

Evode, N., Qamar, S. A., Bilal, M., Barceló, D., & Iqbal, H. M. (2021). Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100142. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100142>

Hossain, R., Islam, M. T., Ghose, A., & Sahajwalla, V. (2022). Full circle: Challenges and prospects for plastic waste management in Australia to achieve circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133127>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2021). NTE INEN 3048: Cemento. Requisitos. Quito, Ecuador.

Kalantar, M. A. (2012). Improving mechanical properties of asphalt concrete by adding waste plastic (PET) as aggregate. *Journal of Applied Sciences*, 12(3), 273–277.



- Marín, E., & Moyano, D. (2023). *Aplicación comparativa entre la metodología BIM y el método tradicional, en el caso de estudio “Proyecto vial La Flora localidad USME”*. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/9ea19903-affc-42cf-b1c0-08b60ed5bf22/content>
- Modarres, A., & Hamed, H. (2014). *Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes*. *Materials & Design*, 61, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.04.022>
- Ossa, E. A., García, J. L., & Botero, J. C. (2016). Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros y caucho reciclado para pavimentos en regiones cálidas. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 31(3), 209–218. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732016000300003>
- Pan, D., Su, F., Liu, C., & Guo, Z. (2020). Research progress for plastic waste management and manufacture of value-added products. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 3(4), 443–461. <https://doi.org/10.1007/s42114-020-00192-9>
- Posada Henao, J. J. (2005). *Evaluación de proyectos de inversión en carreteras con el HDM-4*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez, L., & Castro, P. (2002). *Efecto de la viscosidad del ligante asfáltico sobre las propiedades de la mezcla asfáltica*. Lanamme, Universidad de Costa Rica.
- Trejo, N. (2018). *Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción*. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168599/>
- Wang, W., Cheng, H., Sun, L., Sun, Y., & Liu, N. (2022). Multi-performance evaluation of recycled warm-mix asphalt mixtures with high reclaimed asphalt pavement contents. *Journal of Cleaner Production*, 377, 134209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134209>





Zambrano Bastidas, C. E., & Villacreses Viteri, C. G. (2023). *Gestión de la conservación de la vía de acceso a San Juan del cantón Manta-Ecuador a través del sistema HDM-4*, 7(12). <https://doi.org/10.46296/yc.v7i12.0288>





# **Reciclaje de pavimentos flexibles como alternativa sostenible para extender la vida útil de carretera 35 Riobamba - Balbanera tramo 463+100 a 464+100**

Valdivieso-Erreyes, Jonathan<sup>1</sup>; Villavicencio-Aldaz, Israel<sup>2</sup> & Zúñiga-Torres, Berenice

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jsvaldivieso3@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, isvillavicencio@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, bczuniga@utpl.edu.ec

## **Introducción**

La infraestructura vial es uno de los pilares en el desarrollo económico, social y cultural de un país permitiendo la conectividad entre comunidades, a nivel mundial pese a los esfuerzos realizados por los distintos departamentos del estado, existen muchas falencias en el desarrollo y conservación de los principales ejes viales (Giler & Mogrovejo, 2023).

Gran parte del territorio ecuatoriano está articulado por ejes viales primarios y secundarios, los cuales soportan el mayor volumen de tránsito vehicular, al conectar las capitales provinciales, cabeceras cantonales y puertos fronterizos. Estos corredores son fundamentales para la dinamización de la economía nacional (Machado *et al.*, 2023). Sin embargo, en la actualidad, muchas de estas vías presentan un deterioro prematuro en sus capas de rodadura, consecuencia del crecimiento acelerado del parque automotor. Esta situación ha provocado una disminución en el nivel de servicio vial y un aumento en el riesgo de siniestros de tránsito (Gómez & Delgado, 2022). Un ejemplo representativo de esta problemática es el corredor vial troncal de la Sierra E35, particularmente en el tramo comprendido entre Riobamba y Balbanera, correspondiente a las abscisas 463+100 a 464+100, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la zona de estudio



La normativa NEVI 12 Volumen 6, nos recomienda que para iniciar un adecuado plan de mantenimiento vial primero se debe determinar el nivel de deterioro del pavimento, teniendo como principales herramientas en la actualidad modelos basados en el reconocimiento visual como son la metodología VIZIR y PCI (Gaitán & Riveros, 2019). A partir de una recopilación fotográfica

realizada en secciones de estudio en el tramo mencionado y haciendo uso de la metodología de clasificación visual de fallas método PCI se determina que el tramo de la vía Riobamba – Balbanera cuenta con un deterioro de 25,20% y 36,76% (Vásquez, 2022) y conforme al grado de condición del pavimento la Tabla 1 que presenta la normativa ASTM (2018) el tramo está en un estado “Malo”, siendo necesario la rehabilitación y reconstrucción parcial de la vía, teniendo como objetivo de esta investigación plantear una metodología de construcción que permita realizar el proceso de repotenciación del tramo afectado mediante el reciclado de pavimentos flexibles.

**Figura 2.** Condición del pavimento y estrategia de tratamiento

**Fuente:** Peshkin et al. (2019).

PCI	Calificación General	Estrategia de Tratamiento
100	Bueno	Preservación
85	Satisfactorio	
70	Regular	Rehabilitación
55	Malo	
40	Muy Malo	Reconstrucción
25	Serio	
10	Fallado	
0		



## Materiales y métodos

Los pavimentos son alternativas amigables con el medio ambiente, permitiendo restaurar las propiedades viscoelásticas del asfalto envejecido y reduciendo la necesidad de ligantes vírgenes, que requieren de una mayor inversión.

Además, se debe llevar a cabo un proceso adecuado de análisis, preparación, ejecución y monitoreo del proyecto, teniendo como alternativas para la rehabilitación del pavimento flexible:

- **Reciclaje en frío en sitio (Cold In-Place Recycling, CIR)**

Consiste en fresar la capa de rodadura existente, mezclarla con un estabilizante (cemento, cal o emulsión asfáltica) directamente sobre la vía y compactarla. No requiere calentamiento y minimiza el transporte de material.

- **Reciclaje en caliente en sitio (Hot In-Place Recycling, HIR)**

Es una técnica de rehabilitación de pavimentos asfálticos que consiste en calentar, reciclar y reutilizar la capa superficial del asfalto directamente en el lugar, sin necesidad de retirar el material. Este proceso incluye el ablandamiento de la mezcla existente mediante calor, su remoción, mezcla con agentes rejuvenecedores o nuevos materiales, y su posterior colocación y compactación sobre la misma vía. Esta técnica permite conservar recursos, reducir costos y minimizar impactos ambientales y en el tránsito vehicular (Zhong et al., 2021).

- **Reciclaje en planta central (Cold Central Plant Recycling, CCPR)**

El pavimento antiguo se fresa, se recoge en volquetes y se transporta a la planta recicladora, donde se repotencia la nueva mezcla a partir de un cribado y clasificación del material. Se incorporan polímeros, aditivos y agentes rejuvenecedores que



permiten obtener RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), el cual será transportado nuevamente al área de la vía en mantenimiento, para finalmente realizar el compactado y comprobación de densidades, obteniendo un tramo de vía totalmente repotenciado.

La metodología resumida (desde la caracterización inicial hasta el monitoreo posejecución) garantiza la calidad y durabilidad del pavimento tratado. Además, las innovaciones tecnológicas recientes, como las mezclas en frío mejoradas, el WARM RAP, la reclamación profunda y el monitoreo IoT, potencian el desempeño estructural y prolongan la vida útil de la infraestructura en términos de años.

Para una implementación exitosa, es esencial:

- Realizar una evaluación detallada del estado del pavimento existente.
- Seleccionar la técnica de reciclaje que mejor se adapte a las condiciones del sitio y a los objetivos de sostenibilidad.
- Controlar rigurosamente la calidad en cada etapa del proceso.
- Capacitar al personal y mantener un programa de monitoreo continuo.

Estas prácticas fomentan la economía circular, optimizan los recursos públicos y contribuyen al desarrollo de infraestructuras viales más resilientes y respetuosas con el medio ambiente.

## Resultados

La implementación del reciclaje como alternativa para el mantenimiento y reconstrucción vial del tramo Riobamba – Balbanera abscisas 463+100 a 464+100, permitirá recuperar el nivel de servicio del paquete mejorando la capacidad estructural sin necesidad de realizar una reconstrucción total prolongando la vida útil de la vía entre 10 y 15 años.



En el ámbito económico el costo de construcción de un pavimento flexible convencional oscila entre 25 y 35 USD/m<sup>2</sup>, considerando adquisición de materiales (asfalto virgen y agregados), transporte, mano de obra y equipos (Ripley *et al.*, 2018; Sánchez *et al.*, 2020). En contraste, las técnicas de reciclaje de pavimentos flexibles in situ pueden reducir estos costos en un rango de 15 % a 30 % debido a la reutilización de materiales existentes, disminución del transporte y menores requerimientos de agregados vírgenes, situándose entre 18 y 28 USD/m<sup>2</sup> aproximadamente (García & López, 2019; Martínez *et al.*, 2021). Estos ahorros dependen de factores como la longitud de la obra, disponibilidad de emulsiones asfálticas y condiciones del sitio, pero representan una ventaja económica significativa para proyectos de rehabilitación vial.

El reciclaje de pavimentos contribuye significativamente a la conservación de recursos naturales al recuperar y reutilizar el agregado pétreo existente. Al incorporar RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en la nueva carpeta, sólo se necesita entre 1 % y 3 % de asfalto adicional, frente al 6 % requerido en una mezcla completamente nueva, lo que reduce la extracción de agregados naturales de los bancos de materiales.

En cuanto a la logística, el uso de RAP disminuye el número de viajes de camión necesarios para el suministro de agregados. Al reutilizar gran parte del material in situ, se reducen tanto los desplazamientos como el consumo de combustible asociado al transporte de agregados, traduciéndose en menores emisiones y costos operativos.

La incorporación de aproximadamente un 15 % de RAP en mezclas asfálticas en caliente o templado contribuye significativamente a la reducción del consumo energético en la planta de mezclado, con disminuciones de hasta un 13–14 %. Esta mejora en la eficiencia energética se traduce directamente en una menor generación de emisiones contaminantes y partículas en suspensión durante el proceso de producción.



Finalmente, al no reciclar el pavimento existente este se convierte en un residuo de difícil gestión. Estudios comparativos indican que los métodos tradicionales de rehabilitación generan 1,63 veces más desechos que los procesos de reciclado en sitio (Tabla 1). Sin embargo, aún se requieren más investigaciones que cuantifiquen exhaustivamente la reducción de residuos y evalúen de manera integral el impacto ambiental del reciclaje de carreteras.

**Tabla 1.** Consumo de energía y emisiones frente al uso de RAP

	Consumo de energía		Emisiones de CO <sub>2</sub>	
	[MJ/m <sup>3</sup> ]	[%]	[kgeqCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]	[%]
<b>Mezcla Virgen</b>				
<b>Agregados</b>	234.15	10.83 %	16.58	15.25 %
<b>Conglomerante de asfalto</b>	1564.89	72.41 %	88.87	81.75 %
<b>Bacheo</b>	362.16	16.76 %	3.26	3.00 %
<b>Total</b>	2161.2	100 %	108.71	100 %
<b>Mezcla 30 %</b>				
<b>Agregados</b>	182.55	9.79 %	12.93	14.81 %
<b>Conglomerante de asfalto</b>	1230.69	66.03 %	69.89	80.07 %
<b>Bacheo</b>	403.97	21.67 %	3.64	4.17 %
<b>Preparación del RAP</b>	46.74	2.51 %	0.83	0.95 %
<b>Total</b>	1863.95	100 %	87.29	100 %

**Fuente:** Chou & Lee (2015).

En conclusión, el reciclaje de pavimentos flexibles ha demostrado ser una alternativa sostenible y económicamente ventajosa frente a la rehabilitación convencional. Mediante la reutilización de materiales existentes y la aplicación de técnicas en frío, en caliente o en planta que pueden alcanzar una reducción de costos de hasta un 30% y disminuir significativamente la huella de carbono de los proyectos viales.





## Contribución de autores (CRediT)

Valdivieso Erreyes, Jonathan y Villavicencio Aldaz, Israel participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Zúñiga Torres, Berenice contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

## Referencias

- ASTM International. (2018). ASTM D6433-18: *Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys*. ASTM International.
- Chou, C. P., & Lee, N. (2015). Assessment of life cycle energy saving and carbon reduction of using reclaimed asphalt concrete. En *Environmental sustainability in transportation infrastructure* (pp. 200–212). International Symposium on Systematic Approaches to Environmental Sustainability in Transportation. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784479285.017>
- Gaitán, J. S., & Riveros, L. P. (2019). Determinar el deterioro del pavimento flexible mediante metodología de auscultación VIZIR y PCI con relación al CBR y la estructura de pavimento [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas] <https://repository.udistrital.edu.co/items/68ced394-bf7d-4313-bb23-f2eb74ada74f>
- García, L., & López, D. (2019). Evaluación económica del reciclaje en frío de pavimentos flexibles. *Revista de Materiales de Construcción*, 15(1), 78–89. <https://doi.org/10.9101/rmc.2019.015>
- Giler, S. B. F. D. V., & Mogrovejo-Carrasco, D. E. (2023). Evaluación funcional del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 7(13), 212–235. <https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/404>



- Gómez, J., & Delgado, D. (2022). El congestionamiento vehicular: Análisis y propuesta de solución en la intersección semaforizada entre avenidas América y Reales Tamarindos, Portoviejo, Ecuador. *Investigación y Desarrollo*, 16(1). <https://www.researchgate.net/publication/363788835>
- Machado, E. H. M., Tasigchana, M. A. S., Almeida, M. D. P. M., & Rodríguez, J. F. C. (2023). *Categorización de la red vial en estudios de ingeniería de tránsito y transporte y sus normativas en Ecuador*. *Polo del Conocimiento*, 8(6), 1244–1255. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9152479.pdf>
- Martínez, C., Rodríguez, A., & Fernández, E. (2021). *Performance and cost savings of hot in situ recycling techniques*. *Transportation Research Procedia*, 48, 202–210. <https://doi.org/10.4321/trp.2021.048>
- Peshkin, D., Dzwilewski, P. P. F., Potvin, K. M., Gauthier, K., Wade, M., Risner, E., & Feighan, K. (2019). *Guía para recolectar, aplicar y mantener datos de condición de los pavimentos en aeropuertos*. [https://nap.nationalacademies.org/resource/25566/ACRP%20Report%20203\\_spanish.pdf](https://nap.nationalacademies.org/resource/25566/ACRP%20Report%20203_spanish.pdf)
- Ripley, J., Smith, P., & Johnson, L. (2018). Cost analysis of conventional flexible pavement construction. *Journal of Highway Engineering*, 12(3), 45–57. <https://doi.org/10.1234/jhe.2018.003>
- Sánchez, M., Pérez, R., & Torres, J. (2020). Life cycle cost assessment of pavement rehabilitation techniques. *Revista de Ingeniería Vial*, 8(2), 123–139. <https://doi.org/10.5678/riv.2020.021>
- Vásquez Falcones, M. H. (2022). *Análisis y evaluación superficial del pavimento flexible de la carretera E35 Riobamba-Balbanera-Alausí-Guasuntos-Chunchi-Río Angas-límite provincial Chimborazo-Cañar [Tesis de licenciatura, Universidad no especificada]*. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/29669>



Zhong, H., Huang, W., Yan, C., Zhang, Y., Lv, Q., Sun, L., & Liu, L. (2021). Investigating binder aging during hot in-place recycling (HIR) of asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 276, 122188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122188>





# Manual técnico y criterios básicos para la elaboración de catálogos de secciones estructurales de pavimentos flexibles en Quito

Aguirre Sánchez, Franklin<sup>1</sup> & Hidalgo Andrade, Felipe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, ivanmx18@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, fahidalgo3@utpl.edu.ec

## Introducción

El Ecuador, actualmente no cuenta con un documento técnico referencial que sirva para obtener de manera rápida y sencilla una primera aproximación del tipo de paquete estructural o medida de intervención a realizar en sus vías, sea esta para una determinada calle urbana o tramo de carretera. Esta situación contrasta con las experiencias exitosas de otros países latinoamericanos, donde los catálogos de pavimentos se han consolidado como herramientas fundamentales para la planificación y gestión vial (Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, 2012; Ministerio de Fomento de España, 2010).

La necesidad de contar con instrumentos técnicos estandarizados se ve reforzada por las exigencias normativas vigentes. De acuerdo con el Reglamento General a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública del Ecuador, las entidades contratantes deben contar con estudios y diseños completos, definitivos y actualizados previo a la ejecución de cualquier obra pública (Decreto Ejecutivo No. 206, 2024). Los organismos técnicos de control como la Contraloría General del Estado exigen que previo a la ejecución de cualquier obra pública, se deba realizar un estudio a nivel definitivo (Servicio Nacional de Contratación Pública, 2023). Esta exigencia, aunque necesaria para garantizar la calidad y transparencia en el uso de recursos públicos, genera procesos prolongados especialmente en proyectos de características similares.

En muchas ocasiones, los municipios, prefecturas o gobiernos parroquiales han tenido que atender segmentos viales con pocas solicitudes de carga diaria, o del tipo local, insertadas en una malla



vial con ramales de características muy similares. La experiencia internacional demuestra que el desarrollo de catálogos de secciones estructurales permite optimizar estos procesos, reduciendo tiempos de diseño sin comprometer la calidad técnica (Reinoso & Sanmartín, 2022). Es en esos casos donde se recomendaría replicar o referir a un catálogo, para que de manera ágil se pueda intervenir, conservando así el nivel de servicio que se espera se mantenga en su vida útil.

Investigaciones recientes en el contexto ecuatoriano han evidenciado la importancia de desarrollar metodologías adaptadas a las condiciones locales. Pérez-Martínez *et al.* (2024) destacan la necesidad de considerar variables ambientales específicas en el diseño de pavimentos urbanos en Ecuador, mientras que estudios sobre mantenimiento vial en la zona central del país resaltan la importancia de contar con criterios estandarizados para la evaluación y conservación de estructuras de pavimento (Ramírez & Valenzuela, 2024).

El presente documento tiene como objetivo describir el procedimiento para elaborar un catálogo de firmes o estructuras de pavimento adaptado a tramos específicos, que permita establecer medidas de construcción, rehabilitación o mantenimiento de calzadas y estructuras viales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), ubicado al norte del Ecuador, en la región interandina. La elaboración de este catálogo se justifica por la necesidad de optimizar los recursos públicos destinados a infraestructura vial, reducir los tiempos de planificación y diseño en proyectos similares, y establecer criterios técnicos estandarizados que garanticen la calidad y durabilidad de las intervenciones. Además, este instrumento técnico permitirá a las entidades responsables de la gestión vial tomar decisiones fundamentadas de manera ágil, sin comprometer el rigor técnico requerido, contribuyendo a una planificación más efectiva del mantenimiento preventivo y correctivo de la red vial. Entre los beneficiarios directos se incluyen la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP), los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales, consultores y diseñadores viales, así



como organismos de control como la Contraloría General del Estado, mientras que la ciudadanía del DMQ se beneficiará indirectamente al contar con una infraestructura vial mejor planificada, más duradera y ejecutada con mayor eficiencia en el uso de los recursos públicos.

## **Materiales y métodos**

El presente documento, busca presentar las consideraciones y pasos a seguir para elaborar un catálogo de firmes y pavimentos. Como punto de inicio, es importante recabar información suficiente, de tal modo que, permita realizar una zonificación, tramado o cualquiera que posibilite la relación de elementos por longitud o área. Por ejemplo, si se trata de carreteras, calle colectora y/o arterial, será mejor asociarlas por unidad de longitud, mientras que, cuando se refiere a calles o vías locales que conforman mallas viales dentro de una zona urbana, como es el caso de la ciudad de Quito, es mejor identificarlas por área.

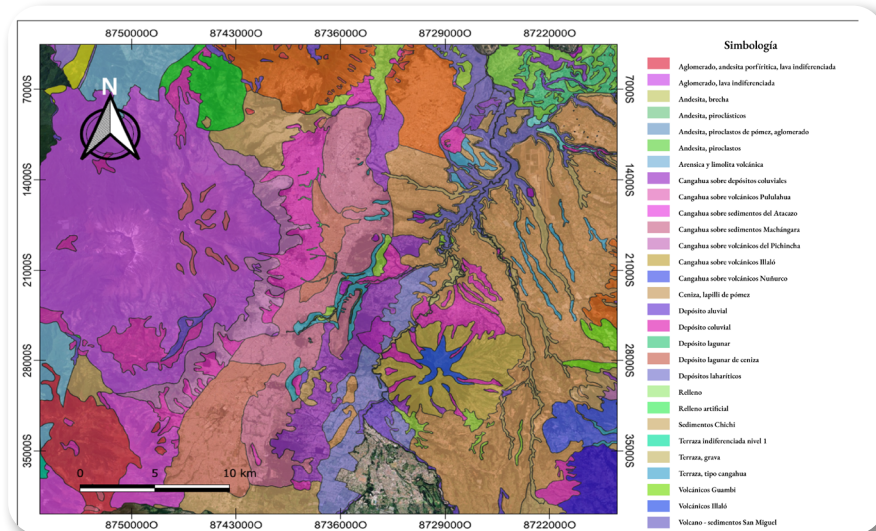
La información base para poder realizar una correcta codificación sería: establecer rangos de tráfico, zona o ubicación (subrasante) y caracterización de los materiales.

El tráfico se mide en el número de vehículos promedio por un día representativo, parámetro conocido como TPD. De este se identificará cuáles y en qué porcentaje son vehículos pesados y livianos, sabiendo que el peso causado por un vehículo pesado representa un daño tangible o directo al pavimento. Para luego, poder calcular el número de ejes equivalentes o estándar al final de un período de tiempo establecido. Esto aplicando la metodología de diseño de pavimentos AASHTO 93 (AASHTO guide for design of pavements structures, publicado por la American Association of State Highway and Transportation Officials) reconocido en nuestro país.



La ubicación del DMQ permite realizar una primera aproximación del tipo de suelos reinantes en el área de análisis. La EPMMOP (Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas) elaboró un mapa de zonificación del tipo de material natural que existe en DMQ, en donde de manera general identifica la presencia importante de canguas, y en menores proporciones andesitas, depósitos aluviales y sedimentos de origen volcánico. A continuación, se presenta la Figura 1 con el mapa mencionado.

**Figura 1.** Mapa del tipo de suelos, Quito D.M.



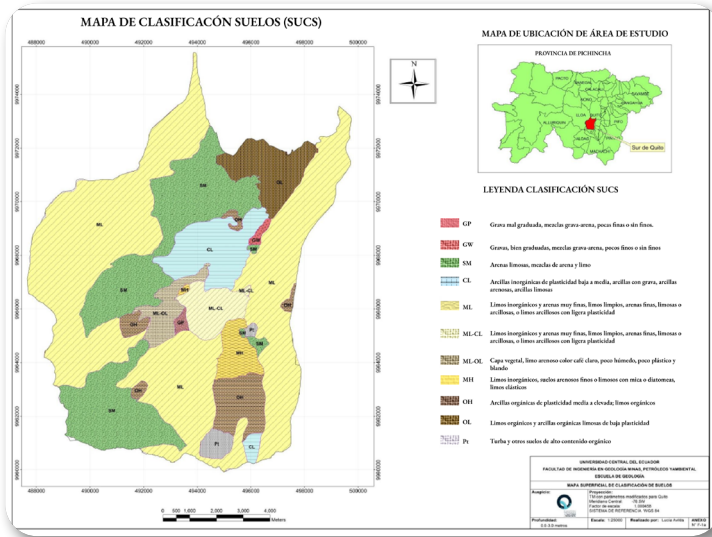
**Fuente:** EPMMOP (2024).

Existen varias investigaciones al respecto, la tesis denominada como “Caracterización geológica – geotécnica del sur de la ciudad de Quito”, de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, de la Universidad Central del Ecuador, presenta un mapa con la zonificación geotécnica en función de la clasificación SUCS, a una profundidad de 0 a 3 metros, en su estudio manifiesta que existen una presencia importante de suelos tipo ML (limos inorgánicos, arenas finas y limos arcillosos con ligera plasticidad), SM (arenas



limosas mezcladas con arena) y CL (arcillas inorgánicas, mezcladas con grava, arenas o limos) (Avilés, 2013, pág. 177). A continuación, se presenta la Figura 2 con el mapa de clasificación de suelos:

**Figura 2.** Mapa de clasificación de suelos (SUCS), sur de Quito D.M



**Fuente:** Avilés (2013, pág. 177).

La EPMMOP, encargada de la ejecución de obra pública integral de infraestructura vial, cuenta con la provisión de todos los materiales necesarios, extraídos de las minas de Pintag y Rancho la Paz, la última ubicada en el kilómetro 14 de la vía Aloag – Santo Domingo.

El asfalto necesario para la conformación de la capa de rodadura proviene de la refinería de Esmeraldas, donde se refinan asfaltos del tipo AC-20 y RC-250. Así también, cuentan con una planta de producción de mezcla asfáltica, ubicada en la intersección de las avenidas Simón Bolívar e Interoceánica. Con esta información se puede identificar y caracterizar los materiales por su resistencia como la modulación elástica, estabilidad de la mezcla, así también como su valor de soporte conocido como CBR.



Respecto a las condiciones climatológicas, se podrá tomar para Quito, las precipitaciones máximas y rangos de temperatura necesarios para estimar los porcentajes del tiempo en el que un pavimento está expuesto a niveles de saturación para este tipo de estudio. Actualmente, los países de México y España han podido desarrollar catálogos de secciones estructurales de pavimento, con alcances y características similares al descrito en este documento.

## Resultados

Con la recolección, identificación y clasificación de esta información, se pueden realizar cálculos estructurales relacionando las cargas con las zonas establecidas, para obtener paquetes de estructura de pavimento, que se podrán aplicar para calles o carreteras nuevas de diferentes funcionalidades, deterioros (deformaciones y/o agrietamientos por fatiga), niveles de confianza, entre los parámetros relevantes. En un período establecido de diseño y bajo una proyección de cargas que se esperaría en ese tiempo.

Es posible que un determinado tramo vial se asemeje por sus características particulares, a una o más opciones del catálogo propuesto, es ahí donde el técnico o diseñador deberá tomar el paquete o estructura del pavimento más afín o apegada a las condiciones de su vía puntual, considerando la disponibilidad de materiales, distancias de acarreo y precio.

La EPMMOP ha contratado trabajos similares, que podrían replicarse con un enfoque más amplio y ajustando su alcance para tener la cobertura ideal que permita obtener un catálogo con estas características. Tal es el caso del estudio denominado “Evaluación de la condición funcional y estructural del pavimento para la rehabilitación de varias calles en las parroquias de la ecuatoriana, Chillogallo, Chilibulo, La Argelia, La Libertad e Itchimbia del DMQ” (Ecuatest Cía. Ltda. et al., 2024), muestra una relación del tráfico, período de diseño, número estructural, deflexión característica para vías perimetrales, ejes longitudinales y transversales en un cuadro que



lo llaman “Catálogo de soluciones estructurales”, en el mismo hay recomendaciones de intervención como: fresado de capa de rodadura existente, excavación de la capa granular superior y tendidos de base y capa de rodadura asfálticas en espesores que van desde 5 hasta los 10 centímetros. La Tabla 1 presenta parte del resultado de este estudio.

**Tabla 1.** *Catálogo de soluciones estructurales Rosy PMS-Rehabilitación estructural con reciclajes*

Vías	Perimetrales			Residenciales
Tráfico	0-500	500-1500	>1500	0-150
SN fut	4.0	4.5	5.0	3.0
Periodo de diseño (años)	20	15	10	20
<b>Solución 1</b>	Dmáx: 550-800 $\mu\text{m}$	Dmáx: 450-700 $\mu\text{m}$	Dmáx: 400-650 $\mu\text{m}$	Dmáx: 750-1000 $\mu\text{m}$
	Fresado h = 10 cm	Fresado h = 12.5 cm	Fresado h = 12.5 cm	Fresado h = 7.5 cm
	Bacheo ( $\approx$ 3%)	Riego de adherencia	Riego de adherencia	Bacheo ( $\approx$ 3%)
	Riego de adherencia	Base asfáltica h = 7.5 cm	Base asfáltica h = 7.5 cm	Riego de adherencia
	Capa asfáltica h = 10 cm	Riego de adherencia	Riego de adherencia	Capa asfáltica h = 7.5 cm
	COSTO: 17,57 US\$/m <sup>2</sup>	Capa asfáltica h = 5 cm	Capa asfáltica h = 5 cm	COSTO: 13,33 US
		COSTO: 19,37 US\$/m <sup>2</sup>	COSTO: 19,37 US\$/m <sup>2</sup>	
<b>Solución 2</b>	Dmáx: > 800	Dmáx: > 700	Dmáx: $\leq$ 650	Dmáx: > 1000
	Fresado capa asfáltica + excavación en capa granular h=15 cm	Fresado capa asfáltica + excavación en capa granular h=17.5 cm	Fresado capa asfáltica + excavación en capa granular h=17.5 cm	Fresado capa asfáltica + excavación en capa granular h=12.5 cm
	Reconom formación de la superficie	Reconom formación de la superficie	Reconom formación de la superficie	Reconom formación de la superficie
	Riego de imprimación	Riego de imprimación	Riego de imprimación	Riego de imprimación
	Riego de imprimación	Base asfáltica h = 10 cm	Base asfáltica h = 10 cm	Base asfáltica h = 7.5 cm
	Base asfáltica h = 10 cm	Riego de adherencia	Riego de adherencia	Riego de adherencia
	Riego de adherencia	Capa asfáltica h = 7.5 cm	Capa asfáltica h = 7.5 cm	Capa asfáltica h = 5 cm
	Capa asfáltica h = 5 cm	COSTO: 28,63 US\$/m <sup>2</sup>	COSTO: 28,63 US\$/m <sup>2</sup>	COSTO: 20,7 US\$/m <sup>2</sup>
	COSTO: 24,72 US\$/m <sup>2</sup>			

**Fuente:** Ecuatest Cía. Ltda. et al. (2024).



Así se estimaron los criterios base para elaborar este documento: rangos de tráfico, estados del pavimento, disposición y tipo de materiales. Así se cumpliría con la importancia de tal documento, ya que representaría una herramienta útil para tomar decisiones técnicas de manera rápida y sin desapegarse del resultado obtenido por un cálculo particular del pavimento exclusivamente para determinado tramo vial, sea calle o carretera que se esté analizando.

Finalmente, se estima que un trabajo de esta envergadura tardará varios años en cumplirlo, y para eso es importante que la investigación la impulsen institutos, universidades o afines; empresas especializadas en temas de vialidad, más el involucramiento o acompañamiento de entidades públicas rectoras de la vialidad, así como organismos de control, y el Instituto Nacional de Normalización (INEN), que se incluyan en el proceso y sean testigos de ello. Paralelamente, será necesario contar con el apoyo de entidades públicas de gobiernos extranjeros donde hayan implementado este tipo de catálogos como los trabajos de la república mexicana y española. Solo así se considera viable proceder o proponer un cambio o reforma a la normativa vigente para lograr un documento técnico de apoyo que ofrezca ventajas como la de facilitar la intervención vial, agilizar los procesos de conservación y manteniendo de las vías enmarcadas en el ámbito de este documento.

### **Contribución de autores (CRedit)**

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.

### **Referencias**

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for design of pavement structures*. AASHTO.



- Avilés, L. R. (2013). *Caracterización geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]*. Repositorio UCE.
- Decreto Ejecutivo No. 206. (2024, 22 de marzo). *Reglamento General a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública*. Registro Oficial Suplemento 524-3S.
- Ecuatest Cía. Ltda., Empresa de Insur Holding & Inholding S.A. (2024). *Evaluación de la condición funcional y estructural del pavimento para la rehabilitación de varias calles en las parroquias de la Ecuatoriana, Chillogallo, Chilibulo, La Argelia, La Libertad e Itchimbía del DMQ (Contrato No. 001-GEF-EPMMOP-2023)*. Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas.
- EMMOP (2024). *Visor Geográfico Distrito Metropolitano de Quito*. <https://geoquito.quito.gob.ec/portal/apps/webappviewer/index.html?id=4a554c6f046349ea84929f6ebb99d514>
- Ministerio de Fomento de España. (2010). *Norma 6.1-IC Secciones de firme*. Dirección General de Carreteras. <https://www.aulacarreteras.com/wp-content/uploads/2018/06/6.1-IC-Secciones-de-firme.pdf>
- Pérez-Martínez, G. A., Pazmiño-Chiluiza, H. V., Brito-Noboa, J. P., & Pérez-Martínez, R. L. (2024). Análisis de ciclo de vida (ACV) de pavimentos urbanos en la zona de planificación 3 del Ecuador. *MQRInvestigar*, 8(3), 2902-2924. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.2902-2924>
- Ramírez, A., & Valenzuela, M. (2024). Modelo de mantenimiento de vías, con pavimento flexible de la zona central del Ecuador. *Ciencia Digital*, 8(2), 86-102. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i2.2876>



- Reinoso, M. Á., & Sanmartín, P. E. (2022). *Desarrollo de un catálogo de secciones estructurales de pavimentos flexibles y rígidos enfocado en las carreteras de la red vial de la provincia del Azuay, aplicando la metodología de diseño AASHTO-93* [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. Repositorio UDA. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12266>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México. (2012). *Catálogo de secciones estructurales de pavimentos para las carreteras de la República Mexicana*. Dirección General de Servicios Técnicos.
- Servicio Nacional de Contratación Pública. (2023). *Reglamento a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública*. SERCOP. <https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/normativa/>









## Base-cemento para pavimentos: caso de aplicación Cariamanga – Cantón Calvas – Loja

Chasi-Pesantez, Santiago<sup>1</sup>; Iñiguez-Medina, Carlos<sup>2</sup>; Balladarez-Cueva, Edgar<sup>3</sup>; &  
Vásquez-Monteros, Javier<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, bschasi@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, cainiguez2@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, egballadarez@utpl.edu.ec

<sup>4</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, cjvasquez23@utpl.edu.ec

### Introducción

El objetivo principal de una capa de base-cemento es aumentar la capacidad portante del suelo natural o subrasante, y distribuir adecuadamente las cargas inducidas por el tránsito hacia las capas inferiores. A diferencia de una base granular sin estabilizar, la inclusión de cemento permite una mejora sustancial en las propiedades mecánicas del material, tales como la resistencia a la compresión, la durabilidad y la rigidez (Jiménez Salas et al., 2002). Este refuerzo estructural reduce la deformación plástica bajo cargas repetidas y minimiza el riesgo de fallas prematuras en el pavimento, como roderas o agrietamientos por fatiga (AASHTO, 1993).

El proceso constructivo de una capa de base-cemento requiere una ejecución cuidadosa para asegurar la homogeneidad de la mezcla y su adecuada compactación. El mezclado puede realizarse in situ mediante motoniveladora o estabilizadora de suelos, seguido de la distribución uniforme de la mezcla sobre el área de trabajo. Después, se procede a la compactación mecánica con rodillo hasta alcanzar la densidad especificada, y finalmente se cura la capa para garantizar una hidratación adecuada del cemento. Este último paso es fundamental para evitar la evaporación prematura del agua, lo que podría comprometer la ganancia de resistencia y durabilidad del material (PCA, 1992).

Entre las principales ventajas del uso de base-cemento se destacan su buena resistencia estructural, la disminución del espesor total del pavimento, la reutilización de materiales locales o reciclados, y su comportamiento favorable frente a la acción del agua y cargas



repetitivas (Instituto Nacional de Vías, 2018). Sin embargo, su rigidez también puede representar una desventaja si no se consideran adecuadamente las juntas o capas de transición, ya que pueden generarse grietas de reflexión que afecten las capas superiores, especialmente si estas son flexibles como en el caso del asfalto (NCHRP, 2004).

En la Provincia de Loja, Cantón Calvas, Ciudad de Cariamanga, calle 18 de noviembre entre la calle José Ángel Palacios y la Avenida del Ejército, vía adoquinada con alto tráfico vehicular circulan diariamente buses dirigidos al terminal terrestre de Cariamanga y vehículos de carga pesada, además de los vehículos particulares que transitan por la zona. La combinación de estos factores ha provocado deformaciones visibles en el adoquinado a lo largo de toda la calle, esto es evidencia de fatiga del suelo portante.

El presente estudio tiene como objetivo principal proveer una alternativa funcional y asequible para mejorar la calidad vial y seguridad de la calle 18 de noviembre aplicando una capa de base-cemento. Este material compuesto es ampliamente utilizado en la construcción de infraestructuras viales, especialmente como capa estructural dentro del sistema de pavimento, es una mezcla homogénea de materiales granulares como son los agregados pétreos y que son estabilizados con un porcentaje

**Figura 1.** Calle 18 de noviembre entre José Ángel Palacios y la Avenida del Ejército, Ciudad de Cariamanga



**Fuente:** Google Maps (2025).



adecuado de cemento Portland y agua. Esta combinación resulta en una estructura semirrígida que proporciona una base resistente y duradera, mejorando significativamente la capacidad de soporte y la vida útil del pavimento (Rodríguez et al., 2016).

## **Materiales y métodos**

La preparación de una capa de base-cemento requiere material granular tratado, grava triturada con granulometría bien gradada usada como base, obtenida de una cantera local, cemento portland tipo I, el contenido de este varía del 3 % al 7 % del peso del material granular, agua potable usada para alcanzar la humedad óptima de compactación y curado, el material es mezclado in situ y colocado usando una motoniveladora o estabilizadora de suelos, finalmente se compacta la capa usando un rodillo para su posterior curado.

Para la colocación, el contenido de cemento varía entre el 3 %, 5 % y 7 % en peso del material seco, aunque pueden adoptarse valores mayores para suelos de baja calidad o proyectos que demanden altos niveles de desempeño estructural (MTC, 2013). Un contenido excesivo puede generar una mezcla demasiado rígida y propensa a fisuras por retracción, mientras que un contenido insuficiente resultará en una estructura inestable y poco durable (Del Castillo, 2011).

La caracterización del material granular se realiza mediante ensayos en laboratorio de granulometría, equivalente de arena y CBR (California Bearing Ratio). La compactación óptima de la capa se verifica con el ensayo de Proctor modificado, obteniendo densidad máxima y humedad óptima. Se extraen muestras de la capa de base-cemento para ser ensayadas, estas permanecen en condiciones controladas de curado durante 7 días y luego se someten al ensayo de resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad.



## Resultados

En la Tabla 1 se encuentran los siguientes resultados en función del contenido de cemento. Se evidenció un incremento significativo en la resistencia y rigidez con el aumento del contenido de cemento en el material granular (PCA, 1992; Del Castillo, 2011). Este comportamiento es característico en mezclas estabilizadas, donde la hidratación del cemento forma una matriz cementante más densa que mejora las propiedades mecánicas del material. Sin embargo, también se observó una reducción en la ductilidad, lo cual debe considerarse para evitar fisuramientos prematuros, especialmente en capas sin juntas adecuadas o expuestas a retracción por secado (NCHRP, 2004; Instituto Nacional de Vías, 2018).

**Tabla 1.** Resultados de los ensayos con el Portland Cement Association (PCA)

Porcentaje de Cemento (%)	Resistencia a compresión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
3%	2,8	1200
5%	4,6	2100
7%	6,3	3000

**Fuente:** NCHRP (2004) e Instituto Nacional de Vías (2018).

El uso de una capa de base-cemento ha sido efectiva, además es una alternativa funcional y asequible, que permitió mejorar la calidad, seguridad y proporcionar estabilidad a la calle 18 de noviembre logrando una aceptable resistencia a la compresión, ideal para soportar cargas pesadas en zonas de alto tráfico.

La incorporación de una base-cemento en la calle 18 de Noviembre (Cariamanga) es técnica y económicamente viable para soportar tránsito pesado y corregir deformaciones del adoquinado. Los ensayos muestran que elevar el contenido de cemento de 3% a 7% incrementa la resistencia a compresión ( $\approx 2,8$  a  $6,3$  MPa) y el módulo ( $\approx 1.200$  a  $3.000$  MPa), mejorando la capacidad portante; no obstante, el aumento de rigidez exige controlar la retracción y el riesgo de fisuración. En



este contexto, una dosificación en el rango del 5 % (ajustable según material local) ofrece un buen equilibrio resistencia–ductilidad, siempre que se garantice granulometría adecuada, humedad óptima y curado efectivo, además de juntas y capas de transición apropiadas. Con estos cuidados, la solución reduce el espesor total requerido, extiende la vida útil del pavimento y mejora la seguridad de la vía.

### Contribución de autores (CRediT)

Chasi-Pesantez, Santiago; Iñiguez-Medina, Carlos; y Balladarez-Cueva, Edgar participaron principalmente en la conceptualización, desarrollo metodológico, recolección y análisis de datos, así como en la redacción del borrador original del artículo. Vásquez-Monteros, Javier contribuyó con la revisión crítica del contenido, corrección de estilo, validación del modelo propuesto y supervisión general del manuscrito.

### Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures*. <https://habib00ugm.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/05/aashto1993.pdf>
- ASTM International. (2017). *Standard test methods for compressive strength of molded soil-cement cylinders (ASTM D1633-17)*. <https://store.astm.org/d1633-17.html>
- Del Castillo, H. (2011). *Estabilización de suelos con cemento para pavimentos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Google Maps. (2021). *Ubicación*. <https://www.google.com/maps>
- Instituto Nacional de Vías. (2018). *Manual de diseño de pavimentos para bajas, medias y altas especificaciones*.



- Jiménez Salas, J., Justo Alpañés, J. L., & Serón Ubach, J. (2002). *Geotecnia y cimientos. Volumen III: Cimentaciones y estructuras de contención*. Rueda.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2013). *Manual de carreteras: Suelos, geología, pavimentos*. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/mtc%20normas/arch\\_pdf/man\\_7%20sggp-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mtc%20normas/arch_pdf/man_7%20sggp-2014.pdf)
- National Cooperative Highway Research Program. (2004). Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures (NCHRP 1-37A). *Transportation Research Board*. <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2004/docs/s13/olidis.pdf>
- Portland Cement Association. (1992). *Soil-cement inspector's manual (3rd ed.)*. [https://www.cement.org/wp-content/uploads/2024/07/pa050-03\\_reduced-size.pdf](https://www.cement.org/wp-content/uploads/2024/07/pa050-03_reduced-size.pdf)
- Portland Cement Association. (2006). *Guide to cement-treated base (CTB)*. <https://secement.org/wp-content/uploads/2017/04/EB236.pdf>
- Rodríguez, J., Martínez, A., & Guerrero, A. (2016). Diseño y construcción de bases estabilizadas con cemento en pavimentos. *Revista Ingeniería Civil*.









# Implementación de pavimento articulado de alta permeabilidad para un drenaje sostenible

Cabezas-Almeida, Josué<sup>1</sup> & Ulloa-Gallegos, Carlos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, caulloa5@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jcabezas@utpl.edu.ec

## Introducción

En los últimos años, Ecuador ha experimentado alteraciones significativas en su régimen climático, manifestadas en una prolongada sequía seguida por precipitaciones intensas de corta duración. Estas condiciones extremas, atribuidas al cambio climático, han provocado el colapso de la infraestructura vial en diversas regiones del país, ocasionando inundaciones que comprometen la seguridad, funcionalidad y confort de los usuarios del sistema de transporte (MAATE, 2022).

El incremento de lluvias torrenciales ha superado los periodos de retorno considerados en los diseños hidráulicos tradicionales, afectando gravemente la operatividad de los sistemas de drenaje existentes. Este fenómeno se ha vuelto más frecuente, con eventos pluviales considerados de recurrencia centenaria ocurriendo en intervalos significativamente menores (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025). Ante esta situación, resulta imperativo replantear el diseño de drenajes viales para garantizar una evacuación eficiente de aguas pluviales y prevenir anegamientos que incrementen el riesgo de desastres en zonas urbanas y rurales.

Entre los factores que intensifican las inundaciones se destacan: las precipitaciones estacionales intensificadas, la limitada capacidad hidráulica de los sistemas de drenaje urbano, la baja permeabilidad de las cuencas y los efectos del cambio climático, los cuales alteran los ciclos hidrológicos locales (Torres & Vásquez, 2020). Según datos de los sistemas de monitoreo hidrometeorológico, las regiones de la Sierra norte y central del país presentan los mayores índices de



precipitación, aunque los efectos de las inundaciones se evidencian en todo el territorio nacional, incluyendo tanto zonas bajas como elevadas (MAATE, 2022).

En el contexto de la normativa establecida por el MAATE (2003) en Ecuador, el diseño de vías urbanas contempla sistemas convencionales de drenaje que incluyen cunetas, pendientes de bombeo y cajas de rejillas. No obstante, estos métodos presentan limitaciones significativas en su aplicación en vías de bajo tráfico, las cuales, al contar con un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) menor a 300 vehículos, clasificadas como tipo V y IV (vecinales y colectoras), requieren soluciones hidráulicas técnicamente viables y de bajo costo.

Como solución se destaca el uso de pavimentos permeables, como los adoquines permeables. Diversos estudios han demostrado su efectividad en la reducción de caudales pico, la mejora en la calidad del agua y la disminución de los volúmenes de escorrentía superficial (Stovin *et al.*, 2012; Hood *et al.*, 2007). Estos pavimentos permiten infiltrar el agua de lluvia en sus juntas, dirigiéndose hacia subcapas filtrantes que la conducen controladamente hacia la red de drenaje o al subsuelo, contribuyendo a una gestión integral del recurso hídrico.

## **Materiales y métodos**

El diseño de pavimentos permeables se basó en la necesidad de soportar las cargas vehiculares, por lo que las capas subyacentes se dimensionan para evitar asentamientos o deformaciones. Para cumplir con estos requerimientos, se optó por la utilización de adoquines permeables, seleccionados por su facilidad de instalación, mantenimiento reducido, durabilidad y capacidad de facilitar el drenaje mediante aberturas estratégicamente diseñadas.

En el proceso de instalación, se emplearon agregados adecuados para el empotramiento o relleno de juntas, para asegurar la estabilidad del sistema y mantener la capacidad de infiltración del pavimento.



Los adoquines utilizados cumplieron con especificaciones técnicas detalladas (Tabla 1), lo que permitió su aplicación en vías con tráfico de TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) bajo, asegurando su funcionalidad a lo largo de la vida útil estimada del proyecto.

Durante el proceso constructivo se consideraron criterios técnicos específicos orientados a optimizar la capacidad de infiltración y la estabilidad estructural del pavimento. Posteriormente a la colocación de los adoquines, se implementaron capas de soporte, sustituyendo la tradicional cama de arena por un agregado que facilita una rápida infiltración del agua. Conforme a la norma ASTM N.º 8, se utilizó piedra granular de 6 mm, la cual permite alcanzar una tasa de infiltración de hasta 12,700 mm/hora, aprovechando el 40% de vacíos presentes en el material (ASTM, 2020).

Previamente a la instalación de esta capa, se dispuso una capa de soporte adecuada para pavimentos con bajo flujo vehicular. Con base en estudios de diseño y experiencias previas, se determinó la necesidad de una subbase con un espesor de 200 mm, valor considerado mínimo y eficaz para este tipo de tránsito según lo establecido por la AASHTO (AASHTO, 2018). Esta sub-base se conformó con un material de granulometría abierta, angular y triturada, correspondiente a la clasificación ASTM N.º 2, con partículas pétreas de entre 50 y 63 mm, que permiten el almacenamiento temporal y la absorción eficiente del agua.

Cuando se requirió una base adicional según el diseño estructural, se aplicó un espesor mínimo de 100 mm, compuesto por agregado triturado, angular y de grado abierto, según la norma ASTM N.º 57, con tamaños de 12,5 y 25 mm (ASTM, 2019).



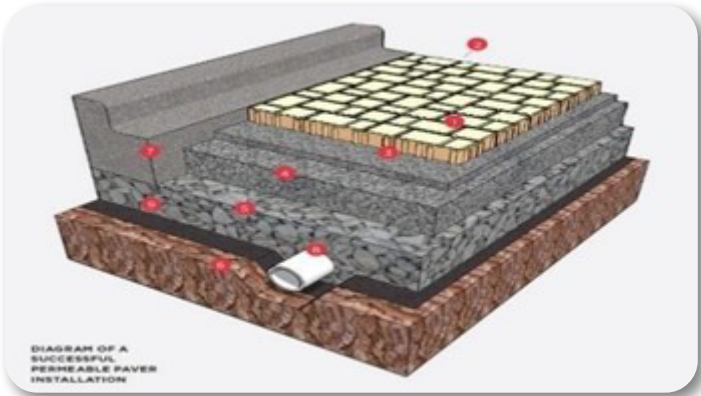
**Tabla 1.** Especificaciones técnicas de adoquines con alta permeabilidad. Adoquín vibropresado, bicapa, con la máxima saturación de color en la capa superior

Porcentaje de Cemento (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
Dimensiones (cm)	13 x 25 cm
Espesor	6 cm
Peso por m2	130 kg. Aproximadamente
Piezas por m2	32 unidades
Resistencia promedio	400 kg/cm2 a la compresión simple
Colores	A elección
Uso recomendado	Tráfico peatonal y vehicular liviano.
Instalación	La arena de empuje que va colocada entre adoquines para la instalación de estos, no debe ser menor al 90% de la altura del adoquín para evitar desplazamiento.
Abrasión	≤ 25mm. (inferior o igual a 25mm.)
Absorción	≤ 6% (inferior o igual a 6%)

Fuente: AASHTO (2018) y ASTM (2020).

Dado el uso de capas de agregados triturados, se instalaron estabilizadores de base, como geomallas biaxiales, con el fin de mejorar la distribución de esfuerzos y asegurar la estabilidad estructural del sistema. Finalmente, se incorporó una tubería de recolección para drenaje subterráneo, complementada con una geomembrana diseñada para facilitar la captación y conducción eficiente del agua (véase Figura 1).

**Figura 1.** Diagrama de estructura de pavimentos permeables



Fuente : Padua Materiales (2010).



## Resultados

Los resultados obtenidos permiten corroborar su eficacia en el contexto de vías de tercer orden, especialmente en zonas con pendientes reducidas y alta incidencia de precipitaciones.

En términos de resistencia estructural, los adoquines analizados superaron los  $350 \text{ kg/cm}^2$ , valor mínimo requerido para vías de tráfico bajo con restricción a vehículos pesados y velocidades menores a 50 km/h. Este dato es relevante, ya que garantiza la durabilidad del pavimento en condiciones operativas reales, asegurando tanto la integridad de la estructura como la seguridad de los usuarios, conforme a las especificaciones técnicas establecidas para este tipo de infraestructura (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Respecto a la eficiencia hidráulica, se observó un incremento significativo en el tiempo de desalojo del agua superficial en comparación con los sistemas convencionales, como las rejillas de captación y canales superficiales. Esta mejora es particularmente notoria en tramos con pendientes mínimas, donde tradicionalmente se presentan problemas de acumulación y estancamiento de agua, lo cual contribuye a mejorar las condiciones de transitabilidad y reducir riesgos de siniestros durante la temporada invernal.

Los resultados obtenidos demuestran que los adoquines permeables constituyen una alternativa técnica viable y eficiente para el manejo de aguas pluviales en vías de tercer orden. Su resistencia estructural y capacidad de infiltración superan los estándares mínimos requeridos, mejorando la seguridad vial en épocas lluviosas. No obstante, su aplicación debe realizarse con criterios técnicos rigurosos, considerando aspectos hidrológicos locales y análisis económicos previos, para asegurar su adecuada funcionalidad y sostenibilidad.

La implementación de pavimentos permeables de alta infiltración, como los adoquines vibroprensados estudiados, demuestra un desempeño prometedor tanto desde el punto de vista



estructural como hidráulico en vías de bajo tránsito. La resistencia a la compresión y la estabilidad proporcionada por las subbases de agregados angulares y geomallas biaxiales permiten garantizar la durabilidad del pavimento, mientras que la capacidad de infiltración significativamente superior a los sistemas tradicionales contribuye a reducir la escorrentía superficial y la ocurrencia de inundaciones. Sin embargo, la efectividad del pavimento permeable depende de un mantenimiento adecuado de las juntas y del diseño hidráulico de las capas subyacentes, factores que deben ser cuidadosamente monitoreados a lo largo de la vida útil de la infraestructura.

Además, la evaluación de su desempeño en condiciones extremas de precipitación y en diferentes tipos de suelo aún requiere estudios complementarios que permitan establecer criterios de diseño adaptativos al cambio climático.

El estudio confirma que los adoquines permeables constituyen una solución técnicamente viable para vías de bajo tránsito, combinando eficiencia hidráulica y resistencia estructural. Su implementación contribuye a una gestión sostenible del agua pluvial, mejora la seguridad vial y reduce riesgos de inundaciones urbanas y rurales. Como líneas de investigación futura, se sugiere:

1. Evaluar el desempeño de pavimentos permeables bajo tráfico mixto y condiciones climáticas extremas prolongadas.
2. Analizar la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real para la eficiencia de drenaje y mantenimiento predictivo.
3. Explorar el uso de materiales reciclados o aditivos innovadores que incrementen la durabilidad y capacidad de infiltración del pavimento.
4. Estudiar la interacción de pavimentos permeables con la calidad del agua infiltrada y la recarga de acuíferos locales.



## Contribución de autores (CRedit)

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.

## Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). *A policy on geometric design of highways and streets (7th ed.)*. AASHTO.
- ASTM International. (2019). ASTM C1701/C1701M – Standard test method for infiltration rate of in place pervious concrete.
- ASTM International. (2020). *ASTM standard specifications for aggregates*. ASTM International.
- Hood, M. J., Clausen, J. C., & Warner, G. S. (2007). Comparison of stormwater lag times for low impact and traditional residential development. *Journal of the American Water Resources Association*, 43(4), 1036–1046. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00085.x>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0534: Adoquines de concreto*. Requisitos. INEN.
- Menavidas, M., Scheffczyk, K., Urrutia, M., Huerta, B., & Walz, Y. (2021). *Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador*, 41(10), 10–11. [https://collections.unu.edu/eserv/UNU:8434/VALE\\_Flood\\_Risk\\_Assesment\\_Report\\_Ecuador\\_SPA\\_FINAL\\_META.pdf](https://collections.unu.edu/eserv/UNU:8434/VALE_Flood_Risk_Assesment_Report_Ecuador_SPA_FINAL_META.pdf)
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2022). *Informe de evaluación de riesgos de inundación en el Ecuador*. Gobierno del Ecuador.



- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2003). *Normas de diseño geométrico de carreteras* (476[1]). [https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera\\_2003-ecuador.pdf](https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf)
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2012). *Normas Ecuatorianas de Construcción Vial – NEC Vial*.
- Padua Materiales. (2010). Materiales de construcción permeables. <https://paduamateriales.com/materiales-de-construccion-permeables/>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2025). *Mapa de monitoreo de amenaza de inundaciones bajo pronóstico de precipitaciones*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/monitoreo-de-inundaciones/>
- Stovin, V. R., Jörgensen, A., & Lambourne, J. (2012). Street trees and stormwater management. *Arboricultural Journal*, 34(4), 231–245. <https://doi.org/10.1080/03071375.2012.9756794>
- Torres, C., & Vásquez, R. (2020). Variabilidad climática y gestión de cuencas urbanas en zonas andinas. *Revista Ecuatoriana de Climatología*, 12(1), 45–60.









# Diseño estructural de pavimento flexible para ampliación y rehabilitación de la vía E25 del tramo San Juan–Babahoyo, Ecuador

Carvajal-Cozzarelli, Luis<sup>1</sup> & Marcillo-Gavilanez, Danny<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, lecarvajal4@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, domarcillo@utpl.edu.ec

## Introducción

El corredor vial E25, en su tramo San Juan – Babahoyo, ubicado en la provincia de Los Ríos, Ecuador, representa un eje estratégico para el transporte de bienes, productos agrícolas y personas, conectando zonas de alta producción con los principales centros de distribución del país (MTOP *et al.*, 2024). Sin embargo, la infraestructura vial existente presenta un acelerado y progresivo deterioro estructural y funcional, manifestado principalmente en baches, fisuras, deformaciones y pérdida de capacidad portante. Estas fallas afectan directamente a los usuarios locales, transportistas, productores agrícolas y habitantes de la región, incrementando los costos de operación vehicular, los tiempos de viaje y el riesgo de siniestralidad vial.

El análisis de campo ha evidenciado que la causa principal del problema radica en el aumento sostenido del tránsito pesado, así como en la deficiente calidad geotécnica de la subrasante, caracterizada por suelos limosos arcillosos de alta plasticidad, baja resistencia mecánica (CBR bajo) y elevada susceptibilidad a la saturación hídrica (MTOP *et al.*, 2024). Estudios previos han demostrado que la adecuada caracterización de la subrasante y el correcto dimensionamiento de las capas estructurales mediante métodos internacionales, como la Guía AASHTO para diseño de pavimentos (1993), son fundamentales para mejorar la durabilidad y el desempeño de las vías (AASHTO, 1993).



Ante esta problemática, el objetivo principal de la investigación es analizar y determinar la estructura óptima del pavimento flexible para la ampliación a cuatro carriles del tramo San Juan – Babahoyo, considerando horizontes de diseño de 5 y 10 años, conforme a la normativa internacional y las especificaciones técnicas nacionales (MTOP, 2002; AASHTO, 1993). El estudio contempla la evaluación comparativa de tres alternativas estructurales: base granular, base asfáltica y base cementada, tomando en cuenta parámetros como tránsito proyectado (ESALs), módulos de resiliencia (MR), confiabilidad estructural y comportamiento hidráulico. Se espera como resultado anticipado seleccionar la alternativa que proporcione el mejor balance entre desempeño técnico, durabilidad y costo-eficiencia, con el fin de proponer una solución sostenible y técnicamente replicable para futuras intervenciones en la Red Vial Estatal ecuatoriana.

## **Materiales y métodos**

El estudio se desarrolló conforme a los principios éticos y técnicos de la ingeniería civil, centrado en el tramo San Juan – Babahoyo del corredor vial E25. Se utilizó información oficial del MTOP et al. (2024) y de la Prefectura de Los Ríos (2024), aplicando la metodología AASHTO 1993 junto con las especificaciones del MTOP (2002), considerando horizontes de diseño de 5 y 10 años.

Se realizó un análisis geotécnico de la subrasante mediante pruebas de CBR, granulometría, contenido de humedad y límites de plasticidad, determinando la capacidad portante inicial y su variabilidad a lo largo del corredor. Para el dimensionamiento estructural del pavimento flexible, se evaluaron tres alternativas: base granular, base asfáltica y base cementada. Los espesores de cada capa se definieron según los parámetros de tránsito proyectado (ESALs), número estructural requerido y módulo de resiliencia, garantizando cumplimiento de criterios de durabilidad y seguridad estructural.



Los materiales utilizados en cada alternativa incluyeron:

- **Base granular:** agregados triturados de tamaño 25–50 mm, con clasificación ASTM N.º 2, compactados según especificaciones del MTOP para obtener densidad relativa  $\geq 95\%$ .
- **Base asfáltica:** mezcla asfáltica en caliente tipo AC-20, con agregado de granulometría controlada y contenido óptimo de betún para asegurar módulo resiliente adecuado y durabilidad frente al tránsito pesado.
- **Base cementada:** suelo-cemento estabilizado con 5 % de cemento Portland tipo I, curado con riego controlado y compactación según normas ASTM C1437 y MTOP (2002).

El proceso constructivo se acompañó de pruebas de laboratorio y de campo, incluyendo densidad in situ, contenido de humedad y resistencia a compresión simple de los materiales estabilizados. Además, se consideró la aplicabilidad hidráulica de las capas base y subbase, asegurando drenaje adecuado y evitando acumulación de humedad en la subrasante. Todo el diseño se validó mediante cálculo del número estructural (SN) y comparación con los valores requeridos para los horizontes de diseño.

## Resultados

Los principales parámetros de diseño estructural, como confiabilidad, módulo de resiliencia y CBR adoptado, se resume en la Tabla 1. El tránsito proyectado para los horizontes de 5 y 10 años se presenta en la Tabla 2, y los valores de número estructural (SN) requeridos se detallan en la Tabla 3.



**Tabla 1.** *Parámetros de diseño estructural utilizados*

Descripción	Valor
Confiabilidad	90%
MR	3750 psi
So	0,45
ΔPSI	2
CBR de diseño	2,50%

**Fuente:** Elaborado por el autor (2025).

**Tabla 2.** *Tránsito proyectado para los horizontes de 5 y 10 años*

Horizonte de diseño	Tránsito proyectado
5 años	1 2683,699
10 años	2 6620.956

**Fuente:** Elaborado por el autor (2025).

**Tabla 3.** *(SN) requerido según el horizonte de diseño*

Horizonte de diseño	Número estructural (SN)
5 años	4,22
10 años	5,17

**Fuente:** Elaborado por el autor (2025).

A partir de estos datos se evaluaron tres alternativas estructurales: base granular, base asfáltica y base cementada. Los espesores fueron dimensionados según normativa, y todo el proceso fue validado garantizando coherencia técnica, seguridad estructural y responsabilidad profesional. Se evaluaron tres alternativas estructurales: base granular, base asfáltica y base cementada. Cuyas dimensiones se especifican en la Tabla 4. Sus condiciones de aplicación, ventajas y limitaciones se resumen comparativamente en la Tabla 5. La alternativa con base cementada demostró mejor desempeño técnico y mayor durabilidad, aunque con un mayor costo inicial.

**Tabla 4.** *Diseño estructural estimado por alternativa*

Alternativa	Carpeta asfáltica (cm)	Base (cm)	Subbase (cm)	Mejoramiento (cm)	SN alcanzado
Base granular	15	25	30	35	4,3
Base asfáltica	6	20	35	35	4,4
Base cementada	11	25	30	35	4,5

**Fuente:** Elaborado por el autor (2025).

**Tabla 5.** *Comparación de alternativas estructurales*

Alternativa	Condición de uso	Ventajas	Desventajas
Base granular	Sectores sobre terraplén (CBR 20%)	Menor costo inicial, materiales disponibles	Mayor susceptibilidad a la humedad
Base asfáltica	Subrasante natural con alta humedad	Buena resistencia, menor espesor total	Mayor costo que la granular
Base cementada	Subrasante natural con necesidad mayor capacidad estructural	Alta durabilidad, excelente capacidad portante	Requiere control constructivo especializado

**Fuente:** Elaborado por el autor (2025).

Durante todo el proceso se aplicaron buenas prácticas técnicas y éticas, como el uso exclusivo de datos verificados, la adopción de criterios de diseño conservadores y la validación cruzada de resultados. Para la vía existente se recomendó una intervención funcional provisional mediante fresado superficial, reposición de mezcla asfáltica y bacheo selectivo, garantizando condiciones mínimas de operación hasta su futura concesión bajo modelo APP.

El análisis realizado evidencia que la elección de la estructura del pavimento influye directamente en la durabilidad y desempeño funcional del corredor E25. La alternativa de base cementada mostró mejor capacidad portante y menor susceptibilidad al deterioro por humedad, coincidiendo con estudios previos sobre pavimentos flexibles estabilizados con cemento en regiones tropicales húmedas



(Timm *et al.*, 2012; Bahar *et al.*, 2018). Sin embargo, el costo inicial más elevado y la necesidad de control constructivo especializado podrían limitar su aplicación en proyectos con presupuesto restringido (Hassan *et al.*, 2020).

El uso de base granular representa una opción económica y de fácil ejecución, pero su desempeño depende fuertemente de la compactación y el drenaje superficial, siendo vulnerable en tramos con alta precipitación o tráfico pesado, tal como reportan Kim *et al.* (2015) y Tashman *et al.* (2017). Por su parte, la base asfáltica ofrece un equilibrio entre resistencia y espesor de capa, aunque su vida útil puede ser menor si no se considera el mantenimiento preventivo y la rehabilitación periódica.

La aplicación de métodos de diseño internacionales, como AASHTO (1993), permite dimensionar adecuadamente la estructura del pavimento considerando las propiedades del suelo, tránsito proyectado y confiabilidad deseada. Estudios recientes destacan la importancia de integrar modelos probabilísticos para predecir la vida útil de pavimentos flexibles, incorporando variabilidad del tránsito y condiciones climáticas extremas, aspecto que podría incorporarse en futuros diseños en Ecuador (Wu *et al.*, 2019).

El diseño estructural del pavimento flexible para la ampliación del tramo San Juan – Babahoyo demostró que la alternativa con base cementada ofrece el mejor desempeño técnico y durabilidad, aunque con un mayor costo inicial. Las bases asfálticas y granulares constituyen alternativas viables dependiendo del presupuesto y del régimen de tránsito. La integración de estudios geotécnicos, hidráulicos y de tránsito es fundamental para asegurar la eficiencia funcional y estructural de los pavimentos en corredores estratégicos. Futuras investigaciones podrían enfocarse en:

1. Evaluar el comportamiento a largo plazo bajo condiciones climáticas extremas y tráfico creciente.





2. Analizar costos-beneficios de combinaciones híbridas de materiales (base cementada + asfáltica).
3. Incorporar técnicas de monitoreo en tiempo real para evaluar la respuesta estructural y funcional de pavimentos.
4. Aplicar modelos probabilísticos de vida útil y desempeño hidráulico.
5. Explorar el uso de aditivos o materiales reciclados para mejorar sostenibilidad y reducir huella ambiental.

### Contribución de autores (CRedit)

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.

### Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for design of pavement structures*. AASHTO.
- Bahar, E., Tutumluer, E., & Lytton, R. L. (2018). *Mechanistic-empirical evaluation of cement-stabilized pavement bases under moisture variations*. Transportation Research Record, 2672(48), 45–57. <https://doi.org/10.1177/0361198118775100>
- Hassan, R., Kim, Y. R., & Nazarian, S. (2020). Cost-effectiveness of pavement structural alternatives for low-volume roads. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 146(4), 04020024. <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000198>
- Kim, Y. R., Wang, J., & Harvey, J. T. (2015). Performance evaluation of granular pavement bases under tropical climates. *Construction and Building Materials*, 77, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.058>



Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2002). *Especificaciones para la construcción de caminos y puentes: MTOP-001-F-2002*. Dirección de Normativa Técnica.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, Subsecretaría de Infraestructura del Transporte, & Dirección Nacional de Estudios de la Infraestructura del Transporte. (2024). *Informe de pavimento: Estudios definitivos para la rehabilitación funcional del corredor vial E25 Buena Fe – Juján, construcción de carriles de rebasamiento en el tramo Quevedo – San Juan y ampliación a 4 carriles del tramo San Juan – Babahoyo*. Quito, Ecuador.

Munoz, J., & Ossa, L. (2021). Probabilistic modeling of pavement structural performance under climate variability. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(7), 900–912. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1645278>

Prefectura de Los Ríos. (2024). *Análisis de tráfico y proyecciones del corredor vial E25, tramo Buena Fe – Juján*. Dirección de Planificación Vial.

Tashman, L., Tashman, P., & Zegeer, C. (2017). Long-term performance of low-volume road pavements. *Journal of Transportation Research*, 15(3), 233–245. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.014>

Timm, D. H., Monismith, C. L., & Harvey, J. T. (2012). *Structural evaluation of cement-stabilized pavement bases*. Transportation Research Record, 2280, 15–24. <https://doi.org/10.3141/2280-03>

Wu, B., Li, Q., & Smith, K. (2019). Probabilistic pavement design considering traffic and climate uncertainty. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(10), 1155–1167. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1532724>







# Material fresado asfáltico como alternativa mejorada para el mantenimiento de vías rurales

Coronel-Vera, Rubén<sup>1</sup>, Encalada-Pinos, Carlos<sup>2</sup> & Maza, Bolívar Hernán<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, rdcoronel2@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, ceencalada6@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, bhmaza@utpl.edu.ec

## Introducción

En las parroquias rurales del Ecuador, la red vial está compuesta mayoritariamente por caminos de lastre, fundamentales para la movilidad y el transporte de productos y servicios. No obstante, estos caminos presentan alta vulnerabilidad a la erosión, especialmente en temporada invernal, debido a la limitada resistencia del material granular frente al tráfico y la escorrentía, lo que genera baches, cárcavas, interrupciones frecuentes y altos costos de mantenimiento (MTOP, 2012).

Un ejemplo de esta situación se observa en la parroquia San Joaquín, en el cantón Cuenca, con una red vial de 157,5 km de los cuales 44,03 km son caminos rurales. Según su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), el 27,76 % de las vías son de tercer orden con capa de rodadura de lastre, lo que evidencia la necesidad de estrategias de conservación más eficaces (GADPSJ, 2023).

En este contexto, una alternativa técnica viable es el uso de material fresado asfáltico o RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), proveniente del retiro de capas asfálticas deterioradas (Raigozo, 2023). Este material reciclado ha demostrado ser eficaz como base o sub-base estabilizada, y permite reducir el uso de materiales pétreos extraídos de canteras, disminuyendo así el impacto ambiental (Mora, 2020).

La investigación pretende evaluar la efectividad del RAP en el mantenimiento de vías rurales con superficie de lastre, analizando su desempeño frente a las condiciones climáticas y topográficas



características del entorno. Se busca contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para la conservación vial, técnicamente eficientes, económicamente viables y ambientalmente responsables, no solo en el sitio evaluado, sino en el país.

## **Materiales y métodos**

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo y comparativo, orientado a analizar el desempeño del material asfáltico en el mantenimiento de vías rurales. Considerando que el uso de cemento asfáltico recuperado constituye un material reciclable (Tsakoumaki & Plati, 2024). En este sentido este trabajo se basó en información técnica del Departamento Técnico del GAD Parroquial de San Joaquín, enfocándose en la vía posterior al Cementerio “Jardín de la Paz”.

Esta vía, originalmente compuesta por una capa de lastre, fue intervenida en 2024 con la incorporación de material fresado asfáltico. El análisis abarcó dos periodos: 2021-2022 (uso de lastre) y 2023-2024 (uso de fresado). Se recopiló información sobre frecuencia de mantenimiento, costos, comportamiento ante lluvias y reportes técnicos, verificados mediante inspección visual directa y registros del GAD. Sin perder el rigor de que los pavimentos recuperados son sostenibles y rentables por efectos de la combinación y recuperación de los pavimentos (Hand, 2022).

La vía estudiada tiene una longitud de 70 metros y un ancho de 4,50 metros, sin bordillos ni veredas. En ambas etapas se usó maquinaria vial básica: motoniveladora, rodillo, retroexcavadora y volquete. Las actividades incluyeron hidratación, escarificación, colocación del material (lastre o fresado), tendido, compactación y sellado. En la primera etapa se usó exclusivamente lastre; en la segunda, material fresado como reemplazo.



La validez de los resultados se respaldó con una ficha técnica de inspección visual, que permitió comparar el comportamiento funcional de la vía según el tipo de material empleado. Se evidenciaron diferencias estructurales relevantes. Estudios previos, respaldan el uso del fresado asfáltico por sus propiedades mecánicas favorables y su aporte a la sostenibilidad, al reutilizar residuos de pavimento. El ligante envejecido en el RAP obstruye su incorporación a una pequeña cantidad en el pavimento asfáltico lo que reduce posibilidades en la reducción de gases de efecto invernadero (Bolaji & Oyedepo, 2025).

## Resultados

Durante el período 2021-2022, la vía analizada contó con una capa de rodadura conformada por material de lastre, la cual presenta alta vulnerabilidad estructural ante las precipitaciones, especialmente entre los meses de enero y abril. El riesgo del cambio climático se asocia al asfalto recuperado y puesto en obra como un factor de alta seguridad en la lucha para reducir emisiones de gases de efecto invernadero (Bin, 2020).

En este lapso se ejecutaron nueve intervenciones de mantenimiento rutinario (cinco en 2021 y cuatro en 2022), con un costo acumulado de \$3 780,00, equivalente a \$33,43 por metro lineal intervenido. La ficha técnica de evaluación vial elaborada por el GAD Parroquial de San José (GAD-PSJ) evidenció deterioros recurrentes, tales como pérdida de material granular, formación de baches y disminución de la rasante, factores que afectaron significativamente la transitabilidad, el confort y la seguridad vehicular. En este sentido se debe tener en cuenta que el fin del período operativo enfrenta reparaciones importantes y costosas (Yu, 2025).

En contraste, durante el período 2023–2024, tras la implementación del material fresado asfáltico como capa de rodadura, no se registraron nuevas intervenciones de mantenimiento correctivo. La superficie se mantuvo estructuralmente estable, sin pérdida visible de material ni aparición de baches.



El gasto total en mantenimiento fue de \$1260,00, lo que representa una reducción del 33% respecto al periodo anterior. Los informes técnicos y monitoreos visuales efectuados por el GAD-PSJ confirmaron el buen comportamiento del fresado asfáltico frente a la acción combinada del agua y las cargas vehiculares, destacando su elevada cohesión, resistencia y durabilidad, incluso bajo condiciones climáticas adversas.

La Tabla 1 resume de manera comparativa la frecuencia de mantenimiento, los costos y las principales observaciones técnicas registradas durante ambos periodos de estudio.

Tabla 1. Muestra los costos técnicos registrados

Año	Tipo de material	Frecuencia de mantenimiento	Costo anual (USD)	Observaciones técnicas
2021	Lastre	5	2100	Baches recurrentes en época invernal
2022	Lastre	4	1680	Pérdida de material, baches
2023	Fresado asfáltico	2	840	Baches mínimos, sin pérdida de material
2024	Fresado asfáltico	1	420	Superficie estable

Fuente: Elaborado por el autor (2025).

Los resultados coinciden con los reportados por Flórez et al. (2024) señalan que el fresado asfáltico, cuando es adecuadamente escarificado, extendido y compactado, ofrece desempeño favorable en vías rurales gracias a su resistencia mecánica y capacidad de estabilización. De manera complementaria, Parra (2024) sostiene que la incorporación de este material en vías de tercer orden puede reducir en más del 50% la frecuencia de mantenimiento anual, generando beneficios económicos tangibles.

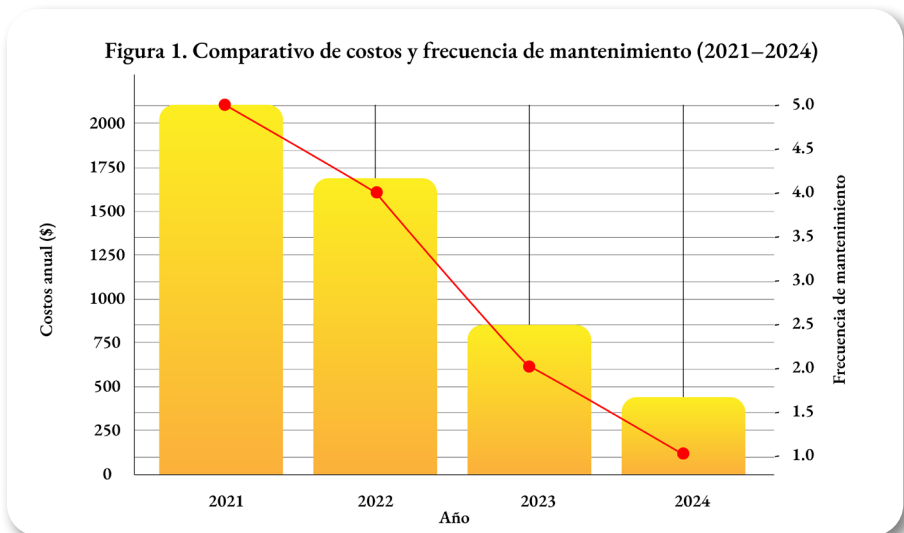


Asimismo, Mora (2020) destaca que el uso de materiales reciclados, como el fresado asfáltico, disminuye la explotación de fuentes pétreas y los costos logísticos, contribuyendo a mitigar el impacto ambiental del mantenimiento vial.

En síntesis, los resultados obtenidos por el GAD-PSJ refuerzan la viabilidad técnica y económica del uso del fresado asfáltico como alternativa de conservación vial. Se evidenció una mejora sustancial en la durabilidad estructural de la vía, una reducción significativa en los costos operativos y la eliminación de interrupciones por deterioro de la capa de rodadura.

En conclusión, la aplicación del material fresado asfáltico demostró ser una solución técnica eficiente, sostenible y económicamente viable frente a las limitaciones de las vías de lastre, validando su incorporación en estrategias de conservación vial basadas en sostenibilidad, eficiencia operativa y optimización de los recursos públicos.

**Figura 1.** *Comparativo de costos y frecuencia de mantenimiento (2021–2024)*



**Fuente:** Elaborado por el autor (2025).



El estudio evidenció que el material fresado asfáltico (RAP) constituye una alternativa técnica, económica y ambientalmente sostenible para el mantenimiento de vías rurales. Su aplicación como capa de rodadura permitió reducir en un 33% los costos de mantenimiento anual y eliminar la necesidad de intervenciones correctivas durante los dos años de observación (2023–2024), en comparación con el comportamiento del material de lastre utilizado en el periodo 2021–2022.

La incorporación del RAP mejoró la durabilidad estructural y la resistencia frente a la erosión y la humedad, mostrando un desempeño estable aún bajo condiciones climáticas adversas. Estos hallazgos coinciden con investigaciones recientes que confirman el alto potencial del RAP como sustituto de materiales pétreos naturales y su capacidad de mantener la integridad superficial de las vías de bajo volumen (Tsakoumaki & Plati, 2024; Shams et al., 2025; Gulzar et al., 2023).

Desde una perspectiva ambiental, el uso del fresado asfáltico contribuye a reducir la explotación de canteras y minimizar la huella de carbono asociada al mantenimiento vial, favoreciendo la economía circular en el sector de la infraestructura (Uygunoğlu, 2024; Wang et al., 2024). Además, su reutilización promueve la gestión sostenible de residuos viales, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9 y 11, que buscan infraestructuras resilientes y comunidades sostenibles.

### **Contribución de autores (CRedit)**

Coronel-Vera, Rubén y Encalada-Pinos, Carlos participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Bolívar Maza contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.



## Referencias

- Bin, B. (2020). *Research on quantitative assessment of climate change risk at an urban scale: Review of recent progress and outlook of future direction.*
- Bolaji, R. A., & Oyedepo, O. J. (2025). *Assessment of reclaimed asphalt pavement as recycled aggregates for green roads.* Smart Green Materials.
- Flórez, K. D., Rey Chaparro, K. Y., & Pinzón Enciso, D. A. (2024). *Evaluación financiera del uso de fresado estabilizado como alternativa de mantenimiento para vías rurales en Bogotá.*
- GAD Parroquial San Joaquín. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT).* San Joaquín, Cuenca.
- Gulzar, S., Fried, A., Preciado, J., Castorena, C., Underwood, S., & Habbouche, J.(2023). Towards sustainable roads: A state-of-the-art review on the use of recycling agents in recycled asphalt mixtures. *Journal of Cleaner Production*, 406, 136994. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136994>
- Hand, A. (2022). *Evaluation of low volume roads surfaced with 100% RAP.* PMC.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2012). *Conservación niveles de servicio (1.ª ed.).*
- Mora, J. (2020). *Aprovechamiento de reciclado RAP para mejoramiento de las vías terciarias en Colombia.*
- Parra, C. J. (2024). *Estabilización del suelo empleando el reciclaje de pavimento en la vía de tercer orden Alao-Pungalá Riobamba.*
- Raigoza Rey, M. A. (2023). *Estudio de viabilidad técnica y económica del material de fresado para aplicaciones en bases de vías nuevas [Trabajo de grado, Universidad de La Sabana].*



- Shams, H., Ullah, H., Qiu, Y., Abdrhman, H., Fu, J., & Yang, E. (2025). Investigating the performance of asphalt pavements modified with reclaimed asphalt and crumb rubber. *Scientific Reports*, 15, 32194. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17909-y>
- Tsakoumaki, M., & Plati, C. (2024). *A critical overview of using reclaimed asphalt pavement (RAP) in road pavement construction*. *Infrastructures*, 9(8), 128. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9080128>
- Uygunoğlu, T., Topçu, İ. B., & Çınar Resuloğulları, E. (2024). *Durability effect of reclaimed asphalt aggregate on concrete road pavement*. *Materiales de Construcción*, 7(367), e3568. <https://doi.org/10.3989/mc.2024.00035>
- Wang, J., Dong, Z., & Zhang, J. (2024). Advances in the research of interfacial properties of reclaimed asphalt mixture: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 481, 144154. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144154>
- Yu, X. (2025). *Research on performance evaluation of multiple recycling asphalt and asphalt mixtures*.







# Integración de carreteras sostenibles con el medio ambiente en la región Andina del Ecuador

Idrovo-Ureña, Diego<sup>1</sup> & Pineda Puglla, Edgar Iván<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, dfidrovo@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, eipineda@utpl.edu.ec

## Introducción

La expansión de la infraestructura vial constituye un factor clave para el crecimiento económico y la cohesión territorial. Sin embargo, en regiones geográficamente complejas como la zona andina del Ecuador, la construcción de carreteras puede generar efectos adversos sobre los ecosistemas montañosos, fuentes hídricas y biodiversidad. La implementación de carreteras sostenibles representa una alternativa que busca armonizar el desarrollo vial con la protección ambiental, integrando materiales de bajo impacto, técnicas de diseño adecuadas y tecnologías orientadas a mitigar los daños ambientales (Figuerola et al., 2020; Zhang et al., 2021).

En Ecuador, iniciativas como el Plan Nacional de Desarrollo Vial con Enfoque Ambiental promueven la sostenibilidad en el ámbito vial; no obstante, su aplicación enfrenta desafíos técnicos, institucionales y sociales, especialmente en zonas andinas donde confluyen condiciones geológicas frágiles y una elevada sensibilidad ecológica (MTOP, 2021). Es importante señalar que la región andina del Ecuador alberga una diversidad biológica y climática significativa, con ecosistemas que prestan servicios ambientales esenciales como la regulación hídrica, la estabilidad de laderas y la captura de carbono (Medrano Vizcaíno, 2015; Paredes Merino, 2022). Este artículo tiene como propósito analizar estrategias viables para la integración ambiental en proyectos viales andinos, mediante una revisión crítica de estudios previos, políticas públicas y experiencias de campo.



## Materiales y métodos

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo, basado en una revisión bibliográfica sobre la integración de criterios de sostenibilidad en proyectos de infraestructura vial, especialmente en la región andina del Ecuador. Las fuentes fueron seleccionadas considerando su actualidad, relevancia temática y confiabilidad, priorizando publicaciones académicas indexadas, documentos institucionales, informes técnicos, tesis de posgrado y estudios de caso desarrollados en contextos similares.

La recopilación de información se llevó a cabo a través de bases de datos científicas como Scopus, Science Direct y Google Scholar, así como repositorios de universidades ecuatorianas e informes de organismos como el Banco Mundial, el MTOP y la FLACSO. El periodo de análisis incluyó literatura académica publicada entre 2010 y 2024, junto con literatura gris relevante para el contexto ecuatoriano. Se construyeron matrices temáticas que permitieron organizar sistemáticamente los hallazgos, identificar buenas prácticas, desafíos comunes y divergencias en la aplicación de conceptos de sostenibilidad vial.

Además, se analizaron tres proyectos viales relevantes en la región andina del Ecuador: la E35 (tramo Alóag - Riobamba), la vía Loja - Zamora y la vía Cuenca – Molleturo. Estos se examinaron bajo criterios como el uso de materiales sostenibles, implementación de obras de mitigación ambiental y participación comunitaria, basándose en fuentes como MTOP (2021), Torres & Andrade (2020), y Jordán Araujo (2008). Se incluyó también el análisis de estudios de impacto ambiental, evaluaciones institucionales y estrategias adoptadas por otros países andinos, donde las condiciones geográficas y retos ambientales presentan paralelismos importantes con el caso de Ecuador.





## Resultados

Los hallazgos indican que, si bien en el Ecuador existen iniciativas incipientes para fomentar la sostenibilidad en la construcción vial, estas aún no alcanzan un nivel de implementación sistemático en la región andina. En el caso del tramo Alóag - Riobamba, se registró el uso de asfalto modificado con caucho reciclado y la implementación de cunetas verdes y pasos de fauna. Sin embargo, la baja participación comunitaria se traduce en una evaluación general moderada (MTOP, 2021).

**Tabla 1.** *Análisis de criterios de sostenibilidad vial en proyectos ejecutados en la región andina del Ecuador*

Proyecto vial	Materiales sostenibles usados	Obras de mitigación ambiental	Participación comunitaria	Evaluación general
E35 (Tramo Alóag - Riobamba)	Asfalto con caucho reciclado	Pasos de fauna, cunetas verdes	Baja	Moderada
Vía Loja - Zamora	Geomallas vegetales	Reforestación de taludes	Alta	Alta
Vía Cuenca - Molleturo	Ninguno	Ausencia de medidas claras	Nula	Baja

**Fuente:** Elaboración propia con base en MTOP (2021), Torres & Andrade (2020).

Por el contrario, el proyecto Loja - Zamora destaca por su alta participación comunitaria y la reforestación de taludes con geomallas vegetales, lo que evidencia una alta integración ambiental (Torres & Andrade, 2020). La vía Cuenca - Molleturo evidenció un desempeño ambiental deficiente, sin estrategias claras de mitigación y con el uso de materiales convencionales (Tabla 1). Cabe destacar que la falta de monitoreo ambiental post-construcción también se identifica como una debilidad estructural en todos los casos analizados. Se identificaron impactos negativos recurrentes como la deforestación acelerada, la fragmentación de hábitats y la contaminación de cuerpos hídricos (Muñoz Chamba & Ambuludi Gómez 2019; Medrano Vizcaíno 2015; Paredes Merino 2022).



En cuanto a estrategias de mitigación, se ha identificado que el uso de materiales sostenibles como geomallas vegetales y asfaltos reciclados puede reducir la presión ambiental, mientras que las obras como los pasos de fauna ayudan a conservar la conectividad ecológica (Auneco, 2023; Banco Mundial, 2022). Finalmente, la inclusión de las comunidades en el diseño y mantenimiento de las vías ha demostrado ser un factor determinante en la sostenibilidad de los proyectos (Jordán Araujo, 2008). Obras de mitigación ambiental: como pasos de fauna y cunetas verdes, que facilitan la movilidad de especies y reducen la escorrentía superficial (Banco Mundial, 2022). Un hallazgo relevante es que los proyectos con mayor involucramiento comunitario mostraron no solo mejores resultados ambientales, sino también mayor aceptación social y sostenibilidad a largo plazo.

La integración de criterios de sostenibilidad en la infraestructura vial de la región andina ecuatoriana sigue siendo limitada, a pesar de avances normativos y experiencias locales prometedoras. Los casos analizados muestran brechas importantes en la aplicación de medidas de mitigación ambiental y en la inclusión efectiva de las comunidades locales. Se concluye que la sostenibilidad vial no puede abordarse exclusivamente desde una perspectiva técnica, sino que requiere un enfoque integral que contemple aspectos sociales, ecológicos y territoriales.

El análisis evidencia avances limitados en la integración de criterios de sostenibilidad en los proyectos viales andinos del Ecuador. Aunque se aplican materiales sostenibles como asfalto con caucho reciclado y geomallas vegetales, estas prácticas son aún puntuales y carecen de respaldo normativo. Los proyectos con mayor participación comunitaria, como Loja–Zamora, muestran mejores resultados ambientales y sociales, confirmando la relevancia del enfoque participativo en la gestión de infraestructura. En contraste, la vía Cuenca–Molleturo refleja deficiencias en mitigación y monitoreo ambiental que revela debilidades institucionales.



Además, resulta urgente establecer protocolos obligatorios de evaluación ambiental ex post, así como mecanismos para integrar saberes ancestrales y conocimientos territoriales en el diseño de soluciones viales sostenibles. Para mejorar esta situación, es necesario desarrollar normativas específicas que integren el enfoque ambiental desde la planificación hasta la operación de las carreteras. Fomentar la investigación aplicada sobre materiales de construcción adaptados al entorno andino.

Implementar mecanismos de monitoreo ambiental participativo y garantizar la participación de comunidades locales en todas las fases del ciclo de vida de los proyectos viales, reconociendo su involucramiento en el conocimiento del territorio y su rol en la sostenibilidad territorial a largo plazo. En general, la sostenibilidad vial requiere una visión integral que articule aspectos técnicos, sociales y ecológicos del territorio andino.

Los resultados muestran que la sostenibilidad en los proyectos viales andinos del Ecuador es aún limitada y poco sistemática. Si bien se han incorporado materiales como asfalto con caucho reciclado y geomallas vegetales, estas prácticas carecen de respaldo normativo y seguimiento ambiental. Los proyectos con participación comunitaria, como Loja–Zamora, alcanzan mejores resultados ambientales y sociales, mientras que otros, como Cuenca–Molleturo, evidencian deficiencias de gestión.

En conclusión, la sostenibilidad vial requiere políticas claras, monitoreo continuo y participación local efectiva. Las futuras investigaciones deben enfocarse en desarrollar indicadores integrales, evaluar materiales sostenibles adaptados al entorno andino, fortalecer la gobernanza comunitaria y combinar saberes ancestrales con soluciones técnicas para lograr una infraestructura vial resiliente y sostenible.



## Contribución de autores (CRedit)

Idrovo-Ureña, Diego, participó en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Pineda Puglla, Edgar Iván contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

## Referencias

- Auneco. (2023). *Carreteras ecológicas, una solución innovadora*. <https://auneco.com/carreteras-ecologicas-una-solucion-innovadora/>
- Banco Mundial. (2022). *Green roads for development: Guidelines for sustainable infrastructure in Latin America*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/111971468197383507/pdf/93903-SPANISH-NWP-P148424-PUBLIC-Box393259B-Spanish-version-Env-Sus-Roads-Web-11202015.pdf>
- Figuerola, F., León, D., & Vinuesa, K. (2020). Análisis del impacto ambiental en carreteras de zonas montañosas del Ecuador. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 45(2), 113–126. <https://doi.org/10.17268/rea.v45i2.981>
- Jordán Araujo, L. (2008). *Participación comunitaria en la gestión ambiental de infraestructura vial rural: El caso de la Sierra Sur del Ecuador [Tesis de maestría, FLACSO Ecuador]*. Repositorio FLACSO Andes.
- Medrano Vizcaíno, G. (2015). *Impacto de la fragmentación de hábitats en la región andina del Ecuador*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9758>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP]. (2021). *Plan nacional de desarrollo vial con enfoque ambiental 2021–2030*. Gobierno del Ecuador.



- Muñoz Chamba, H., & Ambuludi Gómez, A. (2019). *Evaluación de la cobertura vegetal en áreas de influencia de proyectos viales en Loja*. Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/22138>
- Paredes Merino, L. (2022). *Análisis de la contaminación hídrica en cuerpos receptores cercanos a proyectos viales en la región central del Ecuador [Tesis de grado, ESPOCH]*. DSpace ESPOCH. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18142>
- Torres, J., & Andrade, M. (2020). Evaluación de criterios de sostenibilidad en el proyecto vial Loja - Zamora. *Revista de Infraestructura y Territorio*, 8(1), 56–70.
- Zhang, Y., Li, C., & Chen, H. (2021). Sustainable road construction: A review of strategies and indicators. *Journal of Cleaner Production*, 298, Article 126817. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126817>





# Pavimentos sostenibles: Aplicación del Asfalto Reciclado (RAP) en la infraestructura vial del Ecuador

Mejía-Verduga, Fenny Yair<sup>1</sup>; Ocampo-Menéndez, Pedro Enrique<sup>2</sup> & Ortiz-Viñán, Ana Paulina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, fymejia@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, peocampo@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, aportiz1@utpl.edu.ec

## Introducción

El pavimento asfáltico reciclado (RAP, por sus siglas en inglés) se ha consolidado como una alternativa eficiente y sostenible en la construcción vial moderna (Avirneni *et al.*, 2016). Derivado del fresado de capas deterioradas, su reutilización reduce significativamente costos, consumo de recursos naturales y la generación de residuos en comparación con el uso exclusivo de materiales vírgenes o tradicionales.

A nivel global, esta práctica ha ganado protagonismo por su impacto ambiental positivo y su eficacia económica. Según el Asphalt Institute (2016), más del 80% del asfalto utilizado en vías proviene de reciclaje. En Ecuador, su adopción ha comenzado a expandirse, con resultados visibles en varios cantones.

Además de los beneficios técnicos y económicos, el uso del RAP mitiga la presión sobre los vertederos, disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> y fortalece la economía circular en el sector vial (Muñoz-Cáceres *et al.*, 2021). Sin embargo, su implementación requiere un manejo riguroso de propiedades como la granulometría, el contenido de asfalto residual y la posible presencia de contaminantes, factores claves para asegurar la durabilidad del pavimento (Farooq *et al.*, 2018).

Un ejemplo reciente es el proyecto ejecutado por parte del GAD Municipal de Santo Domingo (2024) denominado “Mejoramiento de la carpeta de rodadura con sistema de pavimento asfáltico reciclado en varias calles del cantón Santo Domingo 2024”, que abarcó la



intervención de más de 35.800 m<sup>2</sup>, distribuidos en 25 calles urbanas. Este proyecto buscó rehabilitar la superficie vial, reducir el impacto ambiental, mediante la reutilización de pavimento proveniente de vías que han cumplido su vida útil, alineándose con el PDOT 2032 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Se planteó como objetivo analizar las diferencias técnicas y económicas de la aplicación de pavimento asfáltico reciclado (RAP), y carpeta asfáltica convencional como capa de rodadura, en vías del cantón Santo Domingo, a partir de información oficial contenida en los perfiles, memorias técnicas, contratos y análisis de precios unitarios de ambos casos.

Para garantizar y promover su uso en la infraestructura vial del Ecuador, con visión técnica, sostenible y responsable en el desarrollo vial. El objetivo fue analizar las diferencias técnicas y económicas entre la aplicación de pavimento asfáltico reciclado (RAP) y carpeta asfáltica convencional como capa de rodadura en vías del cantón Santo Domingo, a partir de información oficial contenida en los perfiles, memorias técnicas, contratos y análisis de precios unitarios de ambos casos.

## **Materiales y métodos**

La presente investigación se desarrolló con un enfoque comparativo entre dos métodos de pavimentación aplicados en proyectos ejecutados por el GAD Municipal de Santo Domingo en contextos urbanos y rurales. Para el análisis se seleccionaron dos calles con características representativas y documentación completa: Calle Libre Ecuador, ubicada en la zona urbana de Santo Domingo, con una longitud de 160 metros y un ancho promedio de 8 metros, lo que representa un área de intervención de 1 280 m<sup>2</sup>.





En esta vía se aplicó una capa de rodadura de 2" de espesor, utilizando una mezcla en planta compuesta por 60% RAP y 40% mezcla nueva, siguiendo las especificaciones del proyecto "Mejoramiento de la carpeta de rodadura con sistema de pavimento asfáltico reciclado en varias calles del cantón Santo Domingo 2024".

Calle Mosquera Narváez, en la parroquia rural San Jacinto del Búa, donde se ejecutó el proyecto "Construcción de asfaltado, aceras, bordillos e infraestructura sanitaria". El método aplicado fue carpeta asfáltica convencional de 3" (7,62 cm) de espesor, con mezcla caliente elaborada en planta y colocada sobre una base clase 1, subbase clase 3 y subrasante compactada. El área analizada corresponde al tramo comprendido entre la calle Vicente Rocafuerte y la calle José María Velasco Ibarra.

La metodología aplicada consistió en comparar los beneficios técnicos, económicos y de sostenibilidad de los métodos constructivos de la capa de rodadura, ya que en ambos casos se asumieron similares condiciones de subrasante y estructura base. Los criterios evaluados incluyeron: espesor, composición de mezcla, maquinaria utilizada, tipo de ejecución (mezcla en planta o en sitio), y costos directos por unidad de superficie.

Este enfoque permite establecer parámetros reales de comparación entre métodos de construcción vial aplicadas en distintas zonas del mismo cantón, y evidenciar la viabilidad del RAP como alternativa sostenible en la planificación vial del Ecuador.

## Resultados

Para esta investigación se comparó el costo de la capa de rodadura entre dos proyectos del GAD Municipal de Santo Domingo, uno con pavimento asfáltico reciclado (RAP) y otro con carpeta asfáltica convencional. Se consideró una unidad de análisis común por m<sup>2</sup>, del área de la Calle Libre Ecuador, en la zona urbana, para contrastarla con el área de la Calle Mosquera Narváez, en la parroquia rural de San Jacinto del Búa.



Ambos proyectos utilizaron imprimación con asfalto RC-250, aunque con dosificaciones y procedimientos distintos. En el caso del RAP, la imprimación fue de 1,63 l/m<sup>2</sup> antes del tendido de la mezcla reciclada, mientras que en el caso de la carpeta asfáltica se aplicaron capas de imprimación y adherencia antes del extendido y compactación con rodillo neumático y vibratorio. En relación a la mezcla, espesor y método constructivo, el proyecto la capa de rodadura con RAP aplicó una mezcla en planta con 60 % de material reciclado y 40 % mezcla nueva, con un espesor de 2 pulgadas. En contraste, el método tradicional colocó una carpeta asfáltica caliente de 3 pulgadas sobre base y subbase nuevas.

A continuación, la Tabla 1 resume el costo por m<sup>2</sup> de la capa de rodadura aplicando RAP y mezcla asfáltica convencional. Los datos de costos se obtuvieron a partir de los Análisis de Precios Unitarios (APU) oficiales de cada obra.

**Tabla 1.** Comparación de costos por m<sup>2</sup> de capa de rodadura

Descripción	Proyecto con RAP	Proyecto con Asfalto convencional
Tipo de mezcla	60% RAP + 40% mezcla nueva	Mezcla asfáltica caliente en planta
Espesor de la capa	2" (5,08 cm)	3" (7,62 cm)
Costo por m <sup>2</sup> capa asfáltica	\$4,65	\$14,96
Imprimación (RC-250)	\$0,92/m <sup>2</sup>	\$1,15/m <sup>2</sup>
Costo total estimado por m <sup>2</sup> (solo capa final)	\$5,57	\$16,11
Diferencia porcentual aproximada	—	189%

**Fuente:** Elaborado por el autor (2025).

En el proyecto con RAP, el costo por m<sup>2</sup> de la capa asfáltica fue de \$5,57/m<sup>2</sup>, mientras que en la aplicación de carpeta asfáltica convencional, el mismo rubro alcanzó un valor de \$16,11/m<sup>2</sup>, lo que representa una diferencia de aproximadamente \$10,54 a favor del uso de materiales reciclados.



Los resultados de la comparación reflejan un ahorro superior al 50 % con la aplicación de RAP, en comparación al valor alcanzado en estudio de Zaumanis *et al.* (2016) quienes determinaron que al aplicar 100 % RAP en capas de rodadura se alcanza una reducción del 50 % en los costos de materiales y 35 % en las emisiones.

Como indica Rafiq *et al.* (2021) al utilizar 20 % de RAP, en análisis de costos con los materiales convencionales a partir de la medición del costo total del ciclo de vida, se reportó una reducción total del 14 %, se pueden lograr reducciones de costos de material del 5 % al 15 % cuando las tasas de uso de RAP oscilan entre el 15 % y el 30 %. Más allá de los beneficios económicos, derivados del uso de agregados de RAP, permite ahorrar costos relacionados con las materias primas, preserva recursos no renovables, reduciendo la extracción de agregados (Brett *et al.*, 2018).

Las mezclas recicladas bajo controles adecuados pueden ofrecer buen desempeño funcional con menor impacto ambiental (Sharma *et al.*, 2022). Con respecto a esto Tarsi *et al.* (2020) consideran que los agregados minerales en la mezcla asfáltica aún pueden reutilizarse incluso después de un servicio a largo plazo. Así mismo Tran *et al.* (2016) concluyen que es factible la aplicación de RAP en proporciones superiores al 50 %, para producir nuevas mezclas asfálticas en caliente, obteniendo resultados satisfactorios en las propiedades mecánicas.

De los resultados obtenidos, la aplicación del 60 % de RAP en las vías del cantón Santo Domingo demuestra la factibilidad técnica de utilizar altas proporciones de material reciclado como componente de capas de rodadura, con lo que el uso de RAP constituye una alternativa viable y sostenible frente a las mezclas convencionales, especialmente en contextos urbanos con tránsito medio.



## Contribución de autores (CRedit)

Mejía-Verduga, Fenny Yair y Ocampo-Menéndez, Pedro Enrique participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Ortiz-Viñán, Ana Paulina contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.

## Referencias

- Asphalt Institute. (2016). *MS-2: Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types* (7.<sup>a</sup> ed.). Asphalt Institute.
- Avirneni, D., Peddinti, P. R. T., & Saride, S. (2016). *Durability and long term performance of geopolymer stabilized reclaimed asphalt pavement base courses*. Construction and Building Materials, 121, 198–209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.162>
- Brett, A. W., Willis, J. R., & Ross, T. C. (2018). Asphalt pavement industry survey on recycled materials and warm-mix asphalt usage (9th ed., IS 138). National Asphalt Pavement Association.
- Farooq, M. A., Mir, M. S., & Sharma, A. (2018). Laboratory study on use of RAP in WMA pavements using rejuvenator. Construction and Building Materials, 168, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.079>
- GAD Municipal de Santo Domingo. (2024). Mejoramiento de la carpeta de rodadura con sistema de pavimento asfáltico reciclado en varias calles del cantón Santo Domingo. Dirección de Obras Públicas.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). Normas ecuatorianas de la construcción: Especificaciones para la construcción de obras viales NEVI-12. MTOP.

- Muñoz-Cáceres, O., Raposeiras, A. C., Movilla-Quesada, D., Castro-Fresno, D., Lagos-Varas, M., Andrés-Valeri, V. C., & Valdés-Vidal, G. (2021). Mechanical performance of sustainable asphalt mixtures manufactured with copper slag and high percentages of reclaimed asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 304, Article 124653. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124653>
- Rafiq, W., Musarat, M. A., Altaf, M., Napiah, M., Sutanto, M. H., Alaloul, W. S., Javed, M. F., & Mosavi, A. (2021). Life cycle cost analysis comparison of hot mix asphalt and reclaimed asphalt pavement: A case study. *Sustainability*, 13(8), Article 4411. <https://doi.org/10.3390/su13084411>
- Sharma, A., Rongmei Naga, G. R., Kumar, P., & Rai, P. (2022). Mix design, development, production and policies of recycled hot mix asphalt: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering* (English Edition), 9(5), 765–794. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2022.06.004>
- Tarsi, G., Tataranni, P., & Sangiorgi, C. (2020). The challenges of using reclaimed asphalt pavement for new asphalt mixtures: A review. *Materials*, 13(18), Article 4052. <https://doi.org/10.3390/ma13184052>
- Tran, N., Taylor, A., Turner, P., Holmes, C., & Porot, L. (2016). *Effect of rejuvenator on performance characteristics of high RAP mixture*. Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists Technical Session, 85, 283–313. [https://www.researchgate.net/publication/304140227\\_Effect\\_of\\_Rejuvenator\\_on\\_Performance\\_Characteristics\\_of\\_High\\_RAP\\_Mixture](https://www.researchgate.net/publication/304140227_Effect_of_Rejuvenator_on_Performance_Characteristics_of_High_RAP_Mixture)
- Zaumanis, M., Mallick, R. B., & Frank, R. (2016). *100% hot mix asphalt recycling: Challenges and benefits*. *Transportation Research Procedia*, 14, 3493–3502. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516303210>





## Conservación de pavimentos mediante sellado de grietas utilizando caucho reciclado

Paladinez-Sarmiento, Sergio<sup>1</sup>; Pauta-León, Elizabeth<sup>2</sup> & Vasquez-Monteros, Javier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, sapaladinez@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, enpauta@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, cjvasquez23@utpl.edu.ec

### Introducción

La conservación vial es un elemento clave para asegurar la sostenibilidad de la infraestructura de transporte, particularmente en zonas rurales donde la conectividad influye directamente en el desarrollo económico y social. Entre los deterioros más comunes en pavimentos asfaltados se encuentran las grietas, las cuales, al no ser tratadas a tiempo, permiten la infiltración de agua que compromete la integridad estructural del pavimento, acortando su vida útil e incrementando los costos de rehabilitación (INVIAS, 2002).

Ante esta problemática, el sellado de grietas se presenta como una técnica preventiva altamente costo-efectiva, cuya eficacia está vinculada a la calidad y durabilidad del material utilizado. En este marco, el uso de caucho reciclado como sellador elastomérico ha demostrado ser una alternativa técnica y ambientalmente viable, al evitar la entrada de agentes externos y prevenir la formación de baches y otras fallas (INVIAS, 2002).

La elección del caucho reciclado responde a criterios funcionales y sustentables, al reutilizar neumáticos fuera de uso y reducir la generación de residuos sólidos, a la vez que proporciona un material con propiedades mecánicas y de elasticidad adecuadas (FHWA, 2019). Su incorporación en mezclas bituminosas y selladores mejora la resistencia del pavimento a la fatiga y a la deformación plástica, contribuyendo así al desarrollo de una infraestructura más resiliente y sostenible.



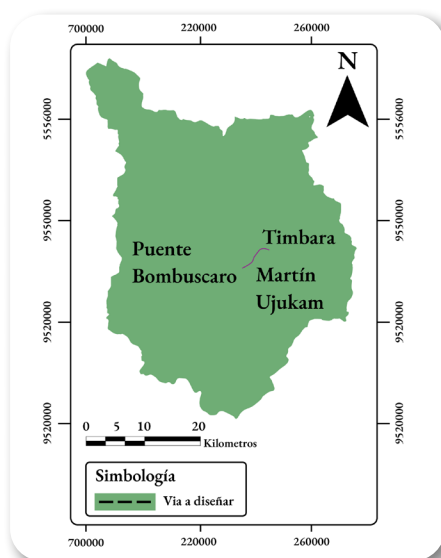
Este artículo presenta la aplicación de esta técnica en la vía rural asfaltada entre el puente del barrio Martín Ujukam y el barrio Timbara, en la ciudad de Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, una zona caracterizada por condiciones geográficas y climáticas que representan un reto para la conservación vial (Gobierno Autónomo Descentralizado del Gobierno Provincial de Zamora Chinchipe, 2017).

## Materiales y métodos

La investigación se desarrolló mediante la recopilación y análisis crítico de literatura especializada en tecnologías de conservación de pavimentos flexibles. De tal forma, se enfocó en la aplicación de caucho reciclado como material de sellado de grietas en mezclas asfálticas, con el propósito de evaluar su viabilidad en el tramo comprendido entre el puente del barrio Martín Ujukam y el barrio Timbara, en la ciudad de Zamora, provincia de Zamora Chinchipe. Este segmento vial rural ha mostrado un deterioro progresivo, caracterizado por fisuras longitudinales y transversales atribuidas a las condiciones climáticas, fatiga y envejecimiento del asfalto dentro de la región amazónica. En la Figura 1 se evidencia la ubicación de la vía, y cuyas coordenadas son 729941, 9551143 y cota 910.

Los materiales analizados incluyeron asfalto convencional tipo AC-20, gránulos de caucho reciclado provenientes de neumáticos fuera de uso, y aditivos mejoradores de adherencia. La selección se basó en estudios previos que

Figura 1. Ubicación de vía rural asfaltada







evidencian la factibilidad técnica y ambiental del uso de residuos en obras viales. Particular atención se dio a la técnica de modificación del ligante asfáltico mediante “vulcanización por vía húmeda”, que consiste en incorporar caucho molido al asfalto a temperaturas entre 170 °C y 190 °C, generando una matriz viscoelástica con mayor resistencia al agrietamiento y envejecimiento (Lo Presti, 2013; Pérez Jiménez *et al.*, 2011).

Desde el análisis técnico, se revisaron estudios que demuestran que el uso de caucho reciclado mejora la absorción de tensiones térmicas y mecánicas, reduciendo la propagación de grietas reflejadas y extendiendo la vida útil del pavimento entre un 30% y 50% respecto a tratamientos convencionales (Putman & Amirkhanian, 2004; Estakhri *et al.*, 2012). Esto se atribuye a una mayor elasticidad y capacidad de recuperación del material, especialmente beneficiosa en regiones con ciclos climáticos severos o restricciones presupuestarias.

La investigación incluyó la recopilación de normativas técnicas internacionales, como la ASTM D6690 y la SHRP H-106, para establecer una metodología adaptable a las condiciones locales. En la Tabla 1 se muestra un marco comparativo entre el sellado con caucho reciclado y métodos tradicionales, como emulsiones asfálticas o cementos no modificados.

**Tabla 1.** *Materiales empleados*

Propiedad	Sellador Convencional	Sellador con Caucho Reciclado
Elasticidad a 25 °C	Baja	Alta
Resistencia a la tracción	Media	Alta
Recuperación elástica	< 30 %	> 60 %
Vida útil estimada	3 a 5 años	6 a 10 años
Resistencia al envejecimiento	Media	Alta



Para el sellado de grietas, primero se realiza una limpieza exhaustiva de las fisuras mediante aire comprimido, eliminando polvo, humedad y residuos que pudieran afectar la adherencia del material.

Paralelamente, se prepara el sellador a base de asfalto modificado con caucho reciclado, calentando la mezcla a una temperatura controlada entre 160 °C y 180 °C hasta alcanzar una consistencia homogénea. Una vez listas las superficies y el sellador, este se vierte manualmente sobre las grietas utilizando embudos metálicos, procurando un llenado completo y uniforme. Finalmente, se alisa la superficie con herramientas metálicas para asegurar un fin par y evitar desniveles, permitiendo un adecuado curado y endurecimiento del material aplicado. Todo este proceso se puede observar en la Figura 1.

**Figura 2.** Esquema de aplicación del sellado de grietas



## Resultados

La incorporación de caucho reciclado como modificador en ligantes asfálticos para el sellado de grietas mejora significativamente el comportamiento del pavimento, al aumentar su elasticidad, resistencia al envejecimiento y vida útil.

Diversos estudios indican que esta tecnología puede incrementar la durabilidad del sellado hasta en un 50% respecto a métodos tradicionales, gracias a su capacidad de absorber deformaciones térmicas y mecánicas. Esta solución resulta especialmente efectiva



en zonas con condiciones climáticas variables, como el tramo rural entre Martin Ujukam y Timbara, en la región amazónica, donde se requiere un material flexible y duradero.

Además de sus beneficios técnicos, el uso de caucho reciclado contribuye positivamente al medio ambiente, al reutilizar neumáticos desechados y reducir la generación de residuos sólidos. En conjunto, esta alternativa no solo optimiza el desempeño del pavimento, sino que también representa una estrategia sostenible y eficiente frente a los métodos de sellado convencionales.

El sellado de grietas con caucho reciclado se confirma como una alternativa técnica y ambientalmente ventajosa para la conservación de pavimentos en contextos rurales como el tramo Martin Ujukam–Timbara: mejora la elasticidad y la resistencia al envejecimiento del tratamiento, reduce la propagación de grietas reflejadas y puede extender la vida útil del sellado entre 30% y 50% frente a métodos convencionales, siempre que se asegure una adecuada preparación de la fisura y control térmico del material. Además de reutilizar neumáticos fuera de uso y disminuir residuos, su desempeño se alinea con prácticas de mantenimiento preventivo de bajo costo que retrasan intervenciones mayores. En este marco, se recomienda formalizar su aplicación mediante especificaciones locales compatibles con ASTM D6690 y lineamientos SHRP H-106, fortalecer la capacitación de cuadrillas y establecer un seguimiento post-obra (sellado, adherencia y desempeño en servicio) que permita contrastar resultados con la literatura y alimentar análisis de costo del ciclo de vida para futuras decisiones de gestión vial.

### **Contribución de autores (CRedit)**

Paladinez-Sarmiento, Sergio y Pauta-León, Elizabeth participaron principalmente en la conceptualización, desarrollo metodológico, recolección y análisis de datos, así como en la redacción del borrador original del artículo. Vásquez-Monteros, Javier contribuyó con la revisión crítica del contenido, corrección de estilo, validación del modelo propuesto y supervisión general del manuscrito.



## Referencias

- Estakhri, C. K., Button, J. W., & Álvarez, A. E. (2012). *Guidelines for the use of recycled tire rubber in asphalt pavements (Report FHWA/TX-12/0-5541-2)*. Texas Transportation Institute, Texas A&M University System. <https://tti.tamu.edu/documents/0-5541-2.pdf>
- Federal Highway Administration. (2019). *Crack treatment checklist (FHWA-HIF-19-028)*. <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/preservation/2019checklists/hif19028.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe. (2017). *Memoria técnica ejecutiva: Estudios a nivel de asfalto de la vía Puente del Río Bombuscaro – Martín Ujukam – Timbara – Nambija Bajo, cantón Zamora*. Zamora Chinchipe, Ecuador.
- Instituto Nacional de Vías. (2002). *Manual de mantenimiento vial para vías pavimentadas*. Ministerio de Transporte de Colombia.
- Lo Presti, D. (2013). Recycled rubber in asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 49, 863–881. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007>
- Putman, B. J., & Amirkhanian, S. N. (2004). Utilization of waste rubber in asphalt binders: A review. *International Journal of Pavement Engineering*, 5(4), 235–245. <https://doi.org/10.1080/10298430412331289867>
- Pérez Jiménez, F. E., Martínez, A., Botella, R., & Gallego, J. (2011). Efecto del uso de polvo de neumático en las propiedades reológicas de ligantes asfálticos envejecidos. *Revista de la Construcción*, 10(2), 55–63. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X201100020000>





# ÁREA SEGURIDAD VIAL









# Factores de riesgo vial en la intersección “5 esquinas” y propuestas de mejora para el tránsito urbano en Azogues

Vaca Silva, Jeffrey Fabián<sup>1</sup>, Vázquez Serpa, Guillermo Antonio<sup>2</sup> & Segarra-Morales, María Soledad<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, jfvaca2@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja gavazquez1@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja mssegarra@utpl.edu.ec

## Introducción

Los siniestros de tránsito constituyen una de las principales problemáticas asociadas a la seguridad vial a nivel global, con consecuencias significativas en términos humanos, económicos y sociales (Organización Mundial de la Salud, 2023a). El Global Status Report on Road Safety en 2023 documenta que aproximadamente 1.19 millones de personas mueren anualmente como resultado de siniestros de tránsito, siendo las lesiones por tráfico vial la principal causa de muerte para niños y jóvenes de 5 a 29 años (Organización Mundial de la Salud, 2023b). Esta situación no solo afecta a las grandes urbes, sino que también repercute de manera directa en contextos locales donde la infraestructura vial presenta deficiencias en diseño y control operativo.

De acuerdo con Torres & Pérez (2020), el incremento de los siniestros viales se relaciona con diversos factores, entre los que destacan el crecimiento poblacional que conlleva una mayor demanda del parque automotor y la inadecuada configuración del diseño vial. En particular, la cantidad de siniestros guarda una relación directamente proporcional con el volumen de tránsito registrado en puntos específicos durante intervalos determinados de tiempo como las intersecciones.

Diversos estudios han identificado a las intersecciones como zonas críticas dentro de las redes viales, debido a que en ellas convergen flujos vehiculares y peatonales, generando mayores condiciones de conflicto (AASHTO, 2020). El Road Safety Annual Report 2024 del



International Transport Forum proporciona datos actualizados que refuerzan la importancia del estudio de intersecciones, mostrando que en 2023 se registraron 2 338 muertes viales menos que en 2022, con una reducción promedio del 2,7% en 34 países participantes del estudio (International Transport Forum, 2024). En el Ecuador en el año 2023 se registró un 4% menos de siniestros viales en comparación con 2022, sin embargo, el número de fallecidos aumentó. En el año 2023, hubo un total de 2 373 personas que perdieron la vida en siniestros viales, lo que equivale a 6,5 muertes diarias (EFE, 2024).

Un análisis de factores de riesgo en intersecciones australianas encontró siete factores significativamente asociados con la severidad de los siniestros: edad y género del conductor, zona de velocidad, tipo de control de tráfico, hora del día, tipo de siniestro y uso del cinturón de seguridad (Chen et al., 2012). Investigaciones recientes han abordado soluciones de mejora geométrica y semaforización inteligente para mitigar la accidentalidad en estos nodos viales, resaltando la necesidad de intervenciones técnicas localizadas (García et al., 2021; López & Herrera, 2019).

En este contexto, el objetivo del proyecto es analizar y proponer mejoras en la seguridad vial de una intersección específica con alta incidencia de siniestros, a partir del estudio de su configuración actual y el comportamiento del tránsito. Esta intervención busca contribuir al desarrollo urbano seguro y sustentable mediante propuestas técnicas que respondan a las necesidades reales de la población afectada.

## **Materiales y métodos**

La investigación se desarrolló en una zona urbana de la ciudad de Azogues, en la intersección conformada por las calles Rafael María García, avenida Juan Bautista Cordero, Simón Bolívar y Julio María Matovelle, conocida localmente como el sector de “5 esquinas”. Esta área se caracterizó por un elevado flujo vehicular, la presencia



de instituciones educativas, circulación de transporte público y alta densidad de motociclistas siendo factores que incrementaron su vulnerabilidad frente a incidentes de tránsito.

Se adoptó un enfoque metodológico mixto, con predominio del componente cuantitativo mediante datos oficiales y el cualitativo en entrevistas aplicadas a los conductores, sumado a un componente descriptivo mediante la observación del comportamiento de la dinámica de la zona y el comportamiento de los conductores. La recolección de información se realizó a través de fuentes primarias y secundarias. En primera instancia, se obtuvieron registros oficiales de siniestros viales ocurridos entre los años 2022 y 2024, proporcionados por la Policía Nacional y el Departamento de Tránsito del Municipio de Azogues.

Como parte del trabajo de campo, se diseñó un cuestionario estructurado que incluyó preguntas relacionadas con los hábitos de conducción, el conocimiento de las normas de tránsito y experiencias personales relacionadas con siniestros. Este instrumento se aplicó a una muestra aleatoria de 40 conductores, entre los que se incluían usuarios de vehículos particulares, taxis y motocicletas.

Se analizaron 15 reportes oficiales de siniestros ocurridos en el periodo de estudio, para identificar patrones y factores comunes en su ocurrencia. Complementariamente, se efectuaron observaciones in situ durante tres días consecutivos, en horarios matutinos y vespertinos, con el fin de registrar comportamientos peligrosos de los usuarios de la vía, tales como el irrespeto a las señales semafóricas, maniobras indebidas de giro y exceso de velocidad.

Para tratar la información, se usaron herramientas de análisis estadístico descriptivo, con las que se generaron gráficos explicativos y se establecieron correlaciones entre las variables observadas y la frecuencia de los siniestros registrados. Esta aproximación permitió sustentar técnicamente los hallazgos y orientar las propuestas de mejora en la intersección analizada.



Resultados

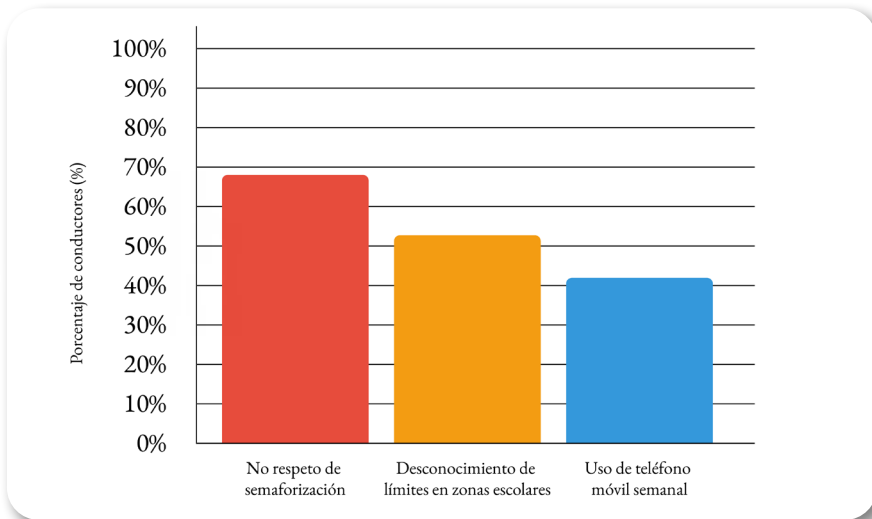
Los resultados obtenidos en la presente investigación permitieron identificar los factores predominantes que inciden en la ocurrencia de siniestros de tránsito en la intersección estudiada. El análisis de los datos reveló que el principal factor asociado a los siniestros fue el irrespeto a la semaforización, el cual representó el 36,36% de los casos registrados, como se puede observar en la Tabla 1, además de las otras causas encontradas. En contraste, los factores con menor incidencia fueron el mal estado de la vía y otras causas no especificadas ambos con una participación del 9,09%.

Durante el trabajo de campo, se registraron comportamientos de riesgo en un periodo promedio de tres horas por jornada, en la intersección analizada. Se identificaron 10 maniobras peligrosas, 11 vehículos que infringieron las señales semafóricas y 17 motociclistas que transitaban sin el uso del casco reglamentario. Asimismo, se evidenció un comportamiento peatonal inadecuado, caracterizado por el cruce de personas en zonas no habilitadas para el paso.

Tabla 1. Siniestros por tipo de causa (datos oficiales)

Causa	Porcentaje (%)
Irrespetar semaforización	36,36
Exceso de velocidad	18,18
Distracción al volante (celular)	18,18
Conducción en estado de ebriedad	9,09
Mal estado de la vía	9,09
Otras causas	9,09

Los resultados de la encuesta aplicada a los conductores se observan en la Figura 1, y mostraron que el 67% aceptó que no respetó los colores del semáforo para detenerse, el 53% desconoce los límites de velocidad en zonas escolares, mientras que el 42% reconoció haber utilizado el teléfono móvil al menos una vez por semana mientras conduce.

**Figura 1.** Resultados encuestas a conductores

Los resultados obtenidos, si bien es una muestra en una intersección, evidencia una falta de atención de los conductores y peatones, sumando al irrespeto de señales de tránsito y normas de conducción, que concuerda parcialmente con Zhang & Li (2018) que afirma que los factores ambientales como límites de velocidad inadecuados, control semafórico deficiente, diseño vial inadecuado, condiciones climáticas adversas y falla en alumbrado público representan factores críticos que inducen accidentes cuando se combinan con inexperiencia del conductor y falta de atención, lo que genera una necesidad de investigar incluyendo los factores ambientales de la zona de estudio y en contextos ecuatorianos; así como la necesidad de implementar campañas educativas permanentes centradas en el respeto a las señales semafóricas, la prohibición del uso del celular mientras se conduce y la concienciación sobre los límites de velocidad en zonas escolares.

Además, implementar sistemas de control electrónico, como cámaras de monitoreo en intersecciones de alto riesgo, para disuadir comportamientos peligrosos. Finalmente, se considera fundamental incluir contenidos de seguridad vial en los programas educativos de



nivel escolar y universitario, con el propósito de fomentar una cultura vial responsable desde edades tempranas, lo que puede ser motivo de nuevas investigaciones.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la problemática de siniestralidad en la intersección estudiada está estrechamente vinculada al comportamiento del usuario vial, más que a las condiciones infraestructurales del entorno. El irrespeto a la semaforización se identificó como el factor de mayor incidencia, evidenciando falencias en la observancia de las normas de tránsito y en la percepción del riesgo por parte de los conductores. Asimismo, el exceso de velocidad y la distracción al volante, especialmente asociada al uso del teléfono celular, refuerzan la presencia de conductas imprudentes que incrementan la probabilidad de siniestros, incluso en contextos de baja complejidad vial.

De igual manera, el incumplimiento de normas básicas de seguridad, como el uso del casco en motociclistas y el cruce peatonal en zonas no habilitadas, refleja un déficit generalizado de cultura vial. En conjunto, los hallazgos ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer las estrategias de control, fiscalización y educación vial como herramientas esenciales para mitigar la ocurrencia de siniestros y mejorar la seguridad en entornos urbanos con alta interacción modal.

### **Contribución de autores (CRedit)**

Vaca Silva, Jeffrey Fabián y Vázquez Serpa, Guillermo Antonio participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Segarra-Morales, María Soledad contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.



## Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). *Highway Safety Manual (2nd ed.)*. AASHTO.
- Chen, H., Cao, L., & Logan, D. B. (2012). *Analysis of risk factors affecting the severity of intersection crashes by logistic regression*. *Traffic Injury Prevention*, 13(3), 300–307. <https://doi.org/10.1080/15389588.2011.653841>
- EFE. (2024). *Ecuador registró más de seis fallecidos diarios en promedio por siniestros viales en 2023*. <https://www.swissinfo.ch/spa/ecuador-registr%C3%B3-m%C3%A1s-de-seis-fallecidos-diarios-en-promedio-por-siniestros-viales-en-2023/78734833>
- García, M., Ruiz, J., & Sánchez, P. (2021). Análisis de intersecciones urbanas y su relación con la accidentalidad: Una revisión técnica. *Revista de Ingeniería Civil*, 35(2), 45–58. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7129024.pdf>
- International Transport Forum. (2024). IRTAD road safety annual report 2024. *OECD Publishing*. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2024.pdf>
- Litman, T. (2021). *Safe travels: Evaluating transportation safety strategies*. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/safetrav.pdf>
- López, R., & Herrera, A. (2019). Diseño vial y seguridad en intersecciones urbanas: Estudios de caso en Latinoamérica. *Revista de Transporte y Movilidad Urbana*, 28(1), 23–39.
- Ministerio de Transporte. (2022). *Estadísticas nacionales de tránsito ESTRA*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Organización Mundial de la Salud. (2023a). *Informe mundial sobre la seguridad vial*. <https://www.who.int>



- Organización Mundial de la Salud. (2023b). *Global status report on road safety 2023*. Organización Mundial de la Salud. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/>
- Torres, L., & Pérez, D. (2020). Factores de riesgo en el aumento de accidentes de tránsito en zonas urbanas. / 14(3), 112–120.
- Zhang, Y., & Li, H. (2018). Fault tree analysis of the causes of car accidents at intersections. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 8(2), 47–62. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=84447>









# Aplicación de pintura termoplástica logarítmica para optimizar la seguridad vial en curvas críticas del tramo El Carmen-Flavio

Moncayo-Loaiza, José<sup>1</sup>, Ortega-Villamagua, Wilson<sup>2</sup> & Segarra-Morales María Soledad<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja; jdmoncayo2@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja; waortega4@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja mssegarra@utpl.edu.ec

## Introducción

La seguridad vial representa un desafío fundamental para la salud pública en los países de América Latina, donde los siniestros de tránsito continúan siendo una de las principales causas de muerte. En Latinoamérica en el año 2025 se estima que la cifra de fallecidos por siniestros de tránsito supera los 155 mil fallecidos al año, situando a la región entre las más afectadas a nivel mundial (Statista, 2025). La tasa promedio anual de Latinoamérica y el Caribe es de 14 a 16 muertes por cada 100 mil habitantes. Ecuador ocupa el segundo lugar en América Latina en cuanto a mortalidad por accidentes de tránsito, con una tasa de 20,4 muertes por cada 100 000 habitantes (Oviedo-Bayas *et al.*, 2025), junto con República Dominicana, Haití y El Salvador (DW, 2025) lo que refleja la necesidad de implementar acciones para brindar mayor seguridad a los usuarios en las infraestructuras viales (Organización Panamericana de la Salud, 2025).

La señalización horizontal se ha identificado como una estrategia eficaz para reducir accidentes en tramos críticos (Asprilla Lara *et al.*, 2017). La mayoría de los siniestros de tránsito ocurre durante la noche, la visibilidad de la carretera por la noche requiere iluminación externa en forma de faros del vehículo y/o farolas y/u otra fuente externa, por lo que, es fundamental que las marcas viales sean retrorreflectantes para garantizar una adecuada visibilidad y orientar correctamente a los conductores (Naidoo & Steyn, 2018). Los investigadores han demostrado que las personas notan y prefieren las marcas viales altamente retrorreflectivas, que hacen que conducir de noche sea más cómodo y menos estresante (Horberry *et al.*, 2006). Las



marcas viales son vitales para organizar el flujo vehicular y mejorar la seguridad (Bao *et al.*, 2025), especialmente aquellas elaboradas con materiales termoplásticos y diseños logarítmicos que contribuyen significativamente a mejorar la percepción del entorno vial y a inducir cambios positivos en el comportamiento de los conductores reduciendo así el riesgo de siniestros (Babić *et al.*, 2020; Castillo *et al.*, 2020).

La visibilidad y el diseño adecuado de las marcas viales como las líneas logarítmicas aplicadas con pintura termoplástica son factores determinantes para la prevención de accidentes y la optimización de la seguridad vial en carreteras con alta peligrosidad (Sutrisno & Pramudito, 2025). En el Ecuador se ha evidenciado que la intervención en la señalización horizontal, junto con el uso de materiales de alta durabilidad y retro reflectividad, aporta a reducir la siniestralidad, especialmente en zonas de alta incidencia y condiciones geométricas complejas (Burbano & Cedeño, 2024).

En este contexto, el objetivo principal de este análisis es evaluar la efectividad de implementar señalización horizontal en el tramo El Carmen–Flavio Alfaro, Provincia de Manabí – Ecuador mediante la utilización de líneas logarítmicas aplicadas con pintura termoplástica con la finalidad de reducir la siniestralidad vial en zonas de alta incidencia de siniestros.

El proyecto inició el 16 de julio de 2020, la constructora COVIPAL firmó un contrato para ejecutar el proyecto de Mantenimiento por Resultados en tramos estratégicos de la red vial de Manabí, Ecuador. El contrato abarca 218,48 km incluyendo los tramos E386 Pedernales–Cojimíes, E38 Paso Lateral de El Carmen, El Carmen–Flavio Alfaro–Chone y E15 Tosagua–Rocafuerte–T de Buenos Aires. El tramo El Carmen–Flavio Alfaro destaca como zona crítica por su topografía sinuosa y alta siniestralidad vial.



Para mejorar la seguridad vial en el tramo El Carmen–Flavio Alfaro, la empresa COVIPAL ejecutó en agosto de 2022 trabajos de señalización horizontal implementando líneas logarítmicas. Estas se aplicaron utilizando pintura termoplástica blanca de 3,05 mm de espesor y 40 cm de ancho, con microesferas de vidrio incorporadas para asegurar su retrorreflectividad. La intervención se realizó conforme a los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1042-2:2013, que regula las propiedades de los materiales termoplásticos, como composición, color, durabilidad y visibilidad nocturna (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). Asimismo, se respetaron las directrices sobre separación entre líneas logarítmicas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011) y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2002).

## **Materiales y métodos**

Para el desarrollo de este estudio, se analizaron inicialmente los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2022) sobre los siniestros de tránsito ocurridos en los años 2020 y 2021. Según estos datos, la provincia de Manabí ocupó el tercer lugar a nivel nacional en cantidad de siniestros durante el año 2021 con un incremento del 76,78% respecto al año anterior, lo que la posicionó como la provincia con mayor variación porcentual en dicho período. Esta información se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1.** *Siniestros de tránsito registrados en las provincias del Ecuador entre 2020 y 2021*

Nº	Provincias	2020	2021	Variación
1	Guayas	6377	7765	21,77%
2	Pichincha	3266	3808	16,60%
3	Manabí	1107	1957	76,78%
4	Los Ríos	800	1137	42,13%
5	Santo Domingo de los Tsáchilas	995	1082	8,74%
6	Tungurahua	755	1076	42,52%
7	Azuay	788	836	6,09%
8	El Oro	559	783	40,07%
9	Chimborazo	369	622	68,56%
10	Santa Elena	377	517	37,14%
	Total, Nacional	16972	21352	25,81%

*Nota.* Datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2022).

Ante esto, se planteó como medida técnica la implementación de señalización horizontal mediante líneas logarítmicas aplicadas con pintura termoplástica, para disminuir la incidencia de siniestros en tramos críticos. Para su aplicación, se respetaron los lineamientos establecidos en la norma de señalización vial del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2022), la cual establece las distancias de separación entre líneas logarítmicas para vías con velocidades superiores a 50 km/h, como se detalla en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Separación entre líneas logarítmicas para una vía cuya velocidad es mayor a 50 km/h

Línea	Distancia	Línea	Distancia
Línea 1	35,00 m	Línea 10	88,50 m
Línea 2	38,50 m	Línea 11	99,50 m
Línea 3	42,00 m	Línea 12	110,50 m
Línea 4	45,50 m	Línea 13	125,50 m
Línea 5	51,00 m	Línea 14	140,50 m
Línea 6	56,50 m	Línea 15	158,50 m
Línea 7	63,50 m	Línea 16	176,50 m
Línea 8	70,50 m	Línea 17	195,50 m
Línea 9	79,50 m	Línea 18	210,00 m

*Nota.* Datos obtenidos del Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011). La primera línea se pintará a 35 metros del punto de referencia como, por ejemplo, el centro de una curva, una escuela, etc. La segunda a 38,5 m y así sucesivamente.

La primera línea se ubicó a 35 m del punto de referencia como puede ser el centro de una curva o una institución educativa, y las siguientes se aplicaron de forma progresiva según la tabla mencionada.

La aplicación de las líneas logarítmicas se realizó en tres ubicaciones estratégicas del tramo El Carmen–Flavio Alfaro, seleccionadas en función de la alta incidencia de siniestros. La primera intervención se efectuó en un tramo recto donde previamente se había instalado un reductor de velocidad, el cual era frecuentemente ignorado por los conductores generando siniestros. La segunda aplicación se realizó en una curva cerrada con pendiente pronunciada, donde existía un elevado riesgo de pérdida de control vehicular. Finalmente, la tercera ubicación correspondió a una zona con curva y contracurva, donde el exceso de velocidad representaba un factor crítico especialmente para vehículos pesados.

Las intervenciones realizadas en los tres sectores se documentaron gráficamente, como se observa en las Figuras 1, 2 y 3.



**Figura 1.** *Líneas logarítmicas antes de reductor de velocidad*



**Figura 2.** *Líneas logarítmicas en una curva cerrada*



**Figura 3.** *Líneas logarítmicas en curva y contracurva*





## Resultados

Tras la implementación de líneas logarítmicas utilizando pintura termoplástica en el tramo El Carmen–Flavio Alfaro, se observaron mejoras sustanciales en la seguridad vial de los sectores intervenidos.

En el primer punto, correspondiente a un tramo recto donde existía previamente un reductor de velocidad que era frecuentemente ignorado, la aplicación de las líneas logarítmicas generó un cambio perceptible en la conducta de los conductores. El patrón visual progresivo indujo una desaceleración anticipada, lo que contribuyó significativamente a la disminución de siniestros en la zona.

En el segundo caso, una curva cerrada con pendiente pronunciada, la señalización mediante líneas logarítmicas permitió advertir con antelación la necesidad de reducir la velocidad. Posterior a la intervención, se observó una reducción en los eventos de pérdida de control vehicular y salidas de vía, en especial durante condiciones climáticas adversas.

En el tercer sitio, caracterizado por una curva seguida inmediatamente de una contracurva, se evidenció una disminución de siniestros, particularmente en vehículos pesados. La mejor percepción del trazado vial favoreció una adaptación más segura a las condiciones geométricas del tramo, reduciendo el riesgo de colisiones.

Esto se alinea con investigaciones previas que han demostrado que las líneas progresivamente más cercanas entre sí crean una ilusión óptica que induce a los conductores a reducir la velocidad al generar la percepción de que están acelerando, aun sin que haya resaltos u obstáculos físicos (Naidoo & Steyn, 2018). Si bien la ausencia de datos estadísticos específicos posteriores a la intervención limita una cuantificación precisa del impacto, la implementación cumplió con los parámetros técnicos establecidos por la norma NTE INEN 1042-2:2013.



Esta norma específica un espesor de aplicación entre 1,5 mm y 3,0 mm, el uso de pintura termoplástica calentada entre 190 °C y 210 °C, así como la inclusión de microesferas de vidrio para garantizar retroreflectividad y durabilidad (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). Estos factores han sido ampliamente asociados en la literatura técnica con mejoras en la visibilidad nocturna y la reducción de siniestros en tramos críticos. Por lo que es necesario impulsar investigaciones que validen cuantitativamente los resultados esperados con la implementación de estos elementos de señalización horizontal.

Los resultados, analizados por sitio de intervención, reflejan una respuesta positiva en la conducta de los conductores, particularmente en relación con la reducción de velocidad y la prevención de siniestros. En síntesis, la implementación de líneas logarítmicas en el tramo El Carmen–Flavio Alfaro se consolidó como una medida efectiva para mejorar la seguridad vial, particularmente en sectores con antecedentes de siniestros vinculados al exceso de velocidad.

Si bien se requiere un análisis post-implementación respaldado por datos de siniestralidad para validar estos resultados de forma cuantitativa, la evidencia normativa y observacional sugiere un impacto positivo. Se recomienda que la empresa COVIPAL establezca un plan de seguimiento en coordinación con entidades como la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) o el ECU911, contemplando un período de observación de entre 6 y 12 meses, a fin de evaluar los efectos reales de la intervención sobre la reducción de siniestros.

### **Contribución de autores (CRedit)**

Moncayo-Loaiza, José, Ortega-Villamagua, Wilson participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Segarra-Morales, María Soledad contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.



## Referencias

- Asprilla Lara, Y., García de Quevedo, F., & González Pérez, M. G. (2017). *Señalización y seguridad vial en buses de tránsito rápido: El TransMilenio en Bogotá*. *Infraestructura Vial*, 19(33), 15–25. <https://www.redalyc.org/pdf/4782/478276566002.pdf>
- Babić, D., Fiolíć, M., Babić, D., & Gates, T. (2020). Road markings and their impact on driver behaviour and road safety: A systematic review of current findings. *Journal of Advanced Transportation*, 2020(1), 1–19. <https://doi.org/10.1155/2020/7843743>
- Bao, J., Hu, X., Shah, A., Jiang, Y., & Li, S. (2025). Comprehensive assessment of friction characteristics and durability of common pavement markings and materials using three-wheel polishing. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 52(10), 1900–1914. <https://doi.org/10.1139/cjce-2024-0545>
- Burghardt, T. E., Maki, E., & Pashkevich, A. (2021). *Yellow thermoplastic road markings with high retroreflectivity: Demonstration study in Texas*. *Case Studies in Construction Materials*, 14(6), e00539. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00539>
- Burbano, M., & Cedeño, D. (2024). *Principales causas de la siniestralidad vial en Ecuador entre 2019 y 2023*. *Innovación y Saber Policial*, 8(1), 52–67. <https://innovacionysaber.isupol.edu.ec/index.php/innovacion/article/view/281>
- Castillo, J., Olivo, A., García Ramírez, L., Sangurima, J., & Sotomayor, M. (2020). Análisis de intervenciones de seguridad vial para reducir la siniestralidad en Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL*, 33(2), 67–81. <https://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/es/article/view/1182>
- DW. (2025). Accidentes de tránsito, flagelo en América Latina. <https://www.dw.com/es/el-flagelo-de-los-accidentes-de-tr%C3%A1nsito-en-am%C3%A9rica-latina/a-68693381>



Horberry, T., Anderson, J., & Regan, M. A. (2006). *Los posibles beneficios de seguridad de las marcas viales mejoradas: Una evaluación con simulador de conducción*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 9(1), 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.09.002>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Señalización vial. Parte 2: Señalización horizontal*. INEN.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2022). *Estadísticas de transporte: Siniestros de tránsito del 2021*. INEC.

Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. MOPC.

Naidoo, S., & Steyn, W. J. V. M. (2018). Performance of thermoplastic road marking material. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 60(2), 9–22. <https://doi.org/10.17159/2309-8775/2018/v60n2a2>

Organización Panamericana de la Salud. (2025). *Salvar vidas promoviendo un enfoque de sistemas de tránsito seguros en las Américas: Informe sobre el estado de la seguridad vial en la región*. OPS. <https://www.paho.org/es/noticias/22-1-2025-nuevo-informe-ops-sobre-seguridad-vial-destaca-avances-lentos-desiguales>

Oviedo-Bayas, B., López-Robayo, E., Guevara-Torres, P., & Carpio-Vera, D. A. (2025). Epidemiología de los accidentes de tránsito en Ecuador: Un enfoque en la tecnología y la seguridad vial. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 8(S1), 148–153. <https://doi.org/10.62452/vb2rr283>

Statista. (2025). *Muertes por accidentes de tráfico en países de Latinoamérica*. <https://es.statista.com/grafico/34506/muertes-por-accidentes-de-trafico-en-paises-de-latinoamerica/>



Sutrisno, S., & Pramudito, A. (2025). Analyzing transportation safety: The role of signage in preventing accidents. *Journal of Road Engineering and Safety Technology*, 4(1), 23–38. <https://doi.org/10.58526/jsret.v4i1.634>





# Evaluación de condiciones y factores de uso de ciclovías en el sistema vial del Distrito Metropolitano de Quito

Recalde Hinojosa Holmes<sup>1</sup>, Ruiz Calderón Nelson<sup>2</sup> & Segarra-Morales María Soledad<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja; hrecalde@utpl.edu.ec

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja; nfrui1@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Técnica Particular de Loja mssegarra@utpl.edu.ec

## Introducción

Diversos estudios en América Latina evidencian que la calidad de la infraestructura ciclista, incluyendo la señalización y la segregación física es determinante para incrementar la seguridad vial y la percepción de seguridad entre los usuarios (Saade Hazin & Ortega Duarte, 2025). La siniestralidad vial sigue siendo un reto considerable en Ecuador, donde el factor humano y la infraestructura deficiente son responsables de la mayoría de los accidentes subrayando la urgencia de intervenciones integrales en seguridad vial (Pazos Lara & Simaluisa Sangovalín, 2024). La implementación de ciclovías en entornos urbanos ha demostrado ser una estrategia efectiva para promover la movilidad sostenible y reducir la dependencia del transporte motorizado, contribuyendo así a la disminución de emisiones contaminantes y mejorando la calidad de vida urbana (Flores-Juca et al., 2024).

El diseño adecuado de ciclovías, considerando factores como la conectividad, accesibilidad y condiciones topográficas, favorece el uso cotidiano de la bicicleta y fomenta la equidad en el acceso a alternativas de transporte (Serrano & Rojas, 2023). La innovación en materiales y tecnologías para señalización vial como la introducción de pinturas termoplásticas y reflectantes, ha mejorado la visibilidad y durabilidad de las ciclovías, incrementando la seguridad de los ciclistas en condiciones adversas (Market Research Future, 2025). Intervenciones recientes en la infraestructura vial de Ecuador, que



incluyen campañas de sensibilización y mejoras en la infraestructura de las ciclovías han logrado reducir significativamente la tasa de accidentes y víctimas fatales, demostrando la efectividad de una estrategia integral de seguridad vial (Castillo et al., 2024).

Las ciclovías como infraestructura destinada a la movilidad sostenible enfrentan múltiples desafíos que limitan su funcionalidad y seguridad. Entre los factores que afectan su uso están los riesgos de accidentalidad de la interacción con vehículos motorizados, la inseguridad por la vulnerabilidad frente a robos o asaltos, las condiciones geográficas y topográficas desfavorables; y las inclemencias climáticas como la lluvia o la radiación elevada en días soleados que dificultan su uso (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018). A estas problemáticas generales se suman, en el contexto específico del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) el uso indebido de las ciclovías por motociclistas y usuarios de otros medios de transporte alternativo, lo cual deriva en una subutilización de estas infraestructuras. Esta situación se ve agravada por la escasa difusión, concientización ciudadana y falta de cultura vial respecto al uso y respeto de estos espacios y a sus usuarios.

En respuesta a esta problemática, el D.M. Quito promulgó la Ordenanza Metropolitana No. 0194 de 2017 (Consejo Metropolitano de Quito), cuyo objetivo es priorizar, regular, facilitar y promover el uso de la bicicleta y la caminata como medios de transporte sostenibles. Esta normativa establece lineamientos para planificar, gestionar e incentivar la movilidad activa como una estrategia para fomentar una vida saludable y contribuir a la sostenibilidad urbana, sin desmedro de otros modos de transporte alternativos; para ello, se establece una jerarquía de movilidad que prioriza a los peatones especialmente a personas con discapacidad, movilidad reducida, grupos de atención prioritaria y personas con limitaciones temporales, seguidos por ciclistas y usuarios de vehículos de propulsión humana, el transporte público, el transporte de carga y finalmente, los usuarios de transporte particular y comercial automotor.





Investigaciones previas destacan que la efectividad de las ciclovías no depende únicamente de su existencia física, sino también de su integración con el sistema vial, su accesibilidad, seguridad y aceptación social (Pucher & Buehler, 2017). En este sentido, es fundamental analizar el estado actual de estas infraestructuras y su grado de uso para identificar oportunidades de mejora y proponer recomendaciones orientadas a optimizar la funcionalidad de estas infraestructuras.

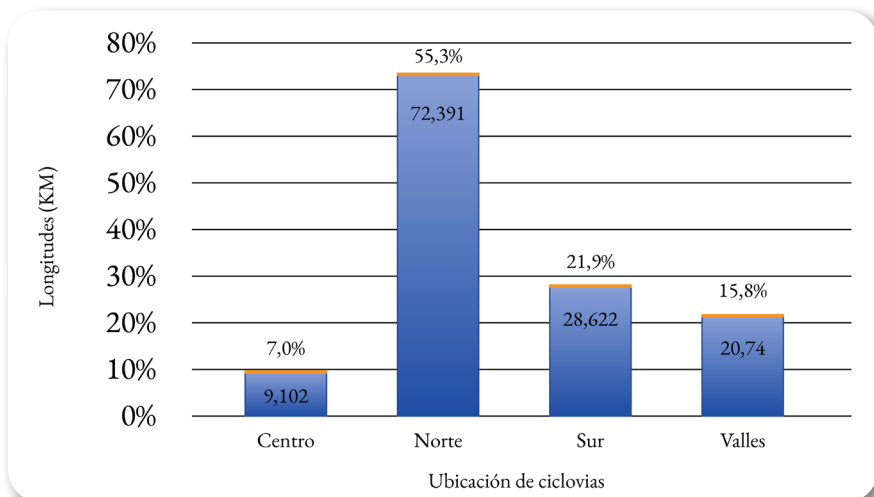
Por lo expuesto, el objetivo de este proyecto es evaluar el uso actual de las ciclovías en el Distrito Metropolitano de Quito-Ecuador considerando factores técnicos, sociales y de movilidad, para que la Ordenanza 0194 sea eficiente, las ciclovías y los carriles para los ciclistas deberán llenar los requisitos necesarios, en su diseño y operación para reducir al máximo su vulnerabilidad.

## **Materiales y métodos**

Según datos proporcionados en la ordenanza municipal del Concejo Metropolitano de Quito (2017) y de acuerdo con la Figura 1, para el año 2025 se han construido un total de 130,855 km de ciclovías utilitarias en 109 vías dentro del DMQ, abarcando principalmente zonas urbanas como los sectores comerciales, residenciales, empresariales, universitarios y los valles circundantes. Además, se han destinado 54,79 km para ciclovías recreativas ubicadas en espacios públicos como parques y vías urbanas que se gestionan mediante la implementación de cierres viales temporales en fin de semana. En el último periodo, se han incorporado 15,5 km adicionales a la red de ciclovías en calles y avenidas principales de la ciudad. Estas nuevas infraestructuras han incluido la colocación de carpetas asfálticas y de hormigón, así como la instalación de señalización horizontal y vertical, semaforización exclusiva para ciclistas, y la segregación física de los carriles de bicicletas mediante postes que delimitan los espacios destinados para los ciclistas y los vehículos motorizados. Según la Figura 1, la mayor concentración de estas está en el sector Norte con un 55,3%, en 62 vías intervenidas.



**Figura 1.** Longitudes de Ciclovías en el DMQ por sector de ubicación



El incremento de la red de ciclovías y la mejora en la infraestructura vial responden a la creciente demanda de alternativas de transporte sostenibles, resaltan la necesidad de evaluar su efectividad en cuanto a uso y seguridad. Así, la evaluación de estos aspectos resulta esencial para asegurar que las ciclovías no solo sean adecuadas en términos de diseño, sino también en su capacidad para promover un cambio significativo hacia una movilidad más sostenible.

Para el análisis realizado se utilizó información proporcionada por la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT), la cual contenía datos de usuarios que circulaban en un tramo específico de ciclovía en un día y a una hora determinada. Con esta información, se obtuvo el flujo de ciclistas en dicho tramo. A continuación, los siguientes conceptos técnicos aplicados para el análisis:

- El flujo ( $q$ ) como el número de usuarios que transitan por un tramo determinado de ciclovía por hora de estudio.
- La velocidad ( $v$ ) se calculó como el tiempo que los usuarios tardan en recorrer dicho tramo, expresado en kilómetros por hora (km/h) para el caso entre 19 y 26 km/h.



- La densidad ( $k$ ) se determinó como el número de ciclistas por kilómetro de ciclovía en promedio de 50 ciclistas en un tramo de vía.

Estos tres elementos se encuentran interrelacionados mediante la siguiente ecuación:

$$q = v \cdot k$$

Se consideraron tres interacciones fundamentales: densidad-velocidad, densidad-flujo y flujo-velocidad. Estas relaciones permiten entender cómo el comportamiento de los ciclistas varía en función de las condiciones del tramo de ciclovía. En este sentido, se observó que cuando la densidad tiende a cero, el flujo también se aproxima a cero, lo que indica que hay muy pocos usuarios en la vía. Este escenario corresponde a una región de flujo no congestionado, en la que la infraestructura ciclista está en condiciones óptimas de funcionamiento, pero cuando el flujo tiende a 0 porque la infraestructura no la usa la baja cantidad de usuarios en el tramo de ciclovía.

Este análisis se desarrolló para evaluar las condiciones de la ciclovía en términos de capacidad y eficiencia, permitiendo identificar posibles áreas de mejora en la infraestructura y las estrategias de gestión del flujo ciclistas. Los criterios de diseño aplicados en la construcción de ciclovías comparten similitudes con los de vías destinadas a vehículos motorizados; pero las condiciones particulares de operación de las bicicletas presentan diferencias significativas en velocidad, maniobrabilidad y requerimientos de seguridad (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018). Esta especificidad técnica exige una planificación adecuada que considere el comportamiento del ciclista en entornos urbanos, así como la interacción con otros modos de transporte.



## Resultados

Durante la ejecución del presente proyecto se observó que, si bien existe una red de ciclovías cada vez más extensa en el D.M. de Quito, su funcionalidad y nivel de uso efectivo aún dependen de factores complementarios relacionados con su infraestructura física.

Así mismo se pudo evidenciar que existe una necesidad urgente de fortalecer la educación vial, tanto en ciclistas, peatones y conductores de vehículos motorizados, entendiendo que el espacio público es de todos y se debe respetar el espacio asignado, sumado a una planificación de crecimiento de ciudad basada en una movilidad urbana sostenible.

En base a la información obtenida en la presente investigación es fundamental que se impulse la movilidad activa que se enlace a una intermodalidad, lo que genera beneficio en la calidad de vida de los ciudadanos. En términos económicos, se reduce el gasto en transporte y mejora la eficiencia del sistema vial. Desde el punto de vista ambiental, se disminuyen las emisiones contaminantes, contribuyendo a una mejor calidad del aire urbano. Socialmente, se promueve una ciudad más equitativa y accesible. Además, existen impactos positivos en la salud pública, particularmente en la prevención de enfermedades cardiovasculares y respiratorias relacionadas con la inactividad física y la contaminación.

En el caso del D.M. de Quito se debe trabajar en el fortalecimiento de las ciclovías a nivel urbano que permitan conectar con otros sistemas de transporte y se genera la intermodalidad que beneficie a todos los sectores antes mencionados.

## Contribución de autores (CRedit)

Recalde Hinojosa Holmes, Ruiz Calderón Nelson participaron en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis de resultados y redacción original del manuscrito. Segarra-Morales, María Soledad



contribuyó con la revisión crítica, edición del contenido y corrección del documento. Todos los autores aprueban la versión final del artículo y se responsabilizan de su contenido.

## Referencias

- Cal y Mayor R., R., & Cárdenas G., J. (2018). *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones (9.ª ed.)*. Alfaomega.
- Castillo, J., Olivo, A., García Ramírez, L., Sangurima, J., & Sotomayor, M. (2024). Análisis de intervenciones de seguridad vial para reducir accidentes de tránsito en Ecuador. *Revista Tecnológica – ESPOL*, 36(2), 112–134. <https://doi.org/10.37815/rte.v36n2.1182>
- Concejo Metropolitano de Quito. (2017). *Ordenanza Metropolitana No. 0194 que prioriza, regula, facilita y promociona la bicicleta y la caminata como modos de transporte sostenible en el Distrito Metropolitano de Quito*. [https://proyectos.quito.gob.ec/modulosga/ordenanzas\\_sancionadas.php?periodo=2014%20-%202019&anio=2017](https://proyectos.quito.gob.ec/modulosga/ordenanzas_sancionadas.php?periodo=2014%20-%202019&anio=2017)
- Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP). (2025). *Cronograma de mantenimiento de ciclovías utilitarias en el DMQ*.
- Flores-Juca, E., Mora-Arias, E., & Chica, J. (2024). Hacia una movilidad sostenible: Metodología de evaluación para la incorporación de carriles de bicicleta en la infraestructura vial de Cuenca. *Novasinerгия*, 7(1), 20–39. <https://doi.org/10.37135/ns.01.13.02>
- Market Research Future. (2025). *Road marking paints & material market research report*. <https://www.marketresearchfuture.com/es/reports/road-marking-paints-material-market-37980>



- Pazos Lara, C. A., & Simaluisa Sangovalin, W. H. (2024). Principales causas de la siniestralidad vial en Ecuador entre 2019 y 2023. *ISUPOL, Revista de Investigación en Seguridad Ciudadana y Orden Público*, 9, 58–66. <https://innovacionysaber.isupol.edu.ec/index.php/innovacion/article/download/281/582/>
- Pucher, J., & Buehler, R. (2017). Cycling towards a more sustainable transport future. *Transport Reviews*, 37(6), 689–694. <https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1340234>
- Saade Hazin, M., & Ortega Duarte, J. (2025). *Avances y desafíos de la seguridad vial en América Latina y el Caribe*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/81199-avances-desafios-la-seguridad-vial-america-latina-caribe>
- Serrano, R. E., & Rojas, D. J. (2023). *Desarrollo de ciclovía como una estrategia para el logro de la movilidad sostenible en Barquisimeto*. *Gaceta Técnica*, 24(2), 57–69. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica242.5>









# Urbanismo táctico: implementación para recuperar espacios públicos

Soria Guasti, Diego<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja; dasoria1@utpl.edu.ec

## Introducción

Las calles constituyen la infraestructura continua más extensa dentro del espacio público urbano, esencial en la configuración funcional y social de cualquier ciudad (Gehl, 2010). El espacio público urbano actúa como un elemento estructural del sistema que ofrece oportunidades para generar condiciones de habitabilidad y funcionalidad social que impactan directamente en la calidad de vida de los habitantes (Cabeza-Morales & Gutiérrez-Rey, 2015). Por esta razón, es indispensable considerar las dinámicas cotidianas de sectores específicos para lograr un equilibrio adecuado entre la movilidad vehicular y las actividades económicas locales, integrando el diseño geométrico vial de forma armónica con la arquitectura urbana (Páramo et al., 2018).

En América Latina, muchas ciudades han crecido desordenadamente debido a asentamientos irregulares y falta de regulación en la dotación de espacio urbano (Ríos Mejía & Díaz Montemayor, 2014). En la ciudad de Guayaquil, particularmente en varios sectores del sur, se ha priorizado históricamente el flujo vehicular sobre el desarrollo socioeconómico y la habitabilidad urbana. Esta situación ha generado vías con secciones excesivamente amplias para el tránsito motorizado, en detrimento de las áreas peatonales, que resultan escasas o inexistentes. Tal condición limita la movilidad no motorizada, reduce la seguridad vial y afecta negativamente la cohesión social del entorno urbano (Jacobs, 1993). El espacio público como lugar de relación e identificación, es fundamental para la construcción de cohesión social urbana, promoviendo relaciones de confianza, colaboración y sentido de pertenencia entre los habitantes (Borja & Muxí, 2000).



La necesidad de repensar el diseño de las vías urbanas se fundamenta en que la normatividad tradicional de diseño geométrico está enfocada en carreteras y no responde adecuadamente a las condiciones de circulación de personas en entornos urbanos (SEDATU, 2024). Por lo tanto, las ciudades requieren lineamientos específicos para la planeación y proyección de vías que prioricen la movilidad peatonal, la infraestructura ciclista y la pacificación del tránsito, considerando parámetros de accesibilidad y diseño universal.

Una alternativa técnica y sostenible para llevar a cabo estas transformaciones es el urbanismo táctico, una metodología de intervención urbana que se basa en la implementación de cambios rápidos, temporales y de bajo costo. Esta estrategia permite experimentar configuraciones viales y urbanísticas antes de consolidar intervenciones permanentes, facilitando la toma de decisiones basadas en la evaluación de resultados tangibles (Lydon & García, 2015). El urbanismo táctico ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad para la implementación de acciones emergentes que pueden dar respuesta a las necesidades de adecuación de los espacios públicos, permitiendo mejoras significativas en la movilidad, seguridad y calidad del entorno urbano (ONU-Habitat, 2021).

Mediante el uso de materiales accesibles y técnicas sencillas como la pintura de pavimento, la colocación de mobiliario urbano temporal o la incorporación de vegetación se logra revitalizar áreas subutilizadas, fomentar la participación ciudadana y mejorar la calidad del entorno urbano (Silva & Duran, 2020). En contextos latinoamericanos, esta metodología cobra especial relevancia, ya que permite a las comunidades locales humanizar el espacio público y revalorar actividades mediante soluciones creativas e innovadoras (Ciudad Emergente, 2013). Experiencias exitosas en ciudades como Bogotá, Medellín y Ciudad de México han demostrado que intervenciones de urbanismo táctico pueden generar impactos positivos en la cohesión social, apropiación vecinal de espacios públicos y reducción de índices delictivos (Padilla & Martínez, 2021).



El presente proyecto propone la aplicación del urbanismo táctico en la avenida Mariana Argudo Chejín, en el tramo comprendido entre la avenida Domingo Comín y la avenida Alberto Spencer (Av. 11 SE), ubicada en el sector del Guasmo, al sur de Guayaquil. El objetivo principal es reconfigurar temporalmente esta vía con criterios técnicos de diseño geométrico urbano, que prioricen la movilidad peatonal y el uso equitativo del espacio público, con el fin de evaluar su impacto en la movilidad, la seguridad y la dinámica socioeconómica del sector. Esta intervención busca validar la efectividad de las modificaciones temporales antes de su consolidación permanente, contribuyendo así a la construcción de un modelo urbano más sostenible, inclusivo y centrado en las personas.

## **Materiales y métodos**

La investigación se realizó recopilando y analizando información sobre experiencias de urbanismo táctico en países vecinos, destacando en Colombia, donde esta metodología se ha aplicado de forma sostenida en los últimos años (Lydon & García, 2015). Se revisaron documentos técnicos y archivos de estudios previos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guayaquil, relacionados con intervenciones en la avenida Mariana Argudo, donde ya se ejecutaron propuestas de urbanismo táctico en etapas anteriores.

En la fase de intervención, personal técnico de la Autoridad de Tránsito Municipal implementó demarcaciones viales y llevó a cabo una redistribución del espacio público. Estas acciones se socializaron con la comunidad local, y se realizó un seguimiento técnico durante dos años. Como resultado del monitoreo, se validó la efectividad de la intervención temporal, lo que permitió su consolidación como obra permanente. Durante este proceso, se ejecutaron ajustes puntuales en el trazado geométrico y se rediseñó una intersección, conforme a los hallazgos del proceso de evaluación.



La ubicación exacta del tramo intervenido, correspondiente a la avenida Mariana Argudo, se representó gráficamente (véase Figura 1) y se delimitó mediante coordenadas UTM, como se detalla en la Tabla 1.

Figura 1. Ubicación de la Av. Mariana Argudo



Desde el enfoque técnico, se analizó la geometría de las vías, la demanda vehicular, el uso funcional de las arterias viales y los factores sociales y económicos del sector. Para identificar zonas críticas, se emplearon datos estadísticos sobre siniestros de tránsito y muertes por atropellamiento, lo cual permitió establecer prioridades de intervención.

Tabla 1. Coordenada de la vía rural asfaltada y UTM de vía rural asfaltada

X	Y	Z
623238,15	9749935,06	4,00
623261,51	9749964,27	4,00
623521,95	9749665,23	4,00
623596,56	9749754,80	4,00



Después, se efectuó un levantamiento topográfico detallado del estado actual de la vía. Los datos obtenidos se procesaron con el *software* Autodesk Civil 3D, herramienta con la que se elaboraron los rediseños geométricos correspondientes según las condiciones identificadas en campo.

Además, se revisaron normativas nacionales e internacionales aplicables al diseño vial y urbano. En el ámbito nacional, se consultaron los lineamientos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOP, 2018). A nivel internacional, se consideraron obras de referencia como *Global Street Design Guide* (2016), el *Manual de Diseño Urbano* de Jan Bazant (2001), y el borrador preliminar del manual de diseño urbano propuesto por el Municipio de Guayaquil. Se observó que el diseño urbano requiere criterios específicos distintos a los tradicionalmente aplicados en el diseño de carreteras que justificó el uso de un enfoque integral e interdisciplinario.

## Resultados

La implementación del urbanismo táctico en la avenida Mariana Argudo Chejín permitió obtener una evaluación técnica confiable por parte de la entidad estatal competente, generando transformaciones significativas en los ámbitos vial, urbanístico y económico del sector intervenido. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad de esta metodología como herramienta de intervención urbana que prioriza la movilidad peatonal y el uso equitativo del espacio público.

El análisis comparativo entre la configuración vial existente antes de la intervención y la reorganización espacial posterior revela cambios sustanciales en la distribución del espacio urbano. La Tabla 2 presenta los principales resultados cuantitativos, destacando las variaciones porcentuales que reflejan la magnitud de las transformaciones implementadas.

**Tabla 2.** *Coordenada de la vía rural asfaltada*

Datos	Antes	Después	%
Anchos de acera (m)	1,50 a 2,20	3,00 a 5,00	110 – 150%
Anchos de carriles(m)	3,40	3,30	-3%
# de Carriles	5,00	3,00	-40%
Distancia de cruces de peatones (m)	39,6	7,50	-81%
Espacio peatonal (m2)	1 660	5 000	300%

Los hallazgos evidencian una notable expansión del espacio peatonal, con un incremento del 300% en superficie destinada al tránsito de personas, pasando de 1 660m<sup>2</sup> a 5 000m<sup>2</sup>. Este aumento significativo representa una redistribución equitativa del espacio público que favorece la movilidad activa y mejora la calidad del entorno urbano. El ancho de las aceras experimentó un incremento sustancial, alcanzando valores entre 11 % y 150 %, lo cual proporciona mayor comodidad y seguridad para los peatones.

La intervención logró una reducción del 81 % en la distancia entre cruces peatonales, disminuyendo de 39,6 metros a 7,5 metros. Esta modificación mejora sustancialmente la accesibilidad y seguridad vial, reduciendo los tiempos de exposición de los peatones al tránsito vehicular y facilitando desplazamientos más cortos y seguros. La disminución del número de carriles vehiculares de 5 a 3 (reducción del 40%) contribuyó a la pacificación del tránsito, generando velocidades más moderadas y un entorno más seguro para todos los usuarios de la vía.

El ajuste en el ancho de los carriles, con una reducción mínima del 3% (de 3,40m a 3,30m), permitió optimizar el espacio vial sin comprometer la funcionalidad del tránsito automotor. Esta estandarización de dimensiones responde a criterios técnicos contemporáneos de diseño vial urbano que priorizan la seguridad y eficiencia sobre la velocidad vehicular.



La ejecución de estas transformaciones mediante urbanismo táctico implicó costos significativamente menores en comparación con obras tradicionales de infraestructura vial. El uso de materiales temporales como pintura de tráfico, señalización provisional y elementos de bajo costo permitió validar el diseño propuesto con una inversión reducida. Esta condición, junto con el impacto visual positivo y el efecto demostrativo sobre la comunidad, evidenció la viabilidad técnica y social de consolidar dichas intervenciones de forma permanente.

La socialización continua con la comunidad local durante el periodo de dos años de seguimiento que permitió identificar una aceptación progresiva de las modificaciones implementadas. Los habitantes del sector manifestaron mejoras en la percepción de seguridad, mayor apropiación del espacio público y un incremento en las actividades económicas locales. La participación ciudadana fue un componente fundamental del proceso, permitiendo ajustes y refinamientos de la intervención basados en la retroalimentación de los usuarios directos del espacio.

Los resultados obtenidos en la avenida Mariana Argudo Chejín son consistentes con experiencias internacionales exitosas de urbanismo táctico, validando esta metodología como una herramienta efectiva para la transformación del espacio público en contextos urbanos latinoamericanos. La evidencia empírica demuestra que las intervenciones temporales de bajo costo pueden generar cambios significativos en la movilidad urbana, la seguridad vial y la cohesión social.

La experiencia internacional ha documentado ampliamente los beneficios del urbanismo táctico en diversas ciudades. En Estados Unidos, la transformación de Times Square en Nueva York mediante peatonalización y demarcación de calles demostró cómo espacios ruidosos y contaminados pueden convertirse en intersecciones culturales y comerciales exitosas (Lydon & García, 2015). En América Latina, ciudades como Bogotá, Medellín y Ciudad de México han



implementado intervenciones similares con resultados positivos en términos de socialización, apropiación del espacio público y reducción de índices delictivos (Ríos Mejía & Díaz Montemayor, 2014). El caso de Barcelona con las Supermanzanas ha mostrado cómo el rediseño urbano puede fomentar la socialización y mejorar la calidad de vida de los habitantes (ONU-Habitat, 2021).

El incremento del 300% en espacio peatonal observado en este estudio refleja un cambio paradigmático en la concepción del diseño vial urbano, alineándose con los principios de la jerarquía de movilidad que priorizan a peatones sobre vehículos motorizados. Este hallazgo es particularmente relevante considerando que tradicionalmente el diseño geométrico vial ha estado enfocado en carreteras y no en las condiciones específicas de circulación de personas en entornos urbanos (SEDATU, 2024). La ampliación de aceras y la reducción de carriles vehiculares contribuyen a la creación de calles completas que consideran la multiplicidad de usuarios y sus necesidades diferenciadas.

La reducción del 81% en la distancia entre cruces peatonales constituye un avance significativo en términos de seguridad vial. Estudios especializados indican que distancias de cruce más cortas reducen la exposición de peatones al riesgo de atropellamientos y mejoran la permeabilidad del tejido urbano (World Resources Institute, 2016). Esta modificación es consistente con las recomendaciones internacionales sobre diseño de infraestructura peatonal que enfatizan la importancia de facilitar cruces seguros y frecuentes en áreas urbanas densamente pobladas.

El proceso de socialización y participación ciudadana implementado durante los dos años de seguimiento representa un componente fundamental que diferencia al urbanismo táctico de las intervenciones urbanas tradicionales. La participación ciudadana no solo genera apropiación del espacio público, sino que permite ajustes y refinamientos basados en las necesidades reales de los usuarios (Padilla & Martínez, 2021). Esta metodología





horizontal y comunitaria contrasta con modelos convencionales de planificación urbana y resulta especialmente relevante en contextos latinoamericanos caracterizados por inequidad social y limitada participación en procesos de toma de decisiones (Ciudad Emergente, 2013).

La viabilidad económica de la intervención mediante urbanismo táctico confirma que la limitación presupuestaria no debe ser un obstáculo para mejorar la calidad del espacio público urbano. El bajo costo de implementación, combinado con la velocidad de ejecución y la posibilidad de evaluación temprana de resultados, representa ventajas significativas frente a proyectos de infraestructura tradicional (Lydon & García, 2015). Esta característica es particularmente valiosa en ciudades con recursos limitados que requieren intervenciones urbanas urgentes para mejorar la movilidad y seguridad vial.

Sin embargo, es importante reconocer que el urbanismo táctico no debe concebirse únicamente como una solución estética o temporal a las deficiencias del espacio urbano. Su valor radica en su capacidad de servir como proyecto piloto que, mediante evaluación rigurosa, puede consolidarse en intervenciones permanentes que transformen estructuralmente la ciudad (ONU-Habitat, 2021). El caso de estudio presenta limitaciones relacionadas con la evaluación de impactos de largo plazo y la necesidad de estudios complementarios sobre aspectos como la calidad del aire, niveles de ruido y efectos en la actividad económica local.

### **Contribución de autores (CRediT)**

Todos los autores participaron de manera equitativa en la conceptualización, desarrollo metodológico, análisis, redacción y revisión del manuscrito. Todos aprueban la versión final y se hacen responsables de su contenido.



## Referencias

- Bazant, J. (2001). *Manual de diseño urbano*. Editorial Trillas México.
- Borja, J., & Muxí, Z. (2000). *El espacio público, ciudad y ciudadanía*. Electa.
- Cabeza Morales, M., & Gutiérrez Rey, F. (2015). El espacio público como elemento de cohesión territorial. *Revista de Arquitectura y Urbanismo*, 36(2), 45-62. <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/tursoc/article/view/6000>
- Ciudad Emergente. (2013). *Urbanismo táctico 3: Casos latinoamericanos*.
- Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press.
- Global Designing Cities Initiative. (2016). *Global Street Design Guide*. Island Press.
- Jacobs, J. (1993). *The death and life of great American cities*. Modern Library.
- Lydon, M., & García, A. (2015). *Tactical urbanism: Short-term action for long-term change*. Island Press.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2018). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. MTOP.
- ONU-Habitat. (2021). *Urbanismo táctico: Elemento clave en la recuperación post-pandemia*. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/urbanismo-tactico-elemento-clave-en-la-recuperacion-post-pandemia>
- Padilla, S., & Martínez, E. (2021). *Luces y sombras del urbanismo táctico. Análisis de dos proyectos de urbanismo táctico en ciudad de Barranquilla, Colombia*. URBE. Arquitectura, Ciudad y Territorio, 12, 85-97. <https://doi.org/10.29393/UR12-6ALPM20006>



- Páramo, P., Burbano, A., & Jiménez-Domínguez, B. (2018). *La habitabilidad del espacio público en las ciudades de América Latina. Avances en Psicología Latinoamericana*, 36(2), 345-362. <https://www.redalyc.org/journal/799/79955443009/html/>
- Ríos Mejía, B., & Díaz Montemayor, G. (2014). El espacio público y su fracaso como generador de calidad de vida urbana en los polígonos de pobreza del Área Metropolitana de Monterrey. *Realidades: Revista de la Facultad de Trabajo Social y Desarrollo Humano*, 4(2), 99-111. <https://realidades.uanl.mx/index.php/realidades/article/view/76>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2024). NOM-004-SEDATU-2023, Estructura y diseño para vías urbanas. Especificaciones y aplicación. *Diario Oficial de la Federación*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5723137&fecha=12/04/2024](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5723137&fecha=12/04/2024)
- Silva, C., & Duran, R. (2020). Urbanismo táctico como herramienta para la transformación del espacio público. *Revista de Urbanismo*, 43, 1-15. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2020.57484>
- World Resources Institute. (2016). *Ciudades más seguras mediante el diseño: Guía de elementos urbanos*. <https://publications.wri.org/citiessafer/es/>





Ingeniería Vial Sostenible en Ecuador ofrece una perspectiva integral y técnica para enfrentar los desafíos de la infraestructura terrestre en una geografía tan diversa y compleja como la ecuatoriana. Esta compilación de investigaciones aplicadas se estructura en cuatro ejes fundamentales: Diseño Avanzado de Carreteras, Tránsito Urbano y Movilidad, Gestión de Proyectos Viales y Seguridad Vial.

A lo largo de sus capítulos, la obra explora soluciones innovadoras que van desde la estabilización de taludes en la Sierra y el drenaje sostenible en la Costa, hasta el uso de tecnologías emergentes como levantamientos topográficos con drones, metodología BIM y software de simulación de tráfico. Se destaca especialmente el enfoque en la sostenibilidad, analizando la viabilidad técnica y económica de materiales como el pavimento asfáltico reciclado (RAP) y estrategias de urbanismo táctico para mejorar la convivencia vial.

Este libro no solo diagnostica la realidad de la red vial nacional, sino que propone intervenciones concretas para optimizar recursos, reducir la siniestralidad y mitigar el impacto ambiental. Es una herramienta de consulta obligatoria para estudiantes de ingeniería civil, docentes, consultores y gestores públicos que buscan liderar la transformación hacia una infraestructura más resiliente, segura y eficiente en el Ecuador.

