

Sistema De Gestión De Pavimentos Basado En El Empleo De Un Sistema De Información Geográfica

Pavement Management System Based On A Geographic Information System

Autores

Ángel Tony Palma Pin¹, Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco², Dania Olga Abreu Hernández³

¹ Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Manabí (UTM). Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil, Mención Vialidad e-mail: angelpalma90@live.com , apalma4367@utm.edu.ec

² Doctor en Filosofía en Ingeniería Civil. Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca (UCUENCA) email: daniel.mogrovejo@ucuenca.edu.ec

³ Doctor en Ciencias Pedagógicas. Profesora Auxiliar. Ingeniera Aerofotogeodesta. Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae) email: daniah@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

Entre las más conocidas aplicaciones de un Sistema de Información Geográfica se encuentran las relacionadas con la toma de decisiones en diferentes actividades en las que se enmarca la información cartografiada. La presente investigación refiere resultados del empleo de las herramientas de un SIG en la toma de decisiones para la gestión de pavimentos. Se seleccionó como caso de estudio la red vial de la ciudad de Portoviejo, ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador. La salud de la red se determinó mediante los métodos normados PCI, y URCI. La condición del pavimento se definió sobre un total de 38 tramos de inspección, 25 tramos en carreteras con pavimento flexible y 13 tramos en carreteras sin pavimentar. Las calles con pavimento flexible estaban en general en buenas condiciones, mientras que las calles sin pavimentar obtuvieron una puntuación más baja. Se utilizó la metodología de matrices de probabilidades de transición de Márkov para el período 2022-2032. Por último, se determinó el orden de intervención según el índice de jerarquía desarrollado basado en: la evaluación técnica de la condición, el criterio de los expertos, el volumen de tránsito, la evaluación del usuario, y la importancia de la vía. Los resultados obtenidos permiten identificar de acuerdo a los índices de ponderación un nivel de jerarquización en el cual se establecen por orden de prioridad de las carreteras del cantón Portoviejo la prioridad para realizar las acciones de tratamiento de sello, recapeo o cuando no sea necesario realizar intervención en la vía.

Palabras claves: Sistema de gestión de pavimentos, sistema de información geográfica, condición del pavimento.

ABSTRACT

Among the best-known applications of a Geographic Information System are those related to decision-making in different activities in which the mapped information is framed. The present investigation refers to the results of the use of GIS tools in decision-making for pavement management. The road network of the city of Portoviejo, located in the province of Manabí, Ecuador, was selected as a case study. The health of the network was determined using the standard PCI and URCI methods. The condition of the pavement was defined on a total of 38 inspection sections, 25 sections on roads with flexible pavement and 13 sections on unpaved roads. Streets with flexible pavement were generally in good condition, while unpaved streets scored lower. The Markov transition probability matrix methodology was used for the period 2022-2032. Finally, the order of intervention was determined according to the hierarchy index developed based on: the technical evaluation of the condition, the criteria of the experts, traffic volume, user evaluation, and importance of the road. The results obtained allow us to identify, according to the weighting indices, a level of hierarchy in which the priority order of the roads of the Portoviejo canton is established, the priority to carry out the actions of sealing treatment, recapping or when an intervention in the way is deemed unnecessary.

Keywords: Pavement management system, geographic information system, pavement condition

Nota Editorial: Recibido: Febrero 2023 Aceptado: Abril 2023

1. INTRODUCCIÓN

Mantener el funcionamiento óptimo de la red vial es fundamental para el desarrollo y mantenimiento del crecimiento económico de una región. Desafortunadamente, el tráfico en combinación con las condiciones ambientales deteriora el sistema vial, haciendo necesario su mantenimiento, rehabilitación e incluso reconstrucción parcial [1]. Para mantener el buen estado de las carreteras es fundamental contar con un buen sistema de gestión que tenga en cuenta las características específicas de la región y los recursos disponibles. Esto ciertamente se aplica a la concurrida red vial del cantón de Portoviejo en la provincia de Manabí en Ecuador. La disponibilidad de un sistema de gestión del mantenimiento de la red vial bien desarrollado no solo contribuirá a un mejor desarrollo regional, reducirá los accidentes de tránsito, reducirá el desgaste de los vehículos y, a la larga, será menos oneroso financieramente para todos los actores.

Para identificar las técnicas adecuadas de mantenimiento y reparación que optimicen el nivel de servicio del pavimento, se debe evaluar la vía y conocer su estado real de funcionamiento. La correcta planificación del mantenimiento vial depende de la importancia de la gestión, incluyendo las acciones que deben realizarse para prolongar la vida útil de la infraestructura vial. De acuerdo a [2] un Sistema de Gestión de Pavimentos es el conjunto de operaciones que busca conservar por un periodo de tiempo las acciones de seguridad y capacidad estructural adecuada, soportando las condiciones climáticas y el entorno de la zona en que se ubica la vía.

Según [3] la correcta gestión para la conservación del pavimento permitirá presupuestar, planificar, programar y priorizar el mantenimiento de sus vías; repotenciando recursos económicos a través de la seguridad y la comodidad requerida para su uso, siendo menores los costos y las reparaciones. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son generados de acuerdo a las posibilidades que ofrecen para contar con información cartografiada y georreferenciada de una zona, asociando datos específicos que permiten realizar análisis estadísticos y obtener modelos de comportamiento de diferentes variables.

Como indica [4] un SIG tiene ciertas similitudes con los Sistema de Gestión de Pavimentos porque consta de un proceso de recolección, procesamiento y presentación de información. La tecnología SIG puede emplearse para identificar los sitios de mantenimiento en carreteras, ya que permite recuperar información de una base de datos y generar automáticamente mapas para satisfacer necesidades específicas [5]. Un SIG es una tecnología útil en muchos campos de la ingeniería, especialmente en la planificación y mantenimiento; debido a que ofrece una solución ideal para mantener una base de datos de carreteras, que es un registro para la toma de decisiones y gestión de carreteras [6]. Según [7] los datos recogidos en los SIG pueden ser mapeados con la finalidad de identificar bases de datos referentes, donde los encargados de la gestión de carretera puedan conocer dónde el dinero debe gastarse con la finalidad de que los inversionistas puedan tomar decisiones para hacer uso adecuado del presupuesto y se garantice el buen funcionamiento.

El objetivo de este trabajo es la implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos integral, que incluya herramientas esenciales para planificar los diferentes procesos de intervención de mantenimiento de la red vial de la ciudadela "El Maestro" de la ciudad de Portoviejo. Dentro de estos procesos se plantea determinar la salud de la red vial mediante el diagnóstico de los deterioros en base a la metodología del Índice de Condición de Pavimentos (PCI) para pavimentos flexibles, aplicando la metodología del Índice de Estado de Carreteras sin Asfaltar (URCI) para la red vial no pavimentada. Además, se plantea realizar el análisis de proyección de la condición de los pavimentos mediante modelos probabilísticos como las matrices de probabilidad de Márkov, jerarquización y optimización de las intervenciones de la red vial. Finalmente, se incorporará el uso de Sistemas de Información Geográfica para la visualización de los resultados. Por lo tanto, con la implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos que utilice las herramientas de un SIG, se contribuirá a la correcta toma de decisiones para ejecutar acciones de mantenimiento y reparación de la red vial; mediante información ordenada y precisa. La integración de esta información permitirá obtener una valoración más precisa sobre la factibilidad de las acciones para realizar la intervención en la vía y sobre todo que tipo de mantenimiento es adecuado en cada caso.

2. DESARROLLO

Dentro de la metodología implementada para el Sistema de Gestión de Pavimentos empleando herramientas de un Sistema de Información Geográfica, se propone a continuación la siguiente estructura de trabajo:

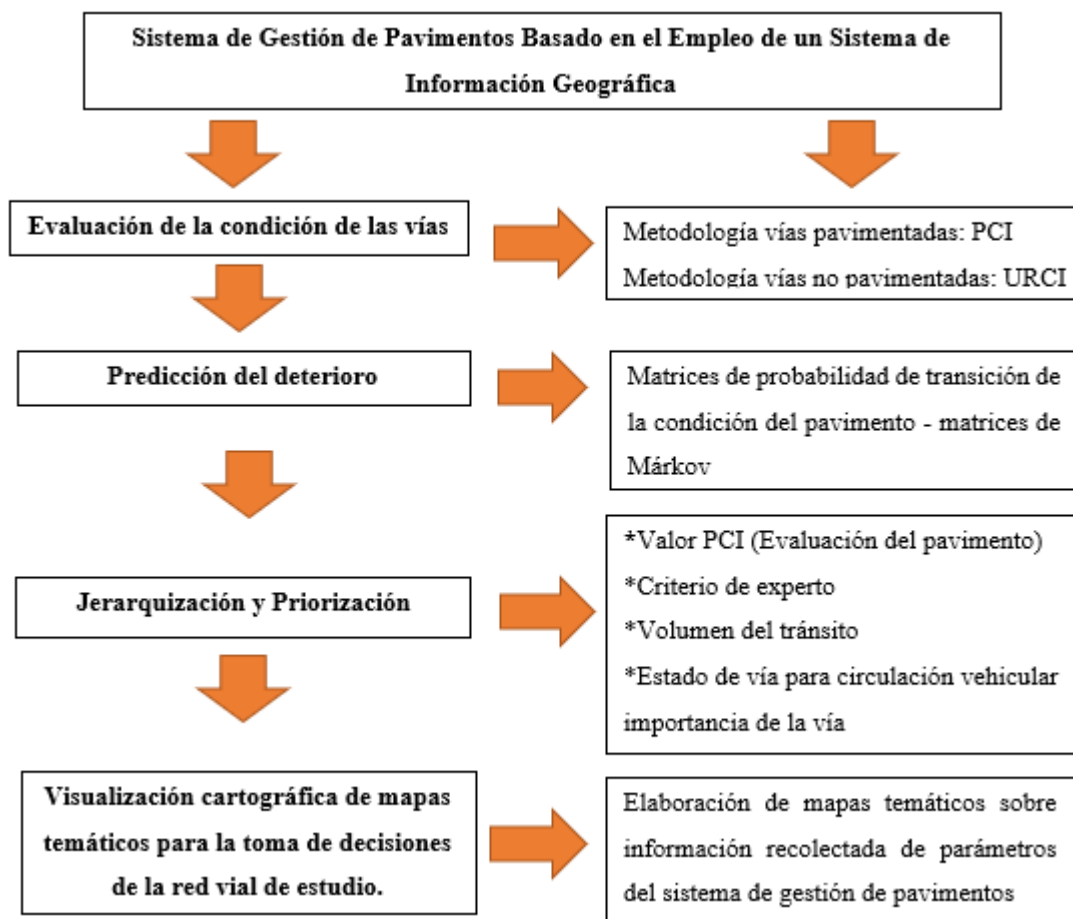


Figura 1: Sistema de Gestión de Pavimentos

El Sistema de Gestión de Pavimentos mejorado con GIS incluye 3 elementos importantes: la evaluación del estado del pavimento, predicción del deterioro y el proceso de toma de decisiones. La evaluación del pavimento se basa en el Índice de Condición de Pavimentos (PCI) para los tramos de pavimentos flexible en la carretera de estudio y el Índice de Condición de Vías no Pavimentadas, para carreteras sin asfaltar. En la metodología para la determinación de los métodos PCI e URCI se utilizaron hojas de campo, donde se registró la información obtenida del levantamiento de inspección visual; los cuales para su registro constan de fecha, ubicación, sección, tramo, niveles de severidad, tipos de fallas y cantidades. En los dos métodos existe un formato diferente de evaluación en base al tipo de pavimento del área de la zona de inspección; donde se utiliza un equipo para medir distancias en las calles como el odómetro, una regla para medir las deformaciones, un plano del área de estudio para ver donde se encuentran ubicadas cada una de vías de inspección para ser evaluadas. Para la predicción del deterioro del pavimento utilizado en esta investigación, se aplica un modelo probabilístico (estocástico) basado en cadenas de Márkov, utilizando el estado anterior y no el estado inicial; siendo uno de los métodos que más se acerca a la realidad de los deterioros del pavimento, adicional los porcentajes de la evaluación de la condición de las vías fueron utilizados en base a estudios previos y a la curva de deterioro en el país.

El proceso de toma de decisiones se realizó mediante la jerarquización y priorización de orden de vías a intervenir, donde se determinan los porcentajes de ponderación para analizar en diferentes municipalidades. Para nuestra municipalidad los valores de ponderación se basan en parámetros tales como: la evaluación del pavimento, el volumen del tránsito, el criterio del usuario, el criterio de experto y la importancia de la vía; estos parámetros tienen ponderación de carácter flexible dependiendo de la información que disponga la agencia, garantizando así una herramienta de jerarquización robusta.

2.1. Zona De Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la ciudadela "El Maestro" de la ciudad de Portoviejo, provincia Manabí. Mostrándose las vías que fueron consideradas dentro del trabajo de investigación. A continuación, en la Figura 2 se muestra la localización del área de estudio del proyecto.

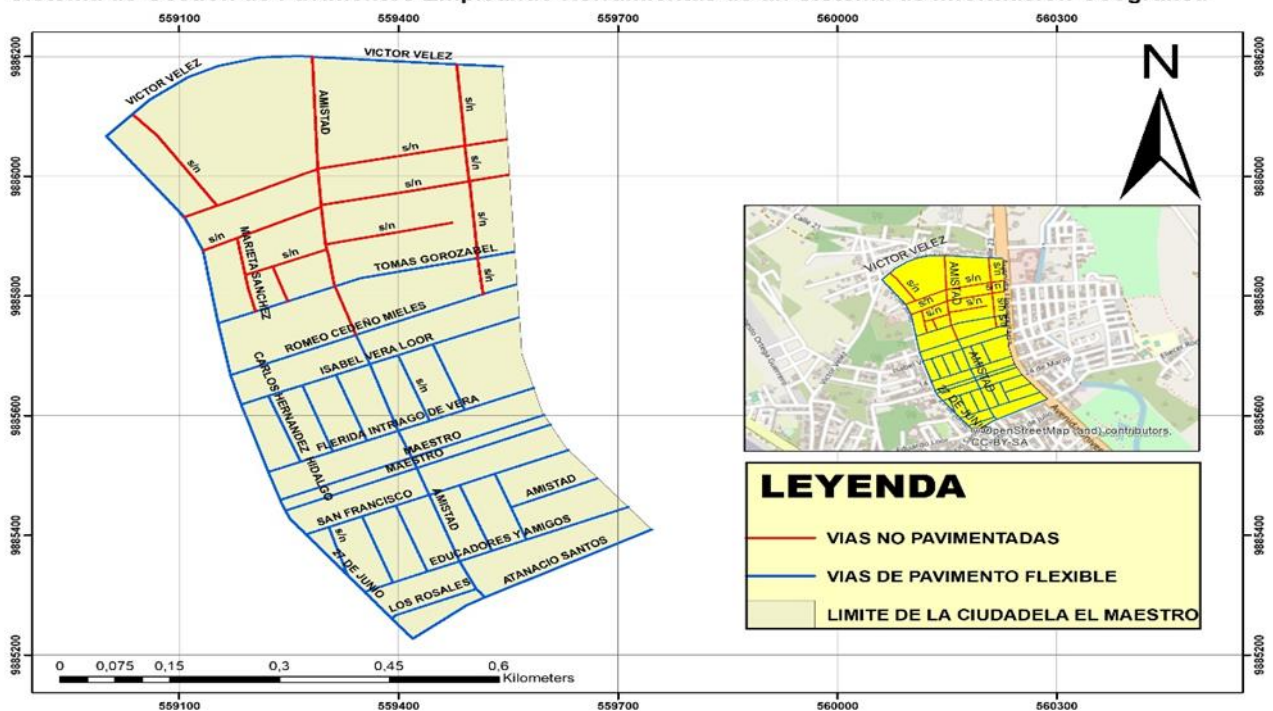


Figura 2. Área de Influencia del proyecto.

