

Artículo de Investigación

Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro

Effects of initial data variability on pavement condition index and prediction of pavement deterioration

Alexis Andrade ^{1*}, Gabriela Castillo ², Cristian Chacater ²

¹ Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 46022

² Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060108;

gcastillo.fic@unach.edu.ec; cgchacater.fic@unach.edu.ec

*Correspondencia: alaniv@doctor.upv.es

Citación: Andrade, A., Castillo, G., & Chacater, C., (2021). Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro. *Novasinerгия*. 4(1). 102-114.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.07.06>

Recibