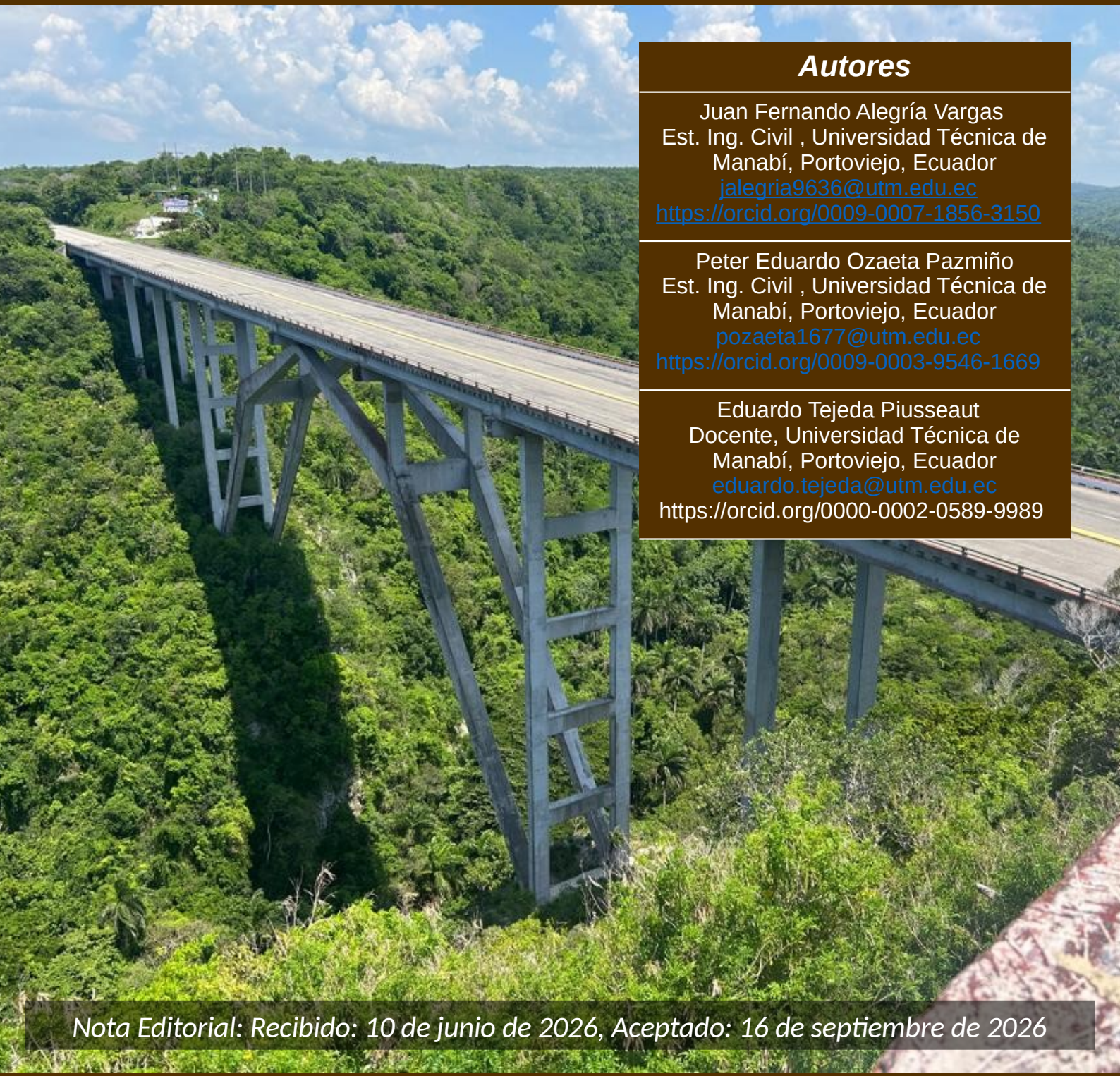
Trabajo de Investigación

1

Modelo De Gestión Para La Conservación De Vías Urbanas En Rocafuerte: Estrategias Basadas En Técnicas De Toma De Decisiones Multicriterio

Management Model for Urban Road Maintenance in Rocafuerte: Strategies Based on Multi-Criteria Decision-Making Techniques



Autores

Juan Fernando Alegría Vargas
Est. Ing. Civil , Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
jalegria9636@utm.edu.ec
https://orcid.org/0009-0007-1856-3150

Peter Eduardo Ozaeta Pazmiño
Est. Ing. Civil , Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
pozaeta1677@utm.edu.ec
https://orcid.org/0009-0003-9546-1669

Eduardo Tejeda Piusseaut
Docente, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
eduardo.tejeda@utm.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-0589-9989

Nota Editorial: Recibido: 10 de junio de 2026, Aceptado: 16 de septiembre de 2026

1

Modelo De Gestión Para La Conservación De Vías Urbanas En Rocafuerte: Estrategias Basadas En Técnicas De Toma De Decisiones Multicriterio



Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la alternativa más económica y técnicamente adecuada para el mantenimiento de un pavimento flexible mediante la integración de la evaluación funcional del pavimento y técnicas de análisis multicriterio, tomando como caso de estudio la calle Eloy Alfaro del cantón Rocafuerte. Para evaluar el estado del pavimento se aplicó la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI). La vía fue dividida en 11 unidades de muestreo de 200 m2 cada una, donde se identificaron fallas como grietas, piel de cocodrilo, baches, desprendimiento de agregados y ahuellamientos. Los resultados obtenidos del PCI permitieron clasificar la estructura vial en tres condiciones de falla: buenas, regulares y malas, con valores promedio de PCI de 63,00; 46,75 y 30,33, respectivamente, descartándose la alternativa de mantenimiento rutinario debido a la ausencia de valores superiores a 85. Posteriormente, se aplicó el método multicriterio SAW (Simple Additive Weighting) para seleccionar la alternativa de intervención más adecuada, considerando como criterios principales el PCI, la durabilidad y el costo económico de cada solución. Los pesos asignados fueron 40% para el PCI, 35% para la durabilidad y 25% para el costo, priorizando el desempeño técnico del pavimento. Los resultados finales mostraron que la alternativa A2, correspondiente al mantenimiento preventivo, alcanzó la mayor puntuación global (0,825), constituyendo la opción más conveniente para la conservación de la vía evaluada.

Palabras Clave

Índice de Condición del Pavimento (PCI), Pavimentos flexibles, Conservación vial, Análisis multicriterio, Método SAW..

1

Research Paper

Management Model For Urban Road Maintenance In Rocafuerte: Strategies Based On Multi-Criteria Decision-Making Techniques

Abstract

The objective of this research was to determine the most economical and technically appropriate alternative for the maintenance of a flexible pavement by integrating functional pavement evaluation and multi-criteria analysis techniques, using Eloy Alfaro Street in the Rocafuerte canton as a case study. The Pavement Condition Index (PCI) methodology was applied to evaluate the pavement's condition. The road was divided into 11 sampling units of 200 m² each, where defects such as cracks, alligator cracking, potholes, aggregate spalling, and rutting were identified. The PCI results allowed the road structure to be classified into three failure conditions: good, fair, and poor, with an average PCI value of 63,00, 46,75 and 30,33, respectively, discarding the routine maintenance alternative due to the absence of values above 85. Subsequently, the Simple Additive Weighting (SAW) multi-criteria method was applied to select the most appropriate intervention alternative, considering the PCI, durability, and economic cost of each solution as the main criteria. The assigned weights were 40% for PCI, 35% for durability, and 25% for cost, prioritizing the pavement's technical performance. The final results showed that alternative A2, corresponding to preventive maintenance, achieved the highest overall score (0.825), making it the most suitable option for the preservation of the evaluated road.

Keywords

Pavement Condition Index (PCI), Flexible pavements, Road maintenance, Multicriteria analysis, SAW method..

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GESTIÓN DE PAVIMENTOS Y NECESIDAD DE INDICADORES OBJETIVOS

La conservación de los pavimentos urbanos constituye una actividad estratégica dentro de la gestión de infraestructura vial, debido a su incidencia directa sobre la movilidad, la seguridad vial, la competitividad económica y la calidad de vida de la población. Un adecuado mantenimiento permite preservar la capacidad funcional de las vías, reducir los costos de operación vehicular y prolongar la vida útil de la infraestructura. Sin embargo, en numerosos municipios, especialmente en países en desarrollo, las restricciones presupuestarias y la limitada planificación técnica ocasionan que las intervenciones se ejecuten de manera reactiva, cuando el deterioro ha alcanzado niveles que demandan inversiones considerablemente mayores. En consecuencia, los sistemas modernos de gestión de pavimentos incorporan metodologías objetivas de evaluación que permiten optimizar la asignación de recursos y establecer prioridades de intervención sustentadas en evidencia técnica [1, 2].

Entre los procedimientos de evaluación funcional más utilizados a nivel internacional se encuentra el Pavement Condition Index (PCI), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers y posteriormente normalizado mediante la norma ASTM D6433-20 [3]. Este método cuantifica el estado superficial del pavimento a partir de la identificación, clasificación y valoración de los diferentes tipos de deterioro presentes en la superficie de rodadura, obteniendo un índice comprendido entre 0 y 100 que facilita la comparación objetiva entre diferentes tramos y la priorización de actividades de conservación. Debido a su confiabilidad y facilidad de aplicación, el PCI continúa siendo una de las herramientas más empleadas dentro de los sistemas de gestión de pavimentos en distintos países [4; 5].

En los últimos años se han desarrollado diversas investigaciones orientadas a fortalecer la gestión de pavimentos mediante la integración de nuevas metodologías de evaluación y apoyo a la decisión. Los pavimentos flexibles pueden ser evaluados mediante el método PCI, constituyendo este índice una herramienta confiable para identificar oportunamente los deterioros predominantes y optimizar la programación del mantenimiento preventivo [5]. De igual forma, la aplicación del índice PCI en pavimentos urbanos ecuatorianos ha demostrado mejorar significativamente la priorización de intervenciones dentro de los programas municipales de conservación [6]. Asimismo, la integración del índice PCI con sistemas de información geográfica permite mejorar la gestión espacial del deterioro y facilitar la planificación del mantenimiento vial [7].

No obstante, diversos autores coinciden en que la condición superficial del pavimento constituye únicamente uno de los factores involucrados en la toma de decisiones. La selección de una estrategia de conservación también depende de variables como el costo de intervención, la durabilidad esperada, la importancia funcional de la vía, el volumen de tránsito, la seguridad vial y las restricciones presupuestarias, las cuales suelen presentar relaciones de conflicto. Por esta razón, durante los últimos años se ha incrementado el empleo de los métodos de decisión multicriterio (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) para apoyar la gestión de infraestructura vial mediante la integración simultánea de criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales [8, 9].

Entre las diferentes técnicas multicriterio disponibles destacan AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE, VIKOR y Simple Additive Weighting (SAW) o Método de Suma Ponderada. Este último ha despertado un interés creciente debido a su simplicidad matemática, facilidad de implementación e interpretación de resultados, características que favorecen su utilización por parte de organismos responsables de la gestión vial. Investigaciones recientes han demostrado que la integración de modelos multicriterio permite obtener decisiones más robustas que aquellas basadas únicamente en indicadores de condición, incorporando simultáneamente aspectos relacionados con el desempeño técnico, los costos, la sostenibilidad y las prioridades de los gestores públicos [8].

En Ecuador, el deterioro progresivo de las vías urbanas representa uno de los principales desafíos para los gobiernos autónomos descentralizados, debido al incremento del tránsito vehicular, las condiciones climáticas y las limitaciones presupuestarias destinadas al mantenimiento. Aunque diversas investigaciones nacionales han empleado el método PCI para diagnosticar el estado funcional de pavimentos urbanos, la mayoría de ellas se ha centrado exclusivamente en la evaluación del deterioro, sin integrar metodologías multicriterio que permitan seleccionar objetivamente la alternativa de intervención más conveniente considerando simultáneamente criterios técnicos y económicos [6, 8].

Si bien un sistema de gestión de la conservación vial comprende diversos componentes relacionados con el inventario, la evaluación, el diagnóstico, la planificación, la programación, la ejecución y el seguimiento de las intervenciones, el alcance del presente estudio se centra específicamente en la etapa de toma de decisiones, en la cual se determina la alternativa de conservación más conveniente a partir de múltiples criterios. Para ello, se integra la metodología PCI, utilizada para caracterizar y valorar la condición del pavimento, con el método SAW, empleado para comparar y priorizar las alternativas de intervención considerando criterios como el nivel de deterioro, el costo y la durabilidad esperada. De esta manera, la propuesta aborda un componente fundamental del proceso de gestión, incorporando la decisión multicriterio como mecanismo de apoyo para transformar la información obtenida de la evaluación del pavimento en una selección objetiva y fundamentada de estrategias de conservación. Su aplicación en la vía analizada en el cantón Rocafuerte permite demostrar la aplicabilidad del procedimiento y su potencial para contribuir a una asignación más eficiente de los recursos destinados a la conservación vial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se seleccionó como caso de estudio la calle Eloy Alfaro, ubicada en el cantón Rocafuerte, provincia de Manabí, Ecuador. La evaluación del estado del pavimento se realizó mediante el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés), de acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma ASTM D6433-20 [3]. Esta metodología permite determinar, mediante inspección visual el tipo, nivel de severidad y extensión de los deterioros presentes en el pavimento, a partir de los cuales se obtiene un índice numérico comprendido entre 0 y 100 que representa su condición superficial [7].