2. 2. Evaluación De La Condición Del Estado De Las Vías

De acuerdo a [8], para identificar que técnicas de mantenimiento y reparación son las adecuadas para mejorar el nivel de servicio de pavimento, se debe evaluar la vía y conocer el estado real en la que se encuentra. La evaluación de las vías se la establece por medio del método funcional (PCI), aplicando la norma ASTM D6433 [9] para las vías de pavimento flexible y el método (URCI), según el manual TM5-626 [10] para las vías no pavimentadas; el primer paso en estos métodos es determinar el estado actual de las diferentes áreas de estudio, el procedimiento que utilizan estos dos métodos es dividir cada sección del pavimento en unidades de muestras, el procedimiento de calificación va depender del tipo, cantidad y severidad de las fallas para calificar la condición de las secciones de carreteras. En este trabajo se consideraron 38 muestras de secciones de tramos de vías, los datos para la evaluación se registraron en un formato apropiado a una hoja de encuesta. Para el cálculo de los métodos PCI y URCI una vez realizado el levantamiento de información en campo se procede a conocer el estado del pavimento, tanto desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario, como de la capacidad de resistir las solicitaciones de cargas durante un periodo de su vida útil.

2. 3. Índice De Condición Del Pavimento

Según establece [11], en la actualidad, existen varios métodos para conocer el estado real de un pavimento que permite a la gestión vial establecer planes de mantenimiento y restauración, pero una de las técnicas más complejas es el denominado Índice de Condición de Pavimentos. El parámetro de evaluación con mayor uso en el pavimento a nivel internacional es el Índice de Condición de Pavimentos, constituyendo la manera más compleja para el monitoreo y calificación de pavimentos, siendo así aceptado y adoptado como un procedimiento estandarizado [12]. Según [13] el PCI, surgió como una propuesta de indicador número que mide estado del pavimento, para indicar el grado del deterioro que se encuentra el pavimento. Como lo establece [14] el Índice de condición del pavimento (PCI), es un indicador numérico que varía de 0 para pavimento con presencia de falla y 100 para pavimentos en perfecto estado.

Para el cálculo del PCI se identificaron las secciones de vías del pavimento flexible, dividiéndolas en base a las condiciones de la zona de estudio, realizando (n) unidades de muestreo que es la población estadísticamente significativa, dando resultados como si se hubiesen tomado todos los elementos de N (secciones totales de muestreo) con un 95 de confiabilidad y teniendo una desviación estándar (e) de 10 para pavimentos flexibles. Una vez que se identificó el número de secciones de muestras se procedió a la determinación de los deterioros con sus respectivas severidades, en función a la normativa ASTM D6433 [9]. A continuación, se procede a sumar todas las cantidades, de cada severidad, para cada tipo de deterioro, luego se calcula la densidad en función de la cantidad total de cada deterioro para el área total de unidades de muestreo y multiplicando por 100. Luego se calculan los valores deducidos para cada tipo de daño por medio de las curvas de valor deducido; esto se debe realizar para obtener el cálculo máximo de valores deducidos, para valores deducidos mayores a dos se usa el valor deducido total. Luego se determina el valor corregido de las curvas de valores de deducción (CDV) en función de las curvas (q) y finalmente se determina el valor PCI restando 100, el valor máximo de las CDV.

2. 4. Índice De Condición En Vías No Pavimentadas

El método del Índice de Estado de Carreteras sin Asfaltar por sus siglas en inglés (URCI) establece mediciones sobre la dificultad de la superficie para conducir un vehículo tomando en cuenta dos factores importantes, como lo son la comodidad y la seguridad del usuario. Siendo un ensayo en campo muy efectivo para encontrar las necesidades que tienen las carreteras no pavimentadas [15].

Se presenta un índice numérico de 0 a 100, indicando las condiciones de operación en que se encuentra la carretera; para el cálculo del método (URCI) luego de realizar el trabajo de inspección de campo, se debe dividir la cantidad total de cada tipo de daño, en cada severidad, entre el área de muestra en la unidad de muestreo donde su valor se expresa en porcentaje siguiendo el manual TM5-626 [10], luego se determina el valor deducido para cada tipo de daño y nivel de severidad mediante las curvas del valor deducido del daño. Para el cálculo del número máximo deducible, si ninguno o solo uno de los valores deducidos es mayor que cinco, es decir pocos daños o severidades bajas, teniendo esto se procede a calcular el valor URCI de la unidad de inspección. Para los valores deducidos mayores a cinco se utilizará el valor deducido total, de esta manera se determina el número máximo de valores deducidos mediante la siguiente ecuación [16].

$$mi = 1.00 + \frac{9}{95} * (100 - HDVi) \quad (1)$$

Donde mi: Número máximo de valores deducidos para la unidad de muestra, HDVi: el valor deducido individual para las unidades de muestreo.

2. 5. Predicción Del Deterioro (Probabilidad De Transición De Markov)

Las cadenas de Markov poseen su origen de aplicación basado en una herramienta que permite determinar la probabilidad con la cual el proceso puede entrar en algún estado; sin embargo, luego de ocurridas varias transiciones, estas probabilidades convergen a valores particulares [17]. De acuerdo a [18], las cadenas de Markov es una de estas funciones de probabilidad que representa el cambio de una variable en un determinado momento en el tiempo en base a un patrón de transición desconocido. Como lo explica [19] en ingeniería de carreteras, las cadenas de Markov se han aplicado principalmente en el desarrollo de modelos probabilísticos para estimar el deterioro de pavimentos y de otros activos viales. Según establece [20], que, durante una serie de años, será posible predecir en que condición se encuentra un tramo de la red en el año que se desee.

Las siguientes matrices representan los estados de un determinado sistema por medio de una serie de intervalos en el tiempo, el estado actual va a depender del estado anterior y no de los estados previos como lo determina la siguiente ecuación [21]

$$P\left(x_{n+1} = \frac{x_{n+1}}{x_n} = x_n, x_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_2 = X_2, X_1 = X_1\right) = P(X_{N+1} = \frac{x_{n+1}}{x_n} = x_n) \quad (2)$$

En donde:

P= Probabilidad de Transición

Xn=Paso del proceso en el tiempo

n= El tiempo

Xi=Estado del proceso en este instante.

Los valores con los que se realiza predicciones en la matriz de Markov fueron desarrollados en concordancia a la zona de estudio y los diferentes tipos de tratamientos empleando en la localidad. La implementación de la ecuación 2 para la predicción del estado del pavimento, permite tener valores de progreso del Índice de Condición del Pavimento hasta cumplir el tiempo establecido. Para el trabajo de investigación se trabajó con un tiempo n de proyección de 10 años, las condiciones del estado del pavimento se obtuvieron mediante evaluación para cada una de las vías de la zona de estudio, la ecuación se la proyectó para cada tipo de tratamiento que se pueden utilizar en la localidad.

2. 6. Jerarquización Y Priorización

Por medio de Carpio [22] se determina que la parte más complicada de un Sistema de Gestión es la priorización de las vías a intervenir ya que va a depender de muchos factores, identificando su condición para articular la red vial que permita calificar su estado de desempeño, y su potencial de desarrollo. Para el trabajo de investigación se tuvieron en consideración 5 factores para determinar el índice de ponderación que dio lugar a la jerarquización del orden de vías a intervenir, considerando cada criterio por un índice ponderado para cada una de las variables; los cuales son:

Por medio de Carpio [22] se determina que la parte más complicada de un Sistema de Gestión es la priorización de las vías a intervenir ya que va a depender de muchos factores, identificando su condición para articular la red vial que permita calificar su estado de desempeño, y su potencial de desarrollo. Para el trabajo de investigación se tuvieron en consideración 5 factores para determinar el índice de ponderación que dio lugar a la jerarquización del orden de vías a intervenir, considerando cada criterio por un índice ponderado para cada una de las variables; los cuales son:

1. Evaluación del pavimento.
2. Criterio de experto.
3. Importancia de la vía.
4. Volumen de tránsito.
5. Estado de circulación según el usuario

De esta manera se incluye en el Sistema de Gestión propuesto una herramienta ajustable que permita ponderar la información disponible de la agencia que la utilice.

2. 7. Sistema De Información Geográfica Aplicado A La Gestión De Pavimentos

De acuerdo a [23] a nivel mundial el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ha tomado importante aceptación debido a la facilidad de integración de la localización de datos e introducción de información necesaria en la toma de decisiones para los proyectos. Según [24], una de las partes más importantes de un SIG es la base de datos que es un conjunto de datos estructurales y almacenados, con el fin de utilizar un acceso fácil y directo. Los Sistema de Gestión de Pavimentos generan un aporte significativo con la implementación de herramientas para la toma de decisiones ya que ayuda a tener una información más rápida y ordenada.

Para el trabajo de investigación se utilizó el software ArcGIS como herramienta del Sistema de Gestión de Pavimentos, ayudando el ingreso y procesamiento de información en tiempo real, llegando de esta manera a obtener una interpretación o selección de la priorización de recursos para mayor beneficio de la localidad. El trabajo de recolección de información se realizó mediante monitoreo e identificación de daños de superficie pavimentadas y no pavimentadas con cámara y GPS conectada a Google Drive, tomándose información georreferenciada en cada sección de tramo de vía.

2. 8. Creación De Base De Datos Y Visualización Cartográfica

En la Ciudadela El Maestro de la ciudad de Portoviejo, para obtener la información referente al estado de las vías de pavimento flexible y no pavimentadas; se realizó la digitalización ingresando los ejes de carreteras en el punto inicial y final del segmento, que constituyen: la base de datos del pavimento, nombres de las vías, superficie, longitud, ancho de la vía, índice de condición del pavimento (PCI), Rating del PCI, índice de condición para vías no pavimentadas (URCI) y Rating URCI. Con la información adecuada ingresada en el software de visualización ArcGIS, se establecen puntos de parámetros y tramos evaluados en el pavimento flexible y posibles intervenciones dentro de la zona de estudio. Esta representación mediante mapas es amigable para la interpretación del ingeniero de gestión, ya que permite tener un estado del pavimento y realizar de forma adecuada una priorización del orden de vías a ser intervenidas.

3. RESULTADOS

En la zona de estudio de las vías localizadas en la ciudadela “El Maestro”, se identificaron 38 tramos de inspección. Se atribuyen de la siguiente manera: 25 tramos para las vías de pavimentos flexibles, en los cuales se utilizó el método del Índice de Condición del Pavimento; y 13 tramos para vías no pavimentadas, implementándose el método del Índice de Condición para Vías no Pavimentadas.

Los diferentes tramos inspeccionados presentaron distintos valores de nivel de servicio de las vías evaluadas. En las Figuras 3 y 4 se pueden observar los tramos de inspección con sus distintos valores del estado en que se encuentran las vías del sitio de estudio en la ciudad de Portoviejo.

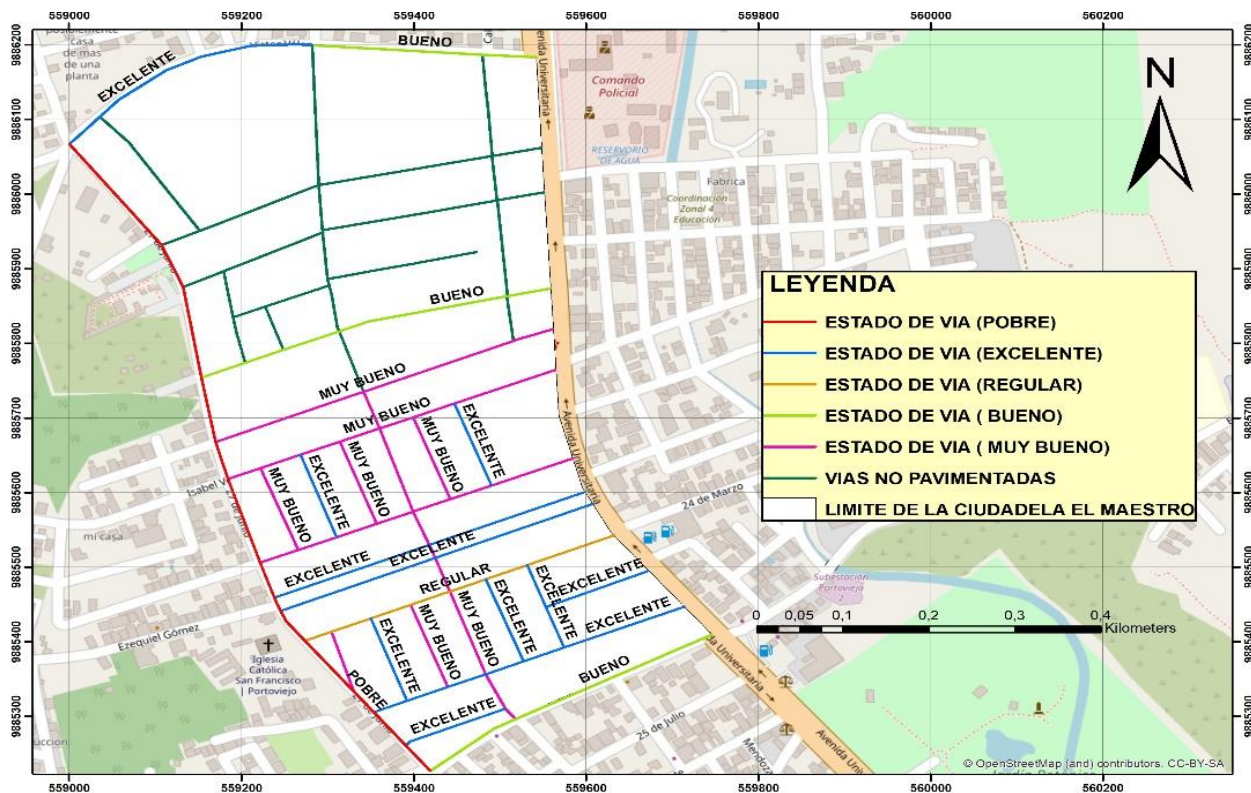


Figura 3 Nivel de servicio de los tramos inspeccionados de pavimento flexible mediante el método PCI.

