

8

Desarrollo De Un Sistema De Gestión Para La Conservación Del Pavimento En La Red Vial Urbana Del Cantón Chone

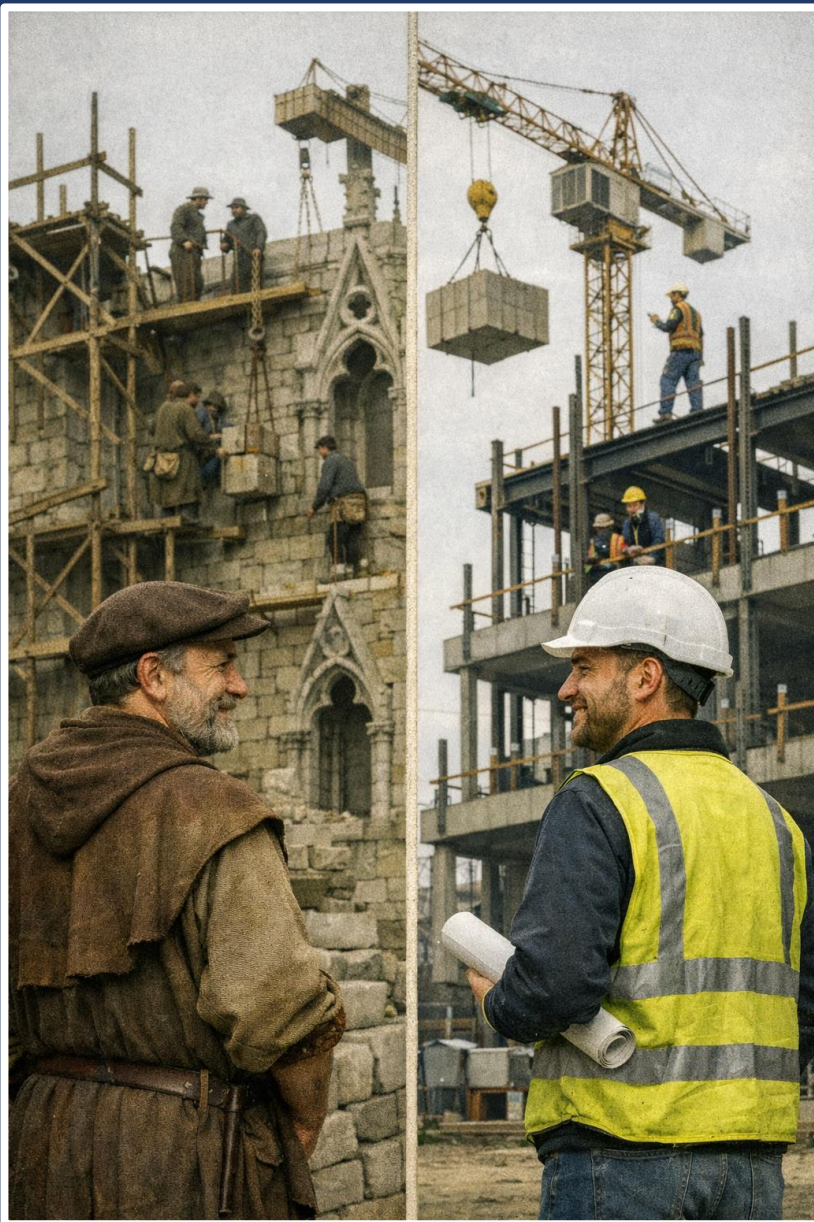
*Development Of A Management System For
Pavement Conservation In The Urban Road Network
Of The Chone Canton*

Autores

Ana Gabriela Mieles Pico
Carrera Ing. Civil , Universidad Técnica
de Manabí, Portoviejo, Ecuador
amieles3529@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-7513-0934>

Silvia Ariana Burgos Macias
Carrera Civil , Universidad Técnica de
Manabí, Portoviejo, Ecuador
sburgos4905@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-7761-9626>

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



Nota Editorial: Recibido: 4 de mayo 2026 Aceptado: 19 de julio 2026

8

Desarrollo De Un Sistema De Gestión Para La Conservación Del Pavimento En La Red Vial Urbana Del Cantón Chone

Resumen

El artículo analiza la implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos (PMS) como herramienta fundamental para optimizar la conservación vial, garantizando niveles adecuados de servicio al menor costo durante el ciclo de vida del pavimento. Este sistema integra procesos de planificación, evaluación, priorización y retroalimentación continua, apoyados en una base de datos que consolida información del inventario vial, condiciones actuales y registros históricos de intervenciones. El estudio se desarrolla en la ciudadela San Rafael del cantón Chone, como caso de estudio, caracterizada por una red vial urbana compuesta por pavimentos flexibles, con un total de 87 tramos. La evaluación del estado del pavimento se realizó mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI), conforme a la norma ASTM D6433. Para ello, se estableció una unidad estándar de 100 m y se seleccionó una muestra representativa de 30 tramos mediante criterios estadísticos. Los resultados evidencian que el 62 % de los tramos se encuentra en estado excelente, el 35 % en estado muy bueno y solo el 3 % presenta condición buena, lo que refleja un desempeño general favorable de la red vial. El análisis del tránsito indica que el 90 % corresponde a vehículos livianos, por lo que el deterioro no se atribuye principalmente a cargas vehiculares, sino a factores constructivos, ambientales y de mantenimiento. El costo estimado de intervención asciende a \$7.268. Finalmente, se incorporan modelos de deterioro del PCI que permiten predecir su evolución y optimizar la planificación, destacando la necesidad de calibrarlos con datos locales.

Palabras Clave

Sistema de gestión de pavimentos (PMS); índice de condición del pavimento (PCI); modelos de deterioro

8

Development Of A Management System For Pavement Conservation In The Urban Road Network Of The Chone Canton

Abstract

This article analyzes the implementation of a Pavement Management System (PMS) as a fundamental tool for optimizing road maintenance, ensuring adequate service levels at the lowest cost throughout the pavement's life cycle. This system integrates planning, evaluation, prioritization, and continuous feedback processes, supported by a database that consolidates information from the road inventory, current conditions, and historical records of interventions. The study focuses on the San Rafael neighborhood in the Chone canton, which serves as a case study. This area is characterized by an urban road network composed of flexible pavements, with a total of 87 sections. The pavement condition was assessed using the Pavement Condition Index (PCI), in accordance with ASTM D6433. A standard unit of 100 m was established, and a representative sample of 30 sections was selected using statistical criteria. The results show that 62% of the road sections are in excellent condition, 35% in very good condition, and only 3% are in good condition, reflecting a generally favorable performance of the road network. Traffic analysis indicates that 90% of traffic consists of light vehicles, so the deterioration is not primarily attributed to vehicle loads, but rather to construction, environmental, and maintenance factors. The estimated intervention cost amounts to \$7,268. Finally, road deterioration models are incorporated to predict its evolution and optimize planning, highlighting the need to calibrate them with local data.

Keywords

Pavement Management System (PMS); road maintenance; Pavement Condition Index (PCI); deterioration models

1. INTRODUCCIÓN

Las carreteras constituyen un elemento fundamental para el desarrollo de cualquier país, ya que influyen directamente en la seguridad, la salud, el empleo y las oportunidades económicas de las ciudades. Por ello, el mantenimiento vial resulta esencial para garantizar la transitabilidad de los corredores viales y prevenir accidentes, contratiempos y situaciones que afecten la movilidad y la seguridad de los usuarios [1].

El deterioro prematuro de los pavimentos puede atribuirse a diversos factores, entre ellos las cargas repetitivas del tránsito, las fallas por fatiga, la falta de mantenimiento adecuado, la presencia de agua sobre la plataforma vial, los sistemas de drenaje pluvial deficientes, las intervenciones en el pavimento para la instalación de servicios básicos y las descargas pluviales domiciliarias inadecuadamente canalizadas. Estos factores aceleran el deterioro estructural del pavimento y pueden conducir a fallas generalizadas en la estructura vial [12].

La gestión de activos viales, conocida como Pavement Management System (PMS), integra procedimientos técnicos, administrativos y financieros destinados a preservar el desempeño, la seguridad y el valor de la infraestructura vial durante su ciclo de vida. En Ecuador, la infraestructura vial constituye un componente estratégico para el desarrollo socioeconómico, al facilitar el comercio, el turismo y la movilidad urbana. En este contexto, resulta indispensable promover una gestión eficiente que permita conservar los pavimentos en condiciones adecuadas de servicio para los usuarios, optimizando al mismo tiempo los costos de mantenimiento [8,10].

Estos sistemas integran actividades de inventario, evaluación del estado de los pavimentos y planificación en el uso de los recursos disponibles. Sin embargo, en contextos con limitaciones presupuestarias y tecnológicas, su implementación enfrenta desafíos relacionados con la escasez de equipos especializados y la limitada capacidad de monitoreo y seguimiento de la infraestructura vial.

En estos escenarios, la inspección visual se convierte en un estado, modelos de deterioro y criterios de priorización para optimizar la planificación del mantenimiento y herramientas clave por su bajo costo y aplicabilidad. Aunque menos precisa que los métodos instrumentados, su uso bajo criterios estandarizados permite obtener información confiable para la toma de decisiones. En consecuencia, los sistemas de gestión deben adaptarse mediante enfoques prácticos y flexibles, combinando evaluaciones visuales con métodos básicos de análisis para asegurar un control adecuado del estado vial.

Diversas experiencias demuestran que el éxito de estos sistemas no depende únicamente de la tecnología, sino también del fortalecimiento institucional y de las capacidades técnicas locales. La ausencia de una gestión sistemática puede provocar deterioro acelerado y mayores costos de mantenimiento, lo que refuerza la necesidad de implementar herramientas eficientes adaptadas a cada contexto.

En este trabajo se propone un sistema de gestión de conservación de pavimentos aplicado a la red urbana del cantón Chone, específicamente en la ciudadela San Rafael. Para su desarrollo se emplea el Índice de Condición del Pavimento (PCI), que evalúa el estado del pavimento en una escala de 0 a 100 en función de los tipos y severidad de deterioro, permitiendo una clasificación objetiva y la definición de estrategias de intervención.

2. SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) define un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) como “una serie de herramientas o métodos que asisten a quienes toman decisiones a encontrar estrategias óptimas para proporcionar, evaluar y mantener los pavimentos en condiciones adecuadas de serviciabilidad durante un período determinado” [6].

La gestión de la conservación de pavimentos constituye un proceso fundamental para garantizar la funcionalidad y prolongar la vida útil de la infraestructura vial. Su principal objetivo es establecer estrategias óptimas que permitan mantener niveles adecuados de servicio al menor costo posible durante todo el ciclo de vida del pavimento, integrando actividades que abarcan desde la planificación y el diseño hasta la evaluación del desempeño y las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación.

Un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) puede entenderse como un conjunto integrado de actividades relacionadas con la planificación, construcción, mantenimiento, evaluación e investigación [3]. Este sistema se configura como una herramienta integral de apoyo para la toma de decisiones, estructurada mediante componentes interrelacionados que permiten recopilar, procesar y analizar información de manera sistemática.

El núcleo del sistema corresponde a la base de datos de pavimentos, la cual almacena información detallada del inventario vial, el estado actual de la red y los registros históricos de intervenciones realizadas. Esta base de datos constituye el soporte fundamental para el desarrollo de análisis técnicos, la priorización de intervenciones y la optimización de los recursos destinados a la conservación vial.

A partir de esta información, el sistema permite evaluar el estado y desempeño de los pavimentos mediante el uso de indicadores técnicos y modelos de deterioro, lo que facilita predecir su evolución en el tiempo e identificar oportunamente las necesidades de intervención. Con base en estos diagnósticos, se establecen estrategias de mantenimiento y rehabilitación que consideran distintas alternativas técnicas y sus costos asociados, incluyendo análisis del costo del ciclo de vida para optimizar la inversión.

Una de las estrategias más efectivas para que los gobiernos locales y estatales optimicen los recursos destinados a la infraestructura vial consiste en la implementación de programas adecuados de mantenimiento. Esto implica desarrollar una gestión vial alineada con las necesidades y condiciones específicas de cada territorio, respaldada por metodologías prácticas y adaptables que evolucionen con el tiempo. Asimismo, se requiere un estricto control de calidad de los materiales y el uso de tecnologías modernas que permitan monitorear continuamente las condiciones de las carreteras [5].

Debido a que los recursos disponibles suelen ser limitados, los Sistemas de Gestión de Pavimentos incorporan procesos de priorización y programación de proyectos, en los cuales se emplean modelos de optimización y análisis multicriterio para asignar los recursos de manera eficiente. Estos procesos consideran aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, permitiendo definir intervenciones como mantenimiento correctivo, rehabilitación o repavimentación, de acuerdo con la gravedad y el tipo de falla identificada [9].

Adicionalmente, el sistema se complementa con mecanismos de retroalimentación y actualización continua, los cuales permiten evaluar el desempeño real de las intervenciones ejecutadas, ajustar los modelos de análisis y mejorar progresivamente tanto la calidad de la información como la toma de decisiones. De esta manera, los sistemas de gestión pueden emplearse con mayor confiabilidad para realizar evaluaciones rápidas y apoyar la toma de decisiones a nivel global [9].

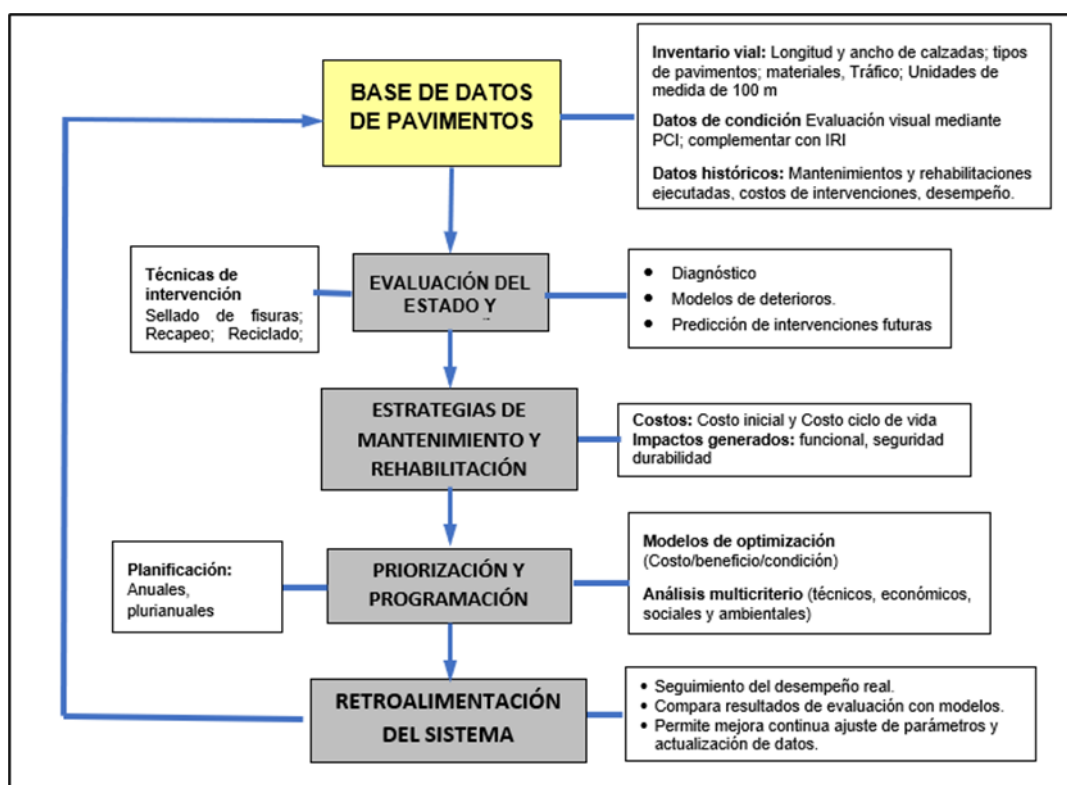


Fig. 1. Esquema del Modelo de gestión propuesto para la red vial urbana del Cantón

En conjunto, estos componentes permiten que el Sistema de Gestión de Pavimentos funcione como una herramienta dinámica y eficiente para la planificación y administración de la conservación vial, contribuyendo a una gestión más sostenible, técnica y racional de la infraestructura. En la Figura 1 se presenta un esquema del modelo de gestión propuesto para la red vial urbana del cantón Chone.

- **Inventario vial**

A partir de un plano de la ciudadela, se identifican y delimitan todas las cuadras que conforman la red vial. Para efectos de análisis, se establece una unidad estándar de longitud de 100 m. Dado que las cuadras no presentan dimensiones uniformes, la longitud de cada tramo se divide entre esta unidad, permitiendo que una cuadra pueda estar compuesta por una o varias unidades de medida.

Se debe realizar un levantamiento detallado de toda la red vial, determinando la longitud y el ancho de calzada de cada tramo. El inventario debe incluir las variaciones en la sección transversal, el tipo de pavimento (flexible o rígido) y los materiales empleados en su construcción.

Asimismo, es necesario incorporar información sobre los volúmenes de tránsito, diferenciando los porcentajes de vehículos livianos y pesados en cada vía, lo cual constituye uno de los factores a tener en cuenta para la priorización de intervenciones. De igual manera, se debe recopilar información referente a la composición y características de las capas estructurales del pavimento.

- **Caracterización de la ciudadela San Rafael del Cantón Chone**

La ciudadela San Rafael se encuentra ubicada en el cantón Chone, perteneciente a la provincia de Manabí, a pocas cuadras de la terminal terrestre del cantón. Este sector se caracteriza por su desarrollo urbano planificado, conformado por aproximadamente 30 manzanas dotadas de infraestructura básica, como redes de agua potable, alcantarillado y energía eléctrica. La población está compuesta principalmente por familias que habitan en un entorno residencial que refleja un crecimiento urbano sostenido, experimentado la zona en los últimos años.

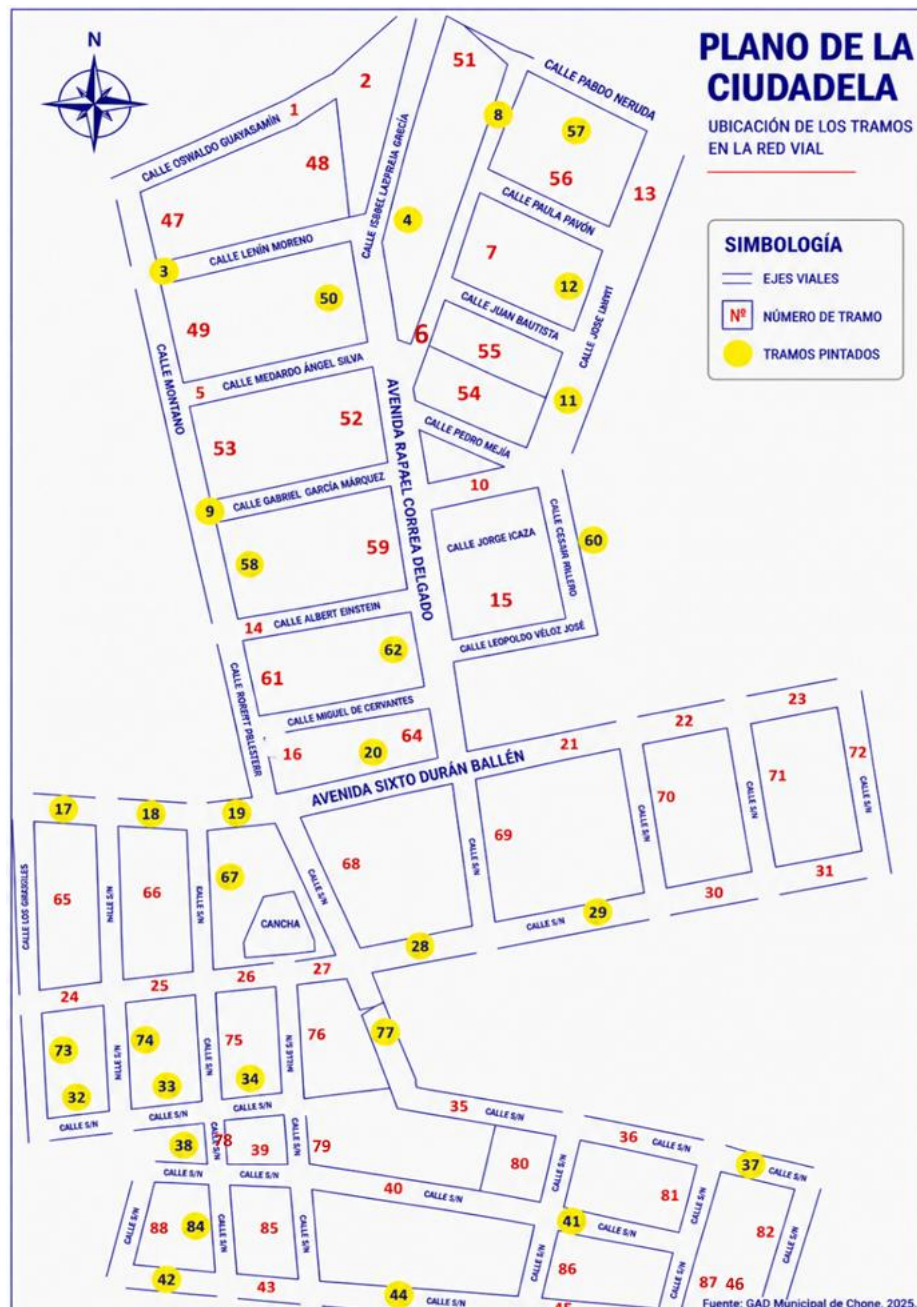
En cuanto a la infraestructura vial, la red vial cuenta con pavimento flexible y vías con un ancho promedio de entre 5 y 6 metros, cuyas longitudes varían entre 50 y 100 metros. Para efecto del presente estudio, se considera una población total de 87 tramos, de los cuales se ha seleccionado una muestra representativa para la evaluación del estado actual del pavimento. En la figura 1 se muestra un plano de la ciudadela, con los tramos que componen la red vial.

- **Datos de condición**

La evaluación periódica, preferiblemente anual, del estado de la red vial es fundamental para garantizar la actualización y el adecuado funcionamiento del sistema. Para ello, se pueden emplear diferentes índices que permiten cuantificar la condición de los pavimentos y sirven de base para la definición de estrategias de conservación.

Para valorar el estado actual del pavimento se propone como indicador el PCI. Para la aplicación de este procedimiento de evaluación se requiere de la inspección visual de cada una de las vías que compone la red, por lo que resulta engorroso. Por esta razón se propone la evaluación de una muestra representativa del estado de la red y en base a ello inferir estadísticamente el estado de deterioro de la población. Se requiere primero establecer una unidad de medida, que en zonas urbanas suele utilizarse una cuadra, sin embargo, las cuadras pueden tener longitudes diferentes, por lo cual se ha establecido una longitud de 100 metros, de manera que en una misma cuadra pueden presentarse más de una unidad de medida.

El banco de datos debe almacenar esta información de manera sistemática, incluyendo los registros de las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación ejecutadas en cada periodo, así como los costos asociados a dichas actividades. Esto permite realizar análisis de desempeño y optimizar la toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida del pavimento.



Fuente: GAD Municipal de Chone, elaborado por el autor, 2025.

- **Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

El Índice de Condición del Pavimento (Pavement Condition Index, PCI) es un indicador numérico utilizado para evaluar la condición superficial de los pavimentos. Actualmente, constituye una de las metodologías más completas para la evaluación y calificación objetiva tanto de pavimentos flexibles como rígidos dentro de los sistemas de gestión vial disponibles. Su aplicación es relativamente sencilla y no requiere equipos especializados adicionales a los contemplados en el propio sistema de evaluación [2,13].

El propósito del PCI es identificar y caracterizar los diferentes tipos de fallas presentes en el pavimento, así como determinar su grado de severidad y extensión, con el fin de definir estrategias adecuadas de conservación para el tramo o sector analizado. Esta metodología permite clasificar y cuantificar los daños existentes en la superficie del pavimento, proporcionando una medida objetiva y clara de su condición general [11].

El monitoreo continuo del PCI permite establecer la tasa de deterioro del pavimento, facilitando la identificación temprana de la necesidad de intervenciones de rehabilitación mayor. Además, este índice proporciona información relevante sobre el comportamiento del pavimento, lo que contribuye a validar o mejorar los criterios de diseño y los procedimientos de conservación implementados [2].

El PCI se expresa en una escala de 0 a 100, donde un valor de 0 representa un pavimento colapsado y 100 un pavimento en condición excelente. Una vez calculado, el valor del PCI permite determinar con fundamento técnico las necesidades de mantenimiento y conservación. Asimismo, el índice proporciona una referencia útil para identificar las posibles causas del deterioro, ya sea por efectos ambientales, sobrecarga vehicular o envejecimiento natural de los materiales. Además de reflejar la integridad estructural, el PCI describe la condición funcional de la superficie de rodadura [8].

En la presente investigación se aplicó un enfoque exploratorio basado en evaluaciones visuales directas de la capa de rodadura, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D6433-20 [4]. La inspección se llevó a cabo en la ciudadela, determinándose previamente el número de tramos de muestreo requeridos. Este cálculo se realizó mediante la ecuación de muestreo estadístico (Ecuación 1), considerando una población total de 87 tramos y un error admisible del 5 %.

$$n = \frac{N.s^2}{\left(\frac{e^2}{4}(N-1) + s^2\right)} \quad (1)$$

donde:

- n = número mínimo de unidades de muestreo,
- N = número total de unidades de la sección,
- e = error permitido, y
- s = desviación estándar del PCI.

El cálculo arrojó un total de 30 tramos de evaluación.

Durante la inspección, cada unidad de muestreo fue analizada en función del tipo de falla, su nivel de severidad y su extensión, conforme a los criterios establecidos por la norma ASTM D6433 [4].

Con los datos obtenidos se calcularon los porcentajes de densidad de falla (Ecuación 2), clasificando la severidad y cuantificando su influencia en el deterioro global del tramo:

$$Densidad (\%) = \frac{Total (m^2)}{Área a estudiar (m^2)} \times 100 \quad (2)$$

Posteriormente, se estimaron los valores de reducción (VR), que representan la pérdida de condición del pavimento causada por las fallas identificadas. Este parámetro representa la disminución de la condición del pavimento atribuible a cada falla identificada y se obtiene mediante el uso de las curvas de deducción establecidas en la norma ASTM D6433 [4].

Para cada tipo de deterioro se considera el nivel de severidad y el porcentaje de densidad. Con estos valores se obtiene el valor de reducción (VR) asociado a cada falla, utilizando las curvas de deducción correspondiente. Dicho valor cuantifica el efecto individual de los deterioros sobre la condición general del pavimento.

Cuando en una misma unidad de muestreo se identifican múltiples deterioros, los valores de reducción obtenidos son combinados mediante el procedimiento de corrección establecido por la norma ASTM D6433, calculándose el Valor de Reducción Corregido (VCR), el cual es finalmente utilizado para determinar el índice de condición del Pavimento (PCI).

Dependiendo de la magnitud y frecuencia de los VR, se determina el valor de reducción corregido (VRC) conforme a los procedimientos definidos por la norma, los cuales incluyen el cálculo de parámetros m y q . Cuando una unidad de muestreo presenta más de un tipo de deterioro, los valores de reducción (VR) obtenidos no se suman directamente, ya que ello produciría una sobreestimación del daño total. Por esta razón, el procedimiento establece una corrección basada en los parámetros m y q para determinar el Valor Reducido (VCR).

El parámetro q corresponde al número de Valores de Reducción individuales mayores a 2 que se consideran en el proceso de corrección. Este valor permite identificar la cantidad de deterioros significativos presentes en la unidad de muestreo. A su vez, el parámetro m representa el número máximo admisible de valores de reducción que pueden intervenir en el cálculo de VRC. Su determinación se realiza en función del mayor valor de reducción individual obtenido en la unidad evaluada, según la Ecuación 3:

$$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - HDV) < 10 \quad (3)$$

Finalmente, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) se obtiene mediante la siguiente relación:

$$PCI = 100 - VRC_{m\acute{a}x} \quad (4)$$

Los deterioros en los pavimentos son ocasionados principalmente por la acción repetitiva de las cargas vehiculares y por la influencia de las condiciones climáticas. De acuerdo con la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI), estas fallas se clasifican según su tipo, nivel de severidad y magnitud o extensión del daño presente. A partir de esta evaluación, se establece un índice de integridad estructural expresado mediante una escala de calificación que varía de 0 a 100, donde 0 representa una condición muy deficiente y 100 corresponde a una condición excelente del pavimento, tal como se presenta en la Tabla 1 [7].

Tabla 1. Escala de clasificación del PCI (ASTM D6433).

RANGO	CLASIFICACION
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy malo
10-0	Fallado

2.2. EVALUACIÓN DEL ESTADO Y DESEMPEÑO

• Diagnóstico mediante el método del PCI

El trabajo de campo se inició con una etapa de planificación de la evaluación, en la cual se delimitó y representó en el plano de la zona de estudio cada uno de los tramos a analizar. Se identificaron y enumeraron los 87 tramos o calles que conforman la red vial de la ciudadela, asignando a cada uno un código en el plano correspondiente para facilitar su localización y registro. Posteriormente se calculó mediante la Ecuación 1 el número de tramos para evaluar, que resultó 30 tramos que constituirían la muestra de análisis. El propósito de esta selección fue evaluar una fracción representativa del total, de manera que los resultados obtenidos pudieran extrapolarse estadísticamente a la población completa de los 87 tramos.

Antes de aplicar el procedimiento formal de evaluación, se efectuó una inspección preliminar de los tramos seleccionados, con el fin de verificar la correspondencia entre la información del plano y la ubicación real de cada tramo en campo. Esta etapa permitió asegurar la validez y coherencia espacial del levantamiento.

Durante la evaluación visual, se aplicó el modelo establecido por la norma ASTM D6433 [4], identificando en cada tramo los tipos de deterioros presentes, su extensión y nivel de severidad. Toda la información fue registrada sistemáticamente para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), garantizando la trazabilidad y precisión de los datos obtenidos. En la Figura 3 se muestran imágenes del levantamiento de los deterioros en tramos evaluados.



Fig. 3. Recorrido para medición de fallas en los tramos evaluados.

Para la caracterización del tráfico vehicular en la red vial de la Ciudadela San Rafael, se realizó un aforo de tránsito con el propósito de determinar los volúmenes y tipos de vehículos que circulan por la red. Este análisis permite evaluar si la intensidad y composición del tráfico constituyen factores que inciden en el deterioro del pavimento.

A partir del análisis visual y los resultados del aforo, se observó que la circulación corresponde principalmente un 90% a vehículos livianos, como automóviles y motocicletas, con una presencia de tan solo el 10% de vehículos pesados. En consecuencia, se infiere que el tráfico vehicular no representa un factor determinante en el deterioro de la red vial de la ciudadela, lo que sugiere que las patologías identificadas podrían estar asociadas a factores constructivos, ambientales o de mantenimiento más que al efecto de las cargas de tránsito.

• Análisis del estado del pavimento

Los tramos evaluados mediante el método PCI (Índice de Condición del Pavimento) permitieron caracterizar el estado superficial de la red vial objeto de estudio. Los valores de PCI obtenidos en la muestra de 30 tramos se presentan en la Figura 4. Una proporción significativa de ellos mostró un estado comprendido entre “Excelente” y “Muy bueno”, con superficies pavimentadas que presentan escasas fallas, lo que evidencia un adecuado mantenimiento y una reducida necesidad de intervención.

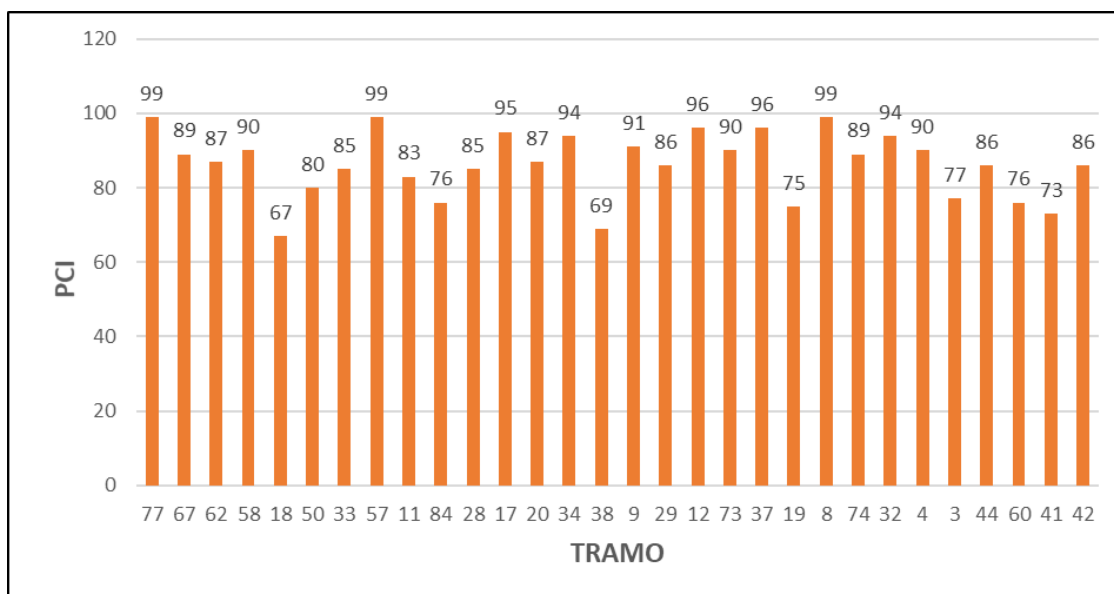


Fig. 4. Resultados PCI en la muestra evaluada

En la Figura 5 se representan los valores de PCI según su frecuencia dentro de la red. Se observa que solo un 3 % de los tramos presenta valores inferiores a 70 pero superiores a 55, clasificándose en estado Bueno. Por su parte, el 35 % de los tramos se ubica en la categoría Muy bueno (PCI entre 70 y 85), mientras que el 62 % restante alcanza la clasificación Excelente, con valores de PCI superiores a 85.



Fig. 5. Distribución de frecuencias de valores de PCI.

En la Figura 6 se ilustran los valores de PCI agrupados según las categorías de condición del pavimento, desde Excelente (85–100) hasta Fallado (menor a 10).

A partir de la evaluación visual realizada en la red, se definieron las intervenciones necesarias de conservación orientadas a preservar la funcionalidad estructural y prolongar la vida útil del pavimento. Las soluciones fueron clasificadas y ordenadas según el tipo y la severidad de las fallas identificadas.

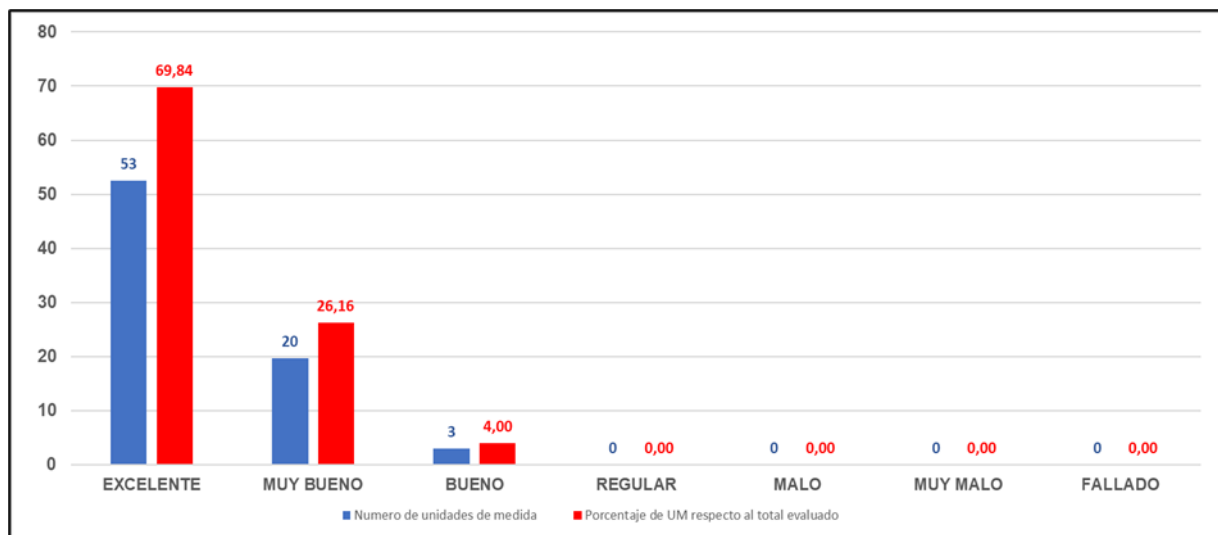


Fig. 6. Porcentajes de valores de PCI esperados en la red según la clasificación del estado del pavimento.

Entre las principales acciones propuestas se encuentran las labores de parcheo parcial profundo en 17 tramos y el reciclado en frío con parcheo profundo o parcial en 5 tramos, dirigidas a corregir deterioros estructurales de mayor severidad. En sectores con fallas localizadas se recomienda la sustitución del parche en 3 tramos, mientras que, en zonas con defectos menores se plantea el sellado de grietas, en 3 tramos de manera exclusiva y en 4 combinado con parcheo parcial o profunda; con la finalidad de evitar la infiltración de agua y detener el avance del deterioro. Asimismo, se sugiere la renivelación de las bermas en 7 tramos para restablecer el adecuado drenaje superficial, y la aplicación de arena o agregados con cilindrado en 3 tramos afectados por pérdida de textura o erosión. Finalmente, en 12 tramos se proponen tratamientos combinados, que pueden incluir sello superficial, fresado o sustitución del parche, según el nivel de afectación detectado.

• **Análisis de costos de inversión**

Considerando el nivel actual de deterioro de los pavimentos en la ciudadela, es necesario cuantificar la inversión requerida para mejorar su condición hasta un nivel superior. Las soluciones de conservación a implementar dependen tanto del grado de deterioro existente como de la disponibilidad de recursos, por lo que deben ajustarse al presupuesto disponible.

Para estimar la inversión, se consideran las dimensiones de cada tramo evaluado, así como el área o longitud de los deterioros identificados. Con base en esta información, se definen las intervenciones más adecuadas en cada caso, determinando las zonas donde se aplicarán tratamientos como sellado de grietas o trabajos de parcheo, en función del nivel de deterioro de cada tramo.

A partir de las áreas de intervención y la aplicación de precios unitarios correspondientes a las diferentes soluciones, se obtuvo un costo total estimado de conservación para la red vial urbana de \$7.748. De este monto, \$7.268 corresponden a actividades de parcheo superficial y profundo, mientras que \$479 se destinan al sellado de grietas. Este valor constituye una estimación económica del mantenimiento correctivo y preventivo requerido en el sector analizado.

- **Modelos de deterioro**

Existen diversos modelos empíricos que relacionan el Índice de Condición del Pavimento (PCI) con el tiempo de servicio, ampliamente utilizados dentro de los Sistemas de Gestión de Pavimentos. Estos modelos se basan en observaciones de campo y permiten representar el proceso de deterioro del pavimento a lo largo del tiempo.

En general, la relación entre el PCI y el tiempo sigue una curva de deterioro con forma sigmoideal o exponencial decreciente. Esto refleja que el pavimento experimenta un deterioro lento en sus primeros años de servicio, seguido de una fase de degradación acelerada y, finalmente, un estado crítico donde el deterioro es muy rápido. Uno de los modelos empíricos más utilizados es de tipo exponencial, como:

$$PCI(t) = PCI_0 \cdot e^{-kt} \quad (5)$$

donde:

- $(PCI(t))$ es el índice de condición en el tiempo (t) ,
- (PCI_0) es el PCI inicial (generalmente cercano a 100),
- (k) es una constante de deterioro que depende del tránsito, clima y estructura del pavimento,
- (t) es el tiempo de servicio (años).

También se emplean modelos logísticos o sigmoides, que representan mejor el comportamiento real del deterioro:

$$PCI(t) = \frac{100}{1 + e^{a+bt}} \quad (6)$$

donde (a) y (b) son parámetros calibrados a partir de datos históricos.

En la práctica, estos modelos se ajustan mediante técnicas de regresión a partir de datos obtenidos en inspecciones periódicas, por lo que sus parámetros dependen de las condiciones locales, tales como el tipo de pavimento, el nivel de tránsito, el clima y la calidad constructiva, entre otros factores. En este sentido, resulta fundamental calibrarlos con información específica de la red vial en estudio, especialmente en contextos como el de la provincia de Manabí, Ecuador.

La aplicación de modelos empíricos que relacionan el Índice de Condición del Pavimento (PCI) con el tiempo es esencial para predecir su deterioro, planificar oportunamente las intervenciones y optimizar la gestión del mantenimiento vial. No obstante, la obtención de un modelo confiable requiere un período de observación prolongado, basado en registros históricos de valores de PCI medidos en los pavimentos que conforman la red.

Actualmente, el estado del pavimento en la ciudadela presenta un valor mínimo de PCI de 70, lo que corresponde a una condición general clasificada como buena. En este contexto, es posible restituir su estado a niveles de excelencia mediante la aplicación de las medidas de conservación propuestas. Asimismo, el uso de un modelo de deterioro debidamente calibrado constituye una herramienta esencial para evaluar el desempeño del pavimento y determinar el momento óptimo para futuras intervenciones, garantizando así el mantenimiento del nivel de servicio deseado.

3. CONCLUSIONES

La implementación de un sistema de gestión de conservación de pavimentos aplicado a redes urbanas permite garantizar la funcionalidad y prolongar la vida útil de la infraestructura vial, al facilitar la definición de estrategias óptimas que aseguren niveles adecuados de servicio con costos eficientes a lo largo del ciclo de vida del pavimento. En contextos con presupuestos limitados, su aplicación constituye una herramienta eficaz para priorizar intervenciones y mejorar las condiciones de seguridad y confort en la movilidad vehicular.

La evaluación del estado del pavimento mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI) permitió caracterizar de manera confiable la condición superficial de la red vial estudiada, evidenciando que la mayoría de los tramos se encuentran en estados entre excelente y muy bueno. Esto refleja un adecuado desempeño general de la infraestructura y una baja necesidad de intervenciones correctivas de gran magnitud en el corto plazo.

Las estrategias de conservación propuestas, basadas en el tipo y la severidad de las fallas identificadas, priorizan intervenciones localizadas como el parcheo parcial y profundo, el sellado de grietas y el reciclado en frío. Estas acciones contribuyen a preservar la funcionalidad estructural del pavimento, prevenir la progresión del deterioro y optimizar el uso de los recursos disponibles.

El análisis económico determinó que la inversión requerida para el mantenimiento de la red vial es relativamente baja, lo que confirma que las intervenciones oportunas en etapas tempranas del deterioro son más eficientes que las rehabilitaciones en estados avanzados. En este sentido, la planificación basada en el estado actual del pavimento favorece una gestión más sostenible de la infraestructura.

Por otra parte, la incorporación de modelos de deterioro del PCI constituye una herramienta esencial para la gestión vial, ya que permite predecir la evolución del pavimento, definir estrategias de mantenimiento a mediano y largo plazo y optimizar la toma de decisiones. No obstante, su aplicación efectiva requiere la calibración con datos locales y un monitoreo continuo mediante inspecciones periódicas. En este contexto, se recomienda la evaluación sistemática de la red vial con el fin de desarrollar modelos de desempeño confiables que puedan ser utilizados como herramientas de predicción dentro del sistema de gestión.

1. Acero, J. C. R., & Hortua, D. A. G. (2025). Evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) Mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG): Aplicación en el Tramo Cajicá-Tabio (K0+ 000 a K2+ 000). *Revista EIA*, ISSN 1794-1237 22(44), 4417-pp. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10314953.pdf>
2. American Standard for Testing and Materials. (s.f.). Norma PCI-ASTM-D-6443 Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos. <https://es.scribd.com/document/409330160/Manual-PCI-ASTM-D-6433-pdf>
3. Aramayo, L., Silva Junior, C. A. P., & Fontenele, H. B. (2019). Escala visual para evaluación de pavimentos urbanos. *Revista ingeniería de construcción*, 34(1), 45-54. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732019000100045&script=sci_arttext
4. ASTM, A. (2020). D6433-20; Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. <https://www.normsplash.com/Samples/ASTM/133259942/ASTM-D6433-20-en.pdf>
5. Cabezas Carrillo, V. A. (2024). *Modelo de gestión de conservación vial para pavimentos flexibles de la red rural del Cantón Guano* (Master's thesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo). <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14008>
6. Chang, C. M. (2020). *Sistemas de gestión de pavimentos: Pasado, presente y futuro*. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 19-20(1), 231-240. https://www.scipedia.com/wd/images/8/8e/Draft_Colucci_598928640-3880-document.pdf
7. Díaz, J. (2014). Evaluación de la metodología PCI como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles. Bogotá, Colombia. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/be5d2eb1-17fd-4416-8f75-478c7368c518/content>
8. García-Chávez, V. M., & Zambrano-Meza, M. I. (2025). Evaluación de deterioros de los pavimentos en vías principales de acceso a Portoviejo mediante el método de índice de condición del pavimento "PCI". *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2697-3693., 8(15), 323-345. . [Revista Científica INGENIAR . ISSN: 2697-3693.](#)
9. Inés, B. C. G., & Pedro, R. O. M. (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(3), 391-402. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431470349X>
10. Llopis Castelló, D., & Pérez Zuriaga, A. M. (2020). Deterioros en pavimentos urbanos. <https://riunet.upv.es/bitstreams/10842489-923c-4bff-bcfd-ee5d4d5d8363/download>
11. Muegues, E. D. M. Diagnóstico del Estado del Pavimento en la Carrera 19D de Valledupar Colombia, Mediante la Metodología PCI. <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/b5f17d62-c0fd-4110-8861-dc726b5a9335/content>
12. Paucar Ore, J. A. (2022). Elaboración de un plan de mantenimiento rutinario y periódico de pavimentos flexibles para la conservación de la carpeta asfáltica en el distrito de chilca. <https://hdl.handle.net/20.500.14127/337>
13. Vásquez, L. R. (2002). PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS. Manizales: INGEPAV <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-pci1.pdf>