La evaluación del estado superficial de la vía se desarrolló en dos etapas. En la primera, se realizó un reconocimiento preliminar del tramo con el propósito de identificar las zonas críticas, los principales tipos de deterioros y los factores potencialmente asociados al deterioro del pavimento. En esta fase se verificaron las condiciones geométricas del tramo analizado y se delimitaron las unidades de muestreo. Cada unidad de evaluación fue establecida en un área de 200 m^2, conformándose un total de 11 unidades de muestreo en función de la longitud total de la vía.

En la segunda etapa, se efectuó la inspección visual detallada de cada unidad, registrando los deterioros presentes utilizando una ficha de inspección adaptada de la norma ASTM D6433-20 [3], la cual incluye información general de la vía, segmento evaluado, fecha de inspección y responsable técnico. De esta manera se garantiza la trazabilidad y consistencia en el registro de los datos obtenidos. El formato empleado contempla el inventario de los 19 tipos de deterioros comúnmente identificadas en pavimentos asfálticos, como las grietas longitudinales y transversales, piel de cocodrilo, baches, desprendimiento de agregados, ahuellamiento y hundimientos. Cada deterioro fue clasificado según sus niveles de severidad en: baja (L), media (M) y alta (H), en función de la magnitud y el impacto visual del deterioro sobre la superficie de rodadura.

Con base en los registros obtenidos durante la inspección, se determinó para cada deterioro su densidad, expresada como la relación porcentual entre la magnitud del daño identificado y el área total de la unidad de muestreo. A partir de estos valores y siguiendo el procedimiento establecido en la ASTM D6433-20 [3], se determinaron los valores deducidos correspondientes a cada deterioro y, posteriormente, el valor deducido corregido requerido para el cálculo del PCI. El índice obtenido permite establecer la condición superficial de cada unidad de evaluación y, a partir de su análisis conjunto, determinar el estado general del tramo estudiado.

Los valores de PCI obtenidos constituyeron uno de los principales criterios técnicos para la definición y evaluación de las estrategias de conservación y rehabilitación. Sin embargo, considerando que la selección de una alternativa de intervención depende de múltiples factores, se incorporaron criterios complementarios relacionados con el costo de intervención y la durabilidad esperada. En consecuencia, la selección de la estrategia más conveniente se fundamentó en la evaluación conjunta de los criterios técnicos y económicos considerados en el estudio, evitando que la decisión dependiera exclusivamente de la condición superficial representada por el PCI.

A partir de los valores de PCI determinados para las unidades de muestreo, se estableció una correspondencia entre los rangos de condición del pavimento y las estrategias de intervención consideradas para el tramo analizado. Esta correspondencia permitió definir las alternativas de conservación y rehabilitación susceptibles de ser aplicadas en función de la condición superficial identificada y de las posibilidades de intervención disponibles en el contexto local. La correlación entre los rangos de PCI y las alternativas de intervención se presenta en la tabla 1.

Una vez definidas las alternativas de conservación y rehabilitación a partir de la condición superficial determinada mediante el PCI, se aplicó el análisis de decisión multicriterio mediante el método SAW. Para ello, se determinaron los valores del Índice de Estado correspondientes a cada alternativa de intervención. Cuando una alternativa estuvo asociada a un intervalo de valores del índice, se utilizó como valor representativo el punto medio del intervalo correspondiente. Estos valores, junto con los demás criterios técnicos y económicos considerados, conformaron la matriz de decisión utilizada en el análisis.

Tabla 1. Correlación entre los rangos de PCI y el tipo de intervención requerida

Rango PCI	Clasificación	Condición funcional y estructural	Tipo de intervención recomendada
100 – 85	Excelente	Pavimento en óptimas condiciones, deterioros insignificantes	A1 – Mantenimiento rutinario
85 – 70	Muy bueno	Deterioros leves y aislados, pocos daños menores	A2 – Mantenimiento preventivo
70 – 55	Bueno	Deterioros moderados. Inicio de deterioros funcionales y estructurales menores	A2 – Mantenimiento preventivo
55 – 40	Regular	Deterioros visibles que afectan la serviciabilidad	A3 – Mantenimiento correctivo
40 – 25	Malo	Fallas severas localizadas y pérdida importante de capacidad funcional	A4 – Mantenimiento periódico / rehabilitación
25 – 10	Muy malo	Deterioro generalizado, afectación estructural importante	A4 – Mantenimiento periódico / rehabilitación
10 – 0	Fallado	Pavimento prácticamente fuera de servicio	A4 – Mantenimiento periódico / rehabilitación mayor o reconstrucción

El método SAW permite comparar las alternativas mediante la normalización y ponderación de los valores de los diferentes criterios, de acuerdo con su importancia relativa. Debido a su carácter compensatorio, un desempeño menos favorable de una alternativa en determinado criterio puede ser compensado por un mejor desempeño en otros. La puntuación global se obtiene mediante la suma de los productos entre los valores normalizados y los pesos correspondientes a cada criterio, de manera que la alternativa que alcanza la mayor puntuación representa la opción de mayor preferencia dentro del conjunto de condiciones y ponderaciones establecidas [10].

El procedimiento de aplicación del método SAW se estructuró siguiendo los pasos siguientes:

1. Definición de las alternativas de intervención, establecidas a partir de la condición del pavimento y de las estrategias de conservación y rehabilitación consideradas.

2. Selección de los criterios de decisión, considerando los aspectos técnicos y económicos relevantes para la evaluación de las alternativas.

3. Determinación de los valores de desempeño de cada alternativa respecto de los criterios establecidos, conformando la matriz de decisión.

4. Asignación de los pesos de los criterios, de acuerdo con su importancia relativa en el proceso de selección.

5. Normalización de la matriz de decisión, con el propósito de transformar los valores de los diferentes criterios a una escala común que permita su comparación.

6. Obtención de los valores ponderados, mediante la multiplicación de cada valor normalizado por el peso correspondiente al criterio.

7. Cálculo de la puntuación global de cada alternativa, mediante la suma de los valores ponderados.

8. Jerarquización de las alternativas, de acuerdo con la puntuación global obtenida, seleccionándose como alternativa preferente aquella que alcanzó el mayor valor.

Para determinar los pesos de los criterios se empleó un procedimiento que combinó el apoyo de herramientas de inteligencia artificial (IA) con el juicio de expertos. Primeramente, se utilizó la IA como herramienta de apoyo para identificar criterios recurrentes y proponer una ponderación inicial a partir de la revisión de normativas técnicas, artículos científicos y otras fuentes especializadas.

Esta ponderación inicial fue sometida posteriormente a revisión por un panel de seis ingenieros civiles con más de diez años de experiencia en conservación y mantenimiento vial. Los expertos evaluaron la importancia relativa de los criterios mediante un procedimiento de votación ponderada, a partir del cual se revisaron y ajustaron los pesos inicialmente propuestos. La ponderación final resultó de la integración de la evidencia obtenida de la literatura especializada y del conocimiento técnico de los profesionales participantes, procurando adaptar el modelo de decisión a las características y condiciones del caso de estudio.

Finalmente, se efectuó un análisis de sensibilidad para evaluar la estabilidad de la solución obtenida frente a variaciones en los pesos asignados a los criterios. Para ello, se analizaron escenarios con modificaciones en las ponderaciones y se verificó la posición de las alternativas resultante en cada escenario. La permanencia de la alternativa seleccionada ante las variaciones consideradas se utilizó como indicador de la estabilidad y robustez del modelo de decisión propuesto.

3. RESULTADOS

3.1. EVALUACIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

Durante la inspección visual (figura 1) se identificaron deterioros característicos de pavimentos asfálticos, entre ellos fisuración por fatiga (piel de cocodrilo), exudación, fisuras en bloque, baches y ahuellamiento, los cuales permitieron calcular el PCI de cada unidad y clasificar su condición desde excelente hasta fallada.



Fig. 1. Inspección visual y levantamiento de información del estado del pavimento en campo

3.2. ESTABLECIMIENTO DE ALTERNATIVAS Y CRITERIOS DE DECISIÓN

- **Definición de las alternativas a evaluar**

El objetivo del análisis es determinar la alternativa más económica y técnicamente adecuada para la intervención de la vía objeto de estudio. Para ello, se consideran las siguientes opciones de actuación:

- **A1**. Mantenimiento rutinario: Son acciones menores y frecuentes; conservan la vía, pero no aumentan significativamente su vida útil estructural.
- **A2**. Mantenimiento preventivo: Retrasa el deterioro y prolonga la vida útil si se aplica oportunamente.
- **A3**. Mantenimiento correctivo: Corrige daños existentes y recupera parcialmente la condición funcional del pavimento.
- **A4**. Intervención de mayor alcance; restaura significativamente la capacidad funcional y/o estructural del pavimento.

- **Criterios de decisión**

Para un análisis multicriterio de selección de alternativas de conservación vial, en una distribución técnica equilibrada se pueden priorizar principalmente los siguientes criterios: la condición del pavimento (magnitud de deterioros), la efectividad de la solución a largo plazo (durabilidad) y la viabilidad económica (costo). Para el análisis se definieron los siguientes criterios de decisión [11].

Condición del pavimento (PCI): representa el nivel de deterioro identificado en cada unidad de medición, calculado según la magnitud y severidad de los daños detectados durante la evaluación visual [7].

- Efectividad de la solución a largo plazo (durabilidad): representa la vida útil esperada de cada tipo de intervención aplicada.
- Viabilidad económica (costo): corresponde al costo asociado a cada alternativa de intervención o conservación.

a) Índice de Condición el Pavimento

Para incorporar la condición del pavimento como criterio de evaluación, se empleó el valor promedio del Índice de Condición del Pavimento (PCI) obtenido para las unidades de medición evaluadas. De acuerdo con los rangos de clasificación del PCI, se identificaron tres categorías de intervención: A2 – mantenimiento preventivo, asociada a una condición buena y un PCI promedio de 63,0; A3 – mantenimiento correctivo, correspondiente a una condición regular y un PCI promedio de 46,75; y A4 – mantenimiento periódico/rehabilitación, vinculada a una condición mala y un PCI promedio de 30,33 (Tabla 2). No se identificaron unidades de medición con valores de PCI superiores a 85, correspondientes a una condición excelente del pavimento. En consecuencia, A1 – mantenimiento rutinario no se consideró como alternativa de intervención para la vía evaluada.

Tabla 2. Resultados de la evaluación del PCI y el tipo de intervención requerida

Alternativa	Valores de PCI de las unidades evaluadas	Rango de PCI	PCI promedio	Condición del pavimento	Tipo de intervención
A2	59; 67; 64; 62	70 > PCI ≥ 55	63,0	Bueno	Mantenimiento preventivo
A3	40; 49; 50; 48	55 > PCI ≥ 40	46,75	Regular	Mantenimiento correctivo
A4	36; 26; 29	40 > PCI ≥ 25	30,33	Malo	Mantenimiento periódico/rehabilitación

a) Durabilidad

La durabilidad se puede establecer relacionándola con la vida útil adicional esperada que normalmente aporta cada tipo de intervención sobre un pavimento. Un criterio técnico típico en gestión vial sería la que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Índice de durabilidad para cada tipo de intervención

Código	Tipo de intervención	Vida útil estimada que aporta	Índice de durabilidad (1–10)
A1	Mantenimiento rutinario	0,5 – 2 años	2
A2	Mantenimiento preventivo	3 – 5 años	5
A3	Mantenimiento correctivo	5 – 8 años	7
A4	Mantenimiento periódico / rehabilitación	10 – 15 años	10

a) Costo

Como referencia para la estimación del criterio económico, se consideraron valores orientativos obtenidos a partir de un modelo de Análisis de Precios Unitarios (APU) para actividades de mantenimiento de pavimentos flexibles en Ecuador [12]. Los costos estimados fueron de aproximadamente USD 0,70/m para el sellado de fisuras, USD 3,00/m^2 para el riego de liga ligero, USD 10,00/m^2 para el bacheo superficial, USD 25,00/m^2 para el bacheo profundo, USD 14,00/m^2 para el recape ligero y USD 6,00/m^2 para el fresado superficial. Estos valores se utilizaron como referencia para establecer los costos relativos asociados a las diferentes alternativas de intervención consideradas en el proceso de toma de decisiones.

Considerando los costos unitarios estimados se han establecido los costos por metro cuadrado que pudiera requerir cada alternativa de intervención, mediante los criterios de los expertos en la actividad de mantenimiento, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Valores orientativos según Modelo de APU para mantenimiento de pavimentos flexibles, Ecuador

Alternativas		Costo/ m^2
A1	Mantenimiento rutinario	$4,30
A2	Mantenimiento preventivo	$9,00
A3	Mantenimiento correctivo	$10,00
A4	Mantenimiento periódico/rehabilitación	$14,00

3.3. PONDERACIÓN DE CRITERIOS

Para la ponderación de los criterios, los pesos pueden establecerse en función de la prioridad asignada a cada uno de ellos, de acuerdo con el propósito de la intervención. Así, cuando existe una limitación presupuestaria, se asigna mayor importancia al criterio costo, con un peso del 40 %, seguido del deterioro (35 %) y la durabilidad (25 %). Por otra parte, cuando el objetivo es maximizar la vida útil de la intervención, la mayor ponderación corresponde a la durabilidad (45 %), mientras que el deterioro y el costo reciben pesos del 35 % y 20 %, respectivamente. Como alternativa intermedia, se plantea un enfoque balanceado, en el cual se asignan pesos de 25 % al costo, 40 % al deterioro y 35 % a la durabilidad, buscando un equilibrio entre las restricciones económicas, la condición del pavimento y la permanencia de la intervención. De acuerdo a los criterios de los expertos en la materia se ha considerado la propuesta que se muestra en la tabla 5, donde se prioriza la magnitud de los deterioros.

Tabla 5. Pesos adoptados para los criterios de intervención

Criterio	Peso (%)	Justificación
Índice de magnitud de deterioros (PCI)	40%	Refleja la necesidad real de intervención y el nivel de afectación funcional/estructural del pavimento.
Durabilidad de la intervención	35%	Garantiza sostenibilidad y mayor vida útil de la solución aplicada.
Costo de la intervención	25%	Importante para factibilidad económica, pero no debe dominar sobre el desempeño técnico.

3.4. APLICACIÓN DEL MÉTODO SAW PARA LA TOMA DE DECISIONES

a) Matriz de decisión

Como se observa en la tabla 6, los valores del Índice de Condición del Pavimento (PCI) permiten definir el tipo de intervención más apropiado para cada unidad evaluada.

Tabla 6. Matriz de decisión

Alternativa	PCI	Durabilidad	Costo
A2. Mantenimiento preventivo	63,0	5	9,00
A3. Mantenimiento correctivo	46,8	7	10,00
A4. Mantenimiento periódico/rehabilitación	30,3	10	14,00

No obstante, ninguna unidad presentó valores de PCI superiores a 85, umbral que corresponde a una condición excelente del pavimento. En consecuencia, se descartó la alternativa A1 (mantenimiento rutinario) dentro de las opciones de intervención. Con base en los resultados obtenidos, las acciones de conservación se agruparon en tres categorías de intervención: A2 – Mantenimiento preventivo, A3 – Mantenimiento correctivo y A4 – Mantenimiento periódico/rehabilitación. Estas categorías registraron valores promedio de PCI de 63,00; 36,75 y 30,33, respectivamente, lo que evidencia distintos niveles de deterioro y, por tanto, la necesidad de aplicar estrategias de intervención acordes con la condición estructural y funcional de cada tramo.

b) Determinación de los pesos.

Cada criterio recibe un peso según su importancia relativa, considerando un escenario de presupuesto limitado, de manera que la suma de los pesos asignados sea igual a uno. En este sentido, se asignó un peso de 0,25 al costo, 0,40 al índice PCI y 0,35 a la durabilidad. Estos valores reflejan la importancia relativa de cada criterio dentro del proceso de toma de decisiones para la selección de la estrategia de conservación.

c) Normalización de la matriz. Cálculo de la matriz ponderada

La normalización permite convertir los datos a una escala comparable. Existen dos tipos de criterios:

- Criterios de beneficio: aquellos donde valores mayores son mejores y en los que la normalización se realiza mediante la expresión:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{max(x_{ij})} \quad (1)$$

- Criterios de costo: aquellos donde valores menores son mejores y la normalización se realiza mediante la expresión:

$$r_{ij} = \frac{min\,(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (2)$$

donde: r_{ij}= valor normalizado y x_{ij} = valor original

La matriz normalizada obtenida se presenta en la tabla 7. El estado del pavimento, representado por el índice PCI, y la durabilidad fueron considerados criterios de beneficio y, por tanto, se normalizaron mediante la Ecuación (1). Por su parte, el costo, considerado un criterio de costo, se normalizó mediante la Ecuación (2). Asimismo, la tabla presenta los valores ponderados de cada criterio, obtenidos mediante la multiplicación de los valores normalizados por los pesos correspondientes.

$$v_{ij} = w_j \,.\, r_{ij} \quad (3)$$

Tabla 7. Valores normalizados de cada criterio y matriz ponderada

Alternativa	Valores normalizados			Matriz ponderada		
	Costo	**PCI**	**Durabilidad**	**Costo*(0,25)**	**PCI*(0,40)**	**Durab*(0,35)**
A2	1,000	1,000	0,500	0,250	0,400	0,175
A3	0,900	0,742	0,700	0,225	0,297	0,245
A4	0,643	0,481	1,000	0,161	0,193	0,350

a) Obtención del puntaje global

El valor total de cada alternativa se obtiene sumando los valores ponderados:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j . r_{ij} \quad (4)$$

Donde:

- (*Si*) = puntaje final de la alternativa (i)

Cálculo ponderado

A2: (**0,25**) (1,000) +(**0,40**) (1,000) +(**0,35**) (0,500) = 0,825

A3: (**0,25**) (0,900) +(**0,40**) (0,742) +(**0,35**) (0,700) = 0,767

A4: (**0,25**) (0,643) +(**0,40**) (0,481) +(**0,35**) (1,000) = 0,703

La alternativa A2, que corresponde con un mantenimiento preventivo, presenta el mayor valor de (Si) por lo que resulta la más conveniente, priorizando el resultado de la evaluación.

4 CONCLUSIONES

La metodología PCI permitió evaluar el estado funcional del pavimento flexible de la calle Eloy Alfaro, identificando los tipos de deterioro, su severidad y su extensión en cada unidad de muestreo. El método SAW demostró ser una herramienta eficaz para comparar alternativas de intervención en infraestructura vial, debido a su simplicidad de aplicación y capacidad para integrar múltiples criterios de decisión.

La integración del PCI con criterios adicionales de durabilidad y costo mediante el método multicriterio SAW permitió desarrollar un proceso de toma de decisiones más integral y técnicamente sustentado.

Los resultados de la evaluación evidenciaron que la vía presenta condiciones entre buenas, regulares y malas, con valores promedio de PCI de 63,00; 46,75 y 30,33, respectivamente, lo que indica la necesidad de intervenciones de conservación y rehabilitación.

No se identificaron unidades de evaluación con valores de PCI superiores a 85, por lo que se descartó la aplicación de mantenimiento rutinario (A1) como alternativa.

La alternativa A2 correspondiente al mantenimiento preventivo obtuvo la mayor puntuación global (0,825), siendo considerada la opción más conveniente para la vía estudiada, al ofrecer el mejor balance entre costo, durabilidad y condición del pavimento.

La ponderación adoptada priorizó la magnitud de los deterioros del pavimento sobre los aspectos económicos, permitiendo que la selección de la alternativa de intervención responda principalmente a las necesidades reales de conservación vial.

La investigación demuestra que la aplicación de metodologías multicriterio en la gestión de pavimentos contribuye a optimizar la planificación de intervenciones y a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos destinados al mantenimiento vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. H. Aljasmi et al.,«A Bayesian decision support system for optimizing pavement management programs» Heliyon, vol. 237, 2024. doi: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25625

2. T. García-Segura, L. Montalbán-Domingo, D. Llopis-Castelló, A. Sanz-Benlloch, E. Pellicer, «Integration of deep learning techniques and sustainability-based concepts into an urban pavement management system», Expert Systems with Applications, vol 231, 120851. doi: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120851

3. ASTM International, ASTM D6433-20: Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. West Conshohocken, PA, 2020. doi: https://doi.org/10.1520/D6433-20

4. P. Lemonakis, P. Kopelias y P. Karlaftis, «Introduction of a new index to assess pavement functional condition», Environment, Development and Sustainability, vol. 27, pp. 3265-3282, 2025. doi: https://doi.org/10.1007/s10668-023-04012-3

5. L. Torres-Torres y S. Muñoz-Pérez, «Assessment of a flexible pavement applying the Pavement Condition Index (PCI) method», ITECKNE, vol. 20, n° 1, pp. 45-57, 2023. doi: https://doi.org/10.15332/iteckne.v20i1.2919

6. V. M. García-Chávez y M. I. Zambrano-Meza, «Evaluación de deterioros de pavimentos urbanos mediante el método PCI», Revista Científica INGENIAR, vol. 8, n° 15, 2025. doi: https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0248

7. J. C. Ruiz-Acero y D. A. Gutiérrez-Hortua, «Evaluación del índice de condición del pavimento (PCI) mediante sistemas de información geográfica», Revista EIA, vol. 22, n° 44, 2025. doi: https://doi.org/10.24050/reia.v22i44.1869

8. A. Al Amin and R. B. Machemehl, «Pavement Condition Management Coupled with Skid Management at the Network Level: A Multi-Choice Goal Programming Approach», Transportation Research Record, vol. 2678, no. 10, pp. 732-746, 2024. doi: https://doi.org/10.1177/03611981241234925

9. M. Khodadadi et al., «A Novel Technique for Multi-Objective Sustainable Decisions for Pavement Maintenance and Rehabilitation», Case Studies in Construction Materials, vol. 20, 2024. doi: https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03037

10. M. Medina, «Metodología para el análisis y selección sostenible de alternativas en infraestructuras mediante la aplicación de métodos de decisión multicriterio con criterios en conflicto y en condiciones de incertidumbre», [Tesis doctoral, Universidad de Granada], 2022. Available: http://hdl.handle.net/10481/72876

11. J. Mayor, S. Botero y J. González-Ruiz, «Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia», Obras y proyectos, n° 20, pp. 56-74, 2016. doi: https://doi.org/10.4067/S0718-28132016000200005

12. Insucons. Materiales y Presupuestos de Construcción en Ecuador. https://www.insucons.com/ec/analisis-precio-unitario