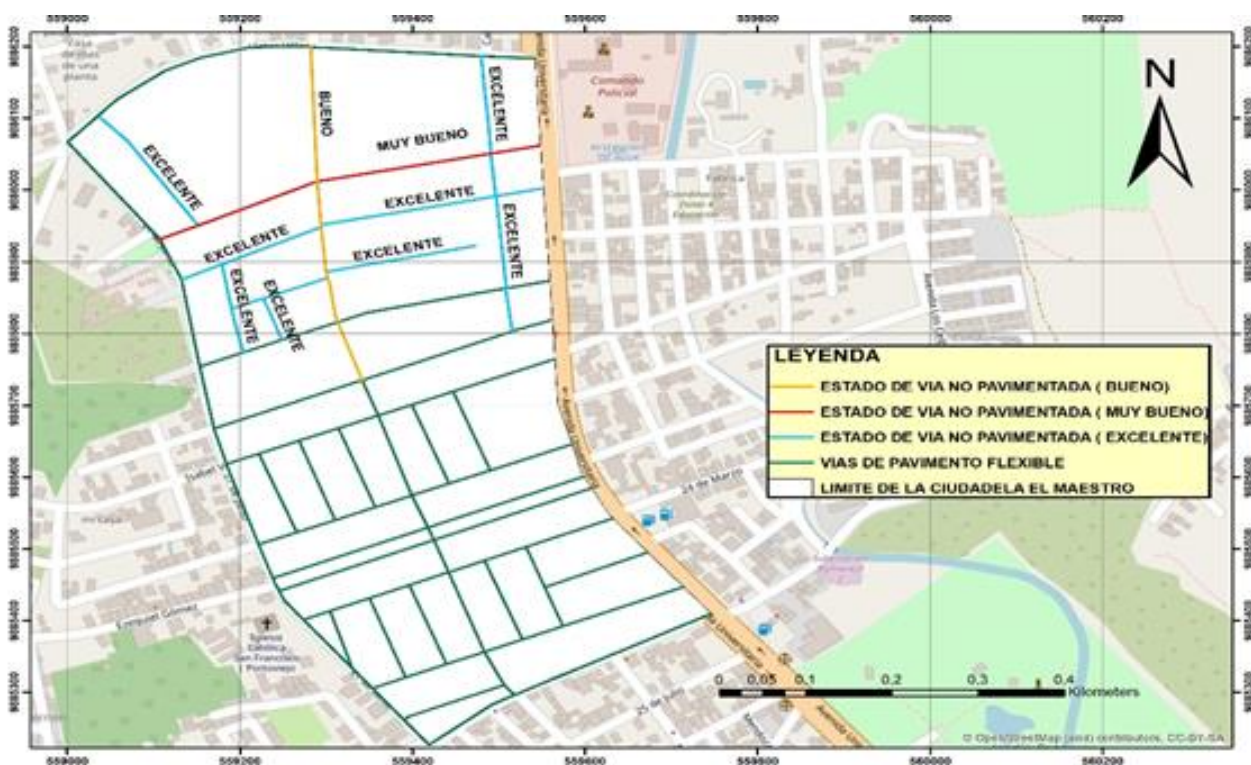


Figura 4 Nivel de servicio de los tramos inspeccionados de las vías no pavimentadas mediante la metodología URCl.

Todos los tramos inspeccionados obtuvieron valores numéricos distintos a la condición del estado en que se encuentran las vías; tanto para pavimento flexible como para las vías no pavimentadas. En la Figura 5 se observa los rangos de calificación de los métodos PCI e URCl en las vías de estudio.

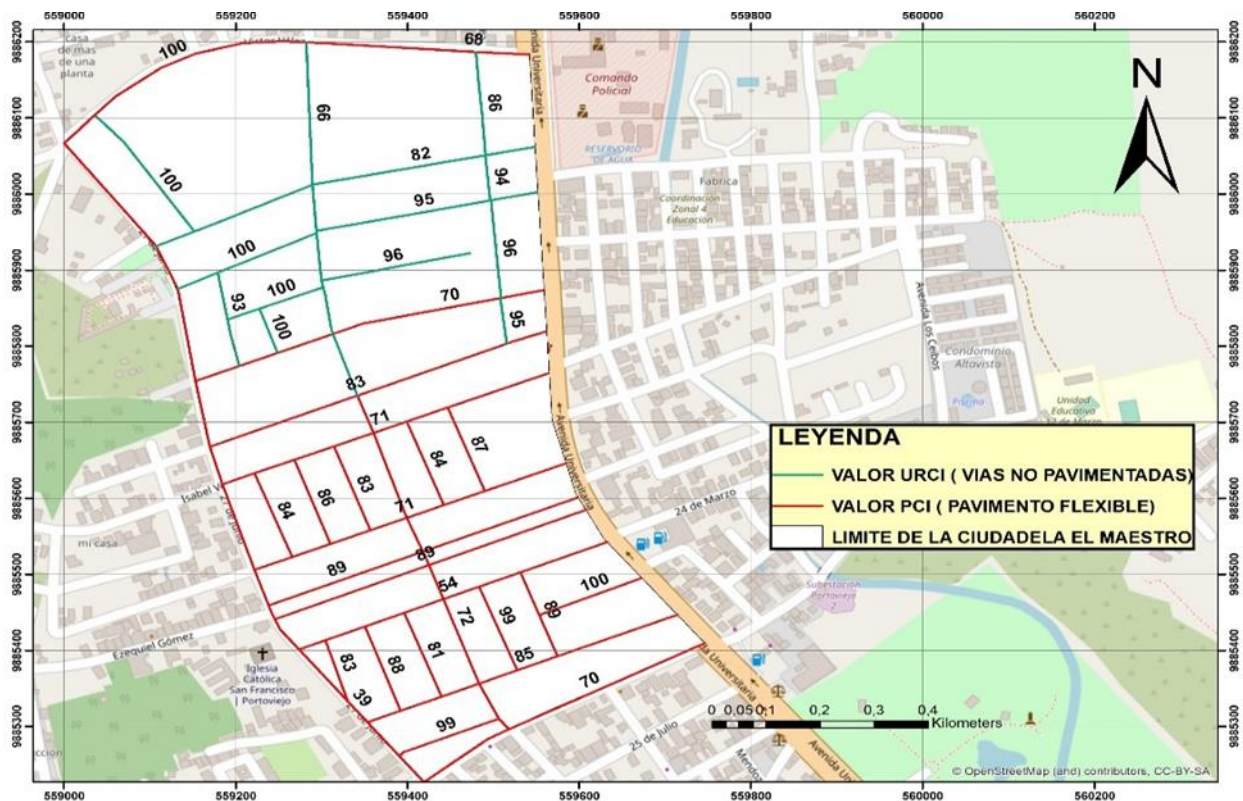


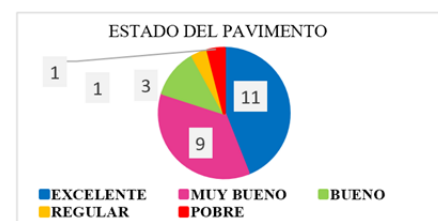
Figura 5 Rangos y calificación de los métodos PCI e URCI, sobre el estado en que se encuentran las vías inspeccionadas del área de estudio.

Realizando la proyección del estado del pavimento por medio de las matrices de Márkov para la ciudadela “El Maestro” de la ciudad de Portoviejo; en las vías de pavimento flexible, se muestran tres tipos de escenarios que representan la evolución del nivel de servicio, los cuales son:

- El primer escenario cuando se decide no hacer ningún tipo de intervención o no hacer nada.
- La segunda proyección elaborando un tratamiento de sello.
- Tercer escenario realizando un recapeo.

A continuación, se puede observar en las Figuras 6, 7 y 8 las respectivas proyecciones del estado del pavimento realizando diferentes acciones de tratamientos para las vías de estudio.

NO HACER NADA					
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE
EXCELENTE	85%	6%	5%	3%	1%
MUY BUENO		72%	15%	8%	5%
BUENA			64%	20%	16%
REGULAR				95%	5%
POBRE					100%



No Hacer Nada					
Numero de Años	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Pobre
2022	11	9	3	1	1
2023	9	7	4	3	2
2024	8	6	4	4	3
2025	7	5	4	5	4
2026	6	4	3	6	6
2027	5	3	3	7	7
2028	4	2	3	8	8
2029	4	2	2	8	9
2030	3	2	2	9	10
2031	3	1	2	9	11
2032	2	1	1	9	11

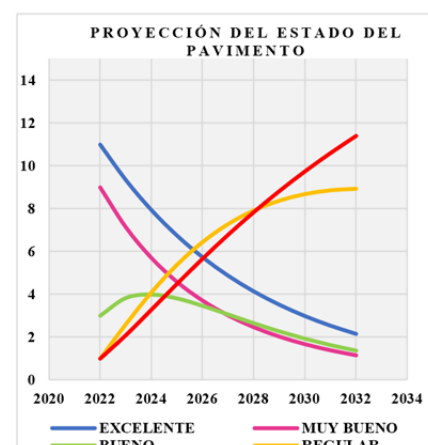


Figura 6 Proyección del estado del pavimento sin Tratamiento (No Hacer Nada).

SELLADO DE GRIETAS					
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE
EXCELENTE	90%	5%	3%	2%	0%
MUY BUENO		80%	10%	6%	4%
BUENA		1%	72%	15%	12%
REGULAR			2%	97%	1%
POBRE				4%	96%

Sellado de Grietas					
Numero de Años	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Pobre
2022	11	9	3	1	1
2023	10	8	3	2	2
2024	9	7	4	3	2
2025	8	6	4	5	3
2026	7	5	3	6	4
2027	6	5	3	7	4
2028	6	4	3	7	5
2029	5	3	3	8	5
2030	5	3	3	9	5
2031	4	3	3	10	6
2032	4	2	3	10	6

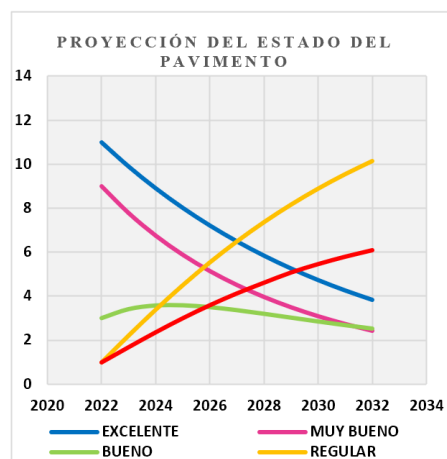
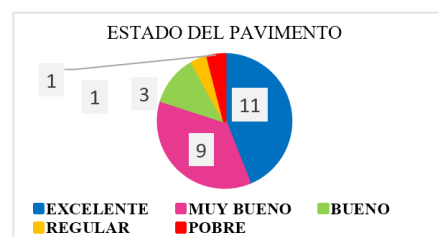


Figura 7 Proyección del estado del pavimento con un tratamiento de Sello.

RECAPEO					
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENA	REGULAR	POBRE
EXCELENTE	95%	4%	1%	0%	0%
MUY BUENO	0%	90%	8%	2%	0%
BUENA	70%	0%	17%	10%	3%
REGULAR	10%	0%	0%	80%	10%
POBRE	0%	0%	0%	0%	100%

Recapeo					
Numero de Años	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Pobre
2022	11	9	3	1	1
2023	13	9	1	1	1
2024	13	8	1	1	1
2025	13	8	1	1	2
2026	13	8	1	1	2
2027	14	7	1	1	2
2028	14	7	1	1	2
2029	14	7	1	1	2
2030	14	7	1	1	2
2031	14	7	1	1	2
2032	14	7	1	1	2

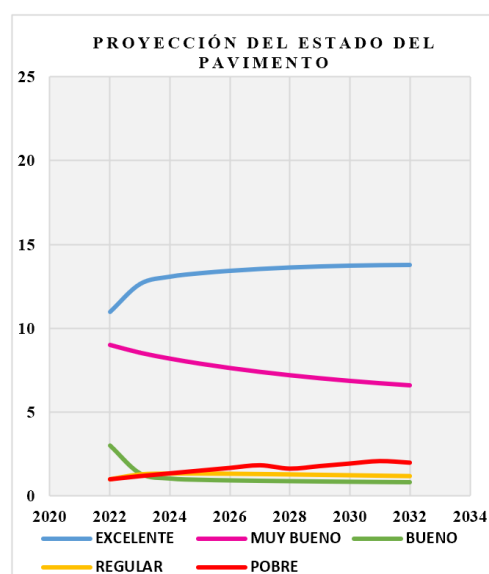
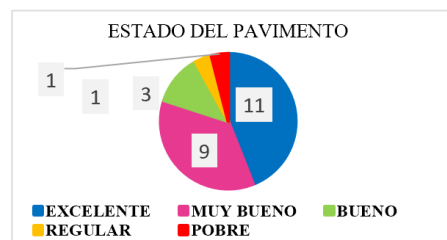


Figura 8 Proyección del estado del pavimento con un tratamiento de Recapeo

La obtención de los porcentajes de las curvas de evolución del estado del pavimento, van de acuerdo a cada tipo de tratamiento, estos son establecidas mediante 3 factores, como lo son:

1. En base a la curva de deterioro y la evolución de los diferentes deterioros con el paso del tiempo.
2. Por la información brindada por parte de expertos que realizan los diferentes tipos de mantenimientos o tratamientos en las vías.
3. Criterio del investigador.

Como resultado de la implementación de las matrices de probabilidad de Markov, de los diferentes tipos de tratamientos para la ciudadela “El Maestro” de la Ciudad de Portoviejo con una proyección del estado del pavimento para el año 2032, se concluye que: Al realizar una acción de mantenimiento de “no hacer nada”, el estado de la condición de los pavimentos va a empeorar con el paso del tiempo, esto se debe a que no se realiza ningún tipo de tratamiento y para el año de proyección se va a tener 2 pavimentos en excelente estado, 1 pavimento en estado muy bueno, 1 pavimento en estado bueno, 9 pavimentos en estado regular y 11 pavimentos en estado pobre.

Luego al realizar un tratamiento de “sello”, con un segundo escenario de evolución del estado de la condición del pavimento, se tiene una mejora en el tiempo sobre el deterioro del pavimento, teniendo 4 pavimentos en estado excelente, 2 pavimentos en estado muy bueno, 3 pavimentos en estado bueno, 10 pavimentos en estado regular y 6 pavimentos en estado pobre. Adicional al implementar “recapeo” se nota una mejora significativa del pavimento teniendo 14 pavimentos en excelente estado, 7 pavimentos en estado muy bueno, 1 pavimento en estado bueno, 1 pavimento en estado regular y 2 pavimentos en estado pobre. A continuación, en la Figura 9 se presentan los diferentes tratamientos que se pueden implementar a las vías de pavimento flexible en la ciudadela “El Maestro”, de acuerdo a la condición del estado en el que se encuentren dichas vías.

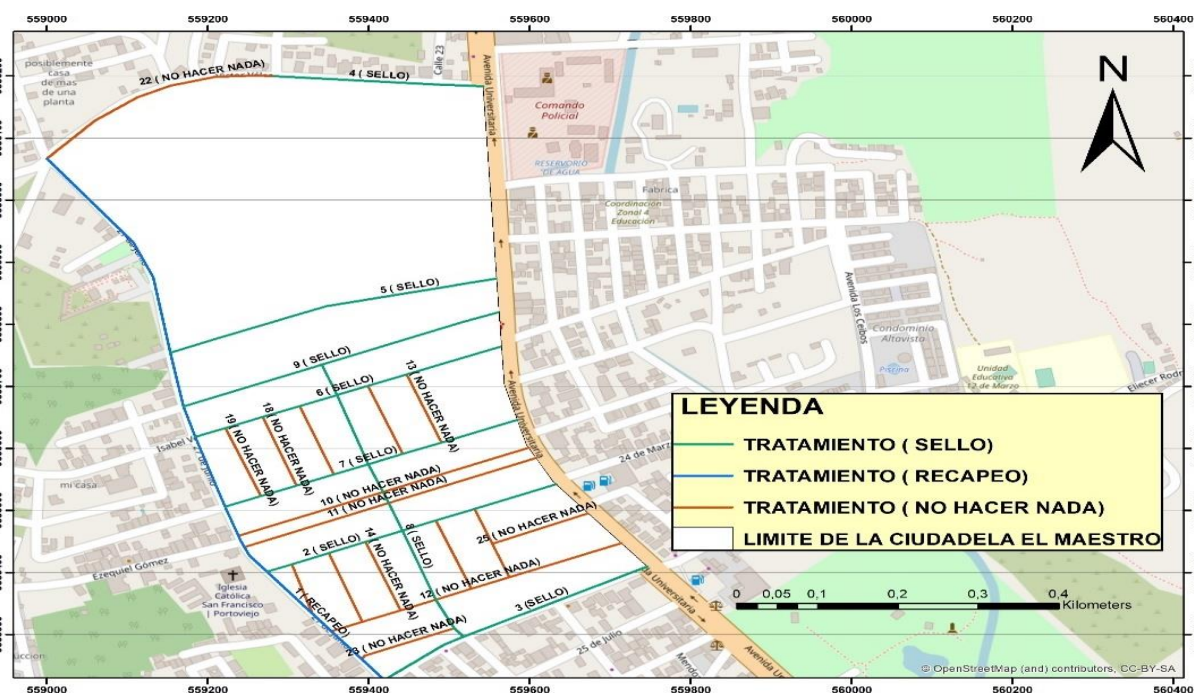


Figura 9 Tratamientos propuestos para las vías de pavimento flexible de la Ciudadela El Maestro.

La toma de decisiones en cuanto a la selección de las vías a intervenir, se basa en la jerarquización realizada sobre 5 factores. Estos tienen diferentes índices de ponderación según la estimación definida por los investigadores. Dichos factores son:

1. La evaluación del pavimento por medio del método PCI, de rango de 100 para pavimentos excelentes y 0 para fallados.
2. El criterio de expertos en conservación vial y otro personal calificado, donde se da cinco calificaciones excelente, muy bueno, bueno, regular, pobre, con ponderaciones de puntaje de 100, 80, 60, 40, 20.
3. El volumen del tránsito de las vías de pavimento flexible donde se calificó vehículos / días menores a 100, un puntaje de 100 y para vehículos / días mayores a 100, un puntaje de 50.
4. El estado de la vía según el usuario, considerando tres parámetros bueno, regular y malo; dando puntajes de 100, 50 y 25 respectivamente.
5. La importancia de la vía.

Para el factor del volumen del tránsito se consideró un conteo de número de vehículos / día, para dar prioridad a las vías con mayor volumen de flujo vehicular. El tráfico tiene que ver mucho con la evaluación del pavimento y para la toma de decisiones. El volumen del tráfico considera el número de vehículos que pasan por una sección determinada, en un tiempo determinado. (veh / día). En la tabla 1 se puede observar los indicadores propuestos.

Tabla 1 Volumen de tránsito en las vías de pavimento flexible.

Volumen de tránsito			
Sección	Nombre de las calles	Número de Vehículos / día	Calificación
1	Atanacio Santos	3680	50
2	Rosales	70	100
3	Educadores y Amigos	40	100
4	Amistad	50	100
5	San Francisco	45	50
6	Los Cisnes	50	100
7	Las Palmeras	60	100
8	Los canarios	65	100
9	9 de octubre	50	100
10	S/n – S / n	84	100
11	Maestro	3870	50
12	Maestro	3810	50
13	Flerida Intriago	67	100
14	Celeste Suárez	56	100
15	S/n – S/n	65	100
16	Agripina Moreira	78	100
17	Ariosto Andrade	87	100
18	Carlos Hernández	67	100
19	Isabel Vera	56	100
20	Romero Cedeño	67	100
22	Tomas Gorozabel	89	100
34	Víctor Vélez	87	100
35	Víctor Vélez	67	100
36	27 de junio	4116	50
37	Amistad	78	100

Reciben valores de puntuación de acuerdo a la importancia y frecuencia que tengan dichas vías. Las de mayor importancia y con alta frecuencia vehicular tienen un puntaje de 50, mientras que las vías de menor frecuencia vehicular obtienen una puntuación de 100. Con estos factores se determina el índice de jerarquización de intervención de vías de pavimento flexible. A continuación, en la tabla 2 se presenta el orden de vías a intervenir según su jerarquización.

Tabla 2 Jerarquización en vías de pavimento flexible a intervenir.

Sección	Nombre de las calles	Factores de Ponderación						Orden de vías a intervenir
		a	b	c	d	e	Jerarquización	
		0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	1	
1	Atanacio Santos	70	60	50	50	50	63	3
2	Rosales	99	100	100	100	100	99	23
3	Educadores y Amigos	85	100	50	100	100	86	12
4	Amistad	100	100	100	100	100	100	25
5	San Francisco	54	40	50	50	50	51	2
6	Los Cisnes	89	100	100	100	100	93	21
7	Las Palmeras	99	100	100	100	100	99	24
8	Los canarios	81	80	100	100	100	87	14
9	9 de octubre	88	100	100	100	100	93	20
10	S/n – S / n	83	80	100	100	100	88	15
11	Maestro	89	100	50	100	50	83	10
12	Maestro	89	100	50	100	50	83	11
13	Flerida Intriago	71	80	100	50	100	76	7
14	Celeste Suárez	87	100	100	50	100	87	13
15	S/n – S/n	84	80	100	100	100	88	17
16	Agripina Moreira	83	80	100	100	100	88	16
17	Ariosto Andrade	86	100	100	100	100	92	18
18	Carlos Hernández	85	80	100	100	100	89	19
19	Isabel Vera	71	80	50	100	100	76	6
20	Romero Cedeño	83	80	50	50	100	78	9
22	Tomas Gorozabel	70	60	50	50	100	68	5
34	Víctor Vélez	100	100	50	100	100	95	22
35	Víctor Vélez	68	60	50	50	100	67	4
36	27 de junio	39	20	50	25	50	38	1
37	Amistad	72	80	100	50	100	76	8

En las vías de pavimento flexible de la ciudadela “El Maestro”, para saber el orden de vías a intervenir según el índice de jerarquización; se realizó ponderaciones de 5 factores, como lo son:

1. Puntuación de 0.60 evaluación del pavimento por el método PCI.
2. Puntuación de 0.10 criterio de experto.
3. Puntuación de 0.10 volumen del tránsito.
4. Puntuación de 0.10 estado de la vía según el usuario.
5. Puntuación de 0.10 importancia de la vía.

Se estimó como indicador de mayor ponderación el ofrecido por el PCI, valorado con un índice de 0,6 por la posibilidad de realizar la evaluación del pavimento mediante datos cuantitativos que ofrecen mayor precisión y confiabilidad, el resto de los indicadores fueron estimados de forma similar con un índice de ponderación de 0,1. En la tabla 1 se detallan colores según el orden de priorización, teniendo las de color rojo las primeras vías a intervenir, las de color verde las últimas vías a intervenir.

Se logró determinar e implementar de la mejor manera un Sistema de Gestión Vial, con ensayos normados (índices PCI y URCI), y con los métodos más adecuados (SIG, MPTM, criterios de jerarquización y priorización en base a índices ponderados) para su correcto desarrollo.

Desde el punto de vista de las vías pavimentadas (veinticinco en total), la norma ASTM D6433 [9], fue la mejor opción, tomando en cuenta su significancia, uso ampliado y objetividad, además de su perfecta aplicabilidad en ciudades como Portoviejo, en donde el presupuesto para evaluación del deterioro vial es limitado. De hecho, se han realizado comparaciones con implementaciones de sistemas de gestión en diferentes lugares como Perú [20], Ecuador en el cantón Girón [8] y en el cantón Biblián [13], en donde se puede ver la relación entre los diferentes métodos de evaluación con el presupuesto disponible, se observa que para municipalidades con presupuesto limitado, el sistema escogido es el cálculo de la condición bajo la norma ASTM D6433 [9], por las ventajas antes mencionadas.

Por otro lado, para las vías no pavimentadas (trece en total), la metodología URCI, resultó la mejor opción por su simplicidad y rapidez en la toma de datos, sin perder la objetividad y la posibilidad de obtener resultados no solo cualitativos, sino cuantitativos, a un costo relativamente bajo y, sin necesidad de equipos especiales de medición.

Con respecto a la predicción del deterioro, se ha reconocido en municipalidades latinoamericanas similares como: Girón, Gualaceo, Biblián, Cusco, Cajamarca entre otras; una correcta aplicación de las matrices de probabilidad de transición Markovianas, pues dichas matrices (al cambiar sus dimensiones de acuerdo a la necesidad) permiten realizar una clasificación de la condición de los pavimentos en función de los tratamientos disponibles de rehabilitación y mantenimiento. Esta ventaja se aprovechó también en nuestro sistema de gestión propuesto, ajustando a la medida la dimensión de las matrices de probabilidad de transición, catalogando la salud vial en función del número de mantenimientos disponibles en Portoviejo (como, por ejemplo: sello de grietas, bacheo menor y recapeo). Además, esta metodología de predicción de desempeño, propuesta en base a las matrices de Markov, permite ajustar (mejorando su precisión) los porcentajes de cambio de condición de la salud vial en base a las evaluaciones futuras programadas por el GAD de Portoviejo, convirtiendo así al sistema de predicción de la salud en un sistema confiable.

En términos de jerarquización y priorización, el presente trabajo presenta los resultados en base a 5 criterios (antes mencionados), logrando ajustar de la mejor manera la decisión de intervención, a la realidad de la Municipalidad de Portoviejo (y su base de datos, e información disponible). Además, la herramienta de jerarquización y priorización propuesta, permite ponderar (ajustar) el aporte de cada criterio (de 0 a 100%), en función de la disponibilidad de datos, y del criterio técnico del personal encargado del mantenimiento. Es así que, si por diferentes circunstancias, no se disponga de datos de uno o más de los criterios, la herramienta permite ponderar su(s) aporte(s) a 0% y, aun así, tener disponible un ranking de jerarquización cuantitativo para la intervención en la red vial, eliminando cualquier subjetividad en los resultados.

Con respecto a la herramienta de sistemas de información geográfica (SIG), los resultados obtenidos, y presentados de manera integrada en dicha herramienta permiten la facilidad de análisis de datos de una manera gráfica, generando un plus en el abanico de información utilizada para la toma de decisiones de intervención. Incluso, al analizar la condición de deterioro (salud de la red vial) de manera gráfica; es posible encontrar patrones de daños localizados en áreas específicas dentro del sistema, esta información ayuda significativamente a entender mejor las evoluciones de los deterioros y posiblemente el porqué de los mismos con respecto a su localización. Por último, es necesario acotar que nuestro trabajo es de los pioneros en la implementación de SIG en el análisis de la condición de redes viales; de hecho, en estudios similares [24] y [23] muestran su utilización, pero con un alcance mucho menor.

4. CONCLUSIONES

Se determinó la salud de la red vial del pavimento flexible mediante PCI encontrándose que en la Ciudadela el maestro se presenta una condición actual del estado del pavimento de 11 vías excelentes, 9 vías muy buenas, 3 vías buenas y 1 vía regular y 1 vía pobre, y de la misma manera se determinó la salud de la red vial no pavimentada con URCI encontrando el estado actual de 11 vías en estado excelente, 1 vía en estado muy bueno y 1 vía en estado bueno.

Gracias a la implementación de las matrices de probabilidad de transición se concluyó que al “No Hacer Nada” los pavimentos van a seguir deteriorándose con el paso del tiempo, esto se debe a que no se realiza algún tipo de tratamiento, los pavimentos van a decaer para el año de proyección 2032, teniendo 2 pavimentos en excelente estado, 1 muy bueno, 1 bueno, 9 regulares y 11 pobres. Que al realizar un “Sello” la predicción del deterioro mejora, realizando este tipo de tratamiento se va a tener 4 pavimentos en excelente estado, 2 muy bueno, 3 bueno, 10 regulares y 6 pobres. Adicional al implementar “Recapeo” se nota una mejora significativa del pavimento en los 10 años de proyección del estado del pavimento, teniendo como resultado 14 pavimentos en excelente estado, 7 muy bueno, 1 bueno, 1 regular y 2 pobres.

Gracias al SIG se pudo presentar de manera técnica y ordenada por medio de visualización cartográfica mostrando los resultados tanto de la condición del pavimento, los procesos de intervención y orden de jerarquización de vías a intervenir.



1. M. Macea et al, «Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo,» Ingeniería , investigación y tecnología, pp. 223- 236, 2016.
2. Peñaloza y Calle, Sistema de Gestión Sostenible de Pavimentos aplicados a las vías y parqueaderos de la Universidad de Cuenca, Cuenca, 2017.
3. Silva-Balaguer, Daza-Leguizamón y Lopez-Valiente, «Gestión de pavimentos basado en sistema de información geográfica,» Ingeniería solidaria, vol. 14, nº 26, p. 18, 2018.
4. Montoya-Alcaraz, Mungaray-Moctezuma y García, «Sustainable road maintenance planning in developing countries based on pavement management systems: Case study in Baja California, México,» Sustainability, vol. 12, nº 36, pp. 1-14, 2019.
5. Al-Mansoori, Abdalkadhum y Al-Husainy, «A GIS- enhanced pavement management system: A case study in Iraq,» Journal of Engineering Science and Technology, vol. 15, nº 4, pp. 2639-2648, 2020.
6. Bazlamit, Hesham y Al-Suleiman, «Pavement maintenance applications using Geographic Information Systems,» Procedia Engineering, 2019.
7. Hadidi, Naghawi, A. Kilany y A. Sharief, «Utilizing Geographic Information System as a tool for pavement management system. International Journal of Applied Mathematics,» Electronics and Computers, vol. 4(4), pp. 96-100., 2016.
8. Guzmán y Mogrovejo, «Gestión sostenible del pavimento flexible, rígido y articulado del centro urbano del Cantón Girón,» 2017.
9. American Section Of The International Association For Testing Materials, «Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys,» VTIL, Virginia, s.f.
10. Headquarters, Department of the Army, «UNSURFACED ROAD MAINTENANCE,» DIU, Washington DC, 1995.
11. Elhadidy, Badawy y Elbeltagi, «A simplified pavement condition index regression model for pavement evaluation,» International Journal of Pavement Engineering, 2019.
12. Baque, «Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí,» Dominio de la Ciencia, pp. 204 - 2028, 2020.
13. Idrovo, «Gestión sostenible del pavimento rígido y flexible de las principales calles de la cabecera cantonal de Biblián – provincia del Cañar,» 2022.
14. González, Ruiz y Guerrero, Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el índice de condición de pavimentos (PCI), 2020.
15. Becerra y Sánchez, Evaluación de la condición del pavimento del sector del valle y su marco sostenible, Cuenca, 2018.
16. Quispe y Senitagoya, «Comparación de las Metodologías URCI Y VIZIRET para la confiabilidad de la metodología en vías no pavimentadas,» 2021.
17. J. C. Bedoya y M. Barrera, «Convergencia de las cadenas de Márkov,» UTP ISSN, Pereira, 2006.
18. Rimac y Rodriguez, «Sistema de Gestión de pavimentos basado en el modelo Estocástico Probabilístico para la asignación de los recursos económicos destinados a la conservación de pavimentos en la carretera Conococha - Huarza, 2018,» 2019.
19. D. M. Apolo, Diseño de un sistema de gestión de infraestructura vial sustentable en la municipalidad de Gualaceo, Cuenca: FICIV, 2018.
20. Ochoa y Tupac, «Optimización de recursos económicos en la conservación de pavimentos rurales de tercera clase utilizando un Sistema de Gestión de Pavimentos basado en el método Estocástico- Probabilístico,» 2017.
21. Taha, Investigación de Operaciones, Mexico: Novena Edición, 2012.
22. Carpio, «Sistema Institucional para la gestión de estrategias de planificación y conservación de caminos rurales en la provincia del Azuay,» Cuenca, 2017.
23. Silva y Gualdrón, Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles basado en Sistema de Información Geográfica, 2017.
24. Ángulo, Sistema de Gestión De Pavimentos utilizando el software ARCGIS para la conservación de pavimentos de las vías locales principales del distrito de los Baños del Inca – Cajamarca, 2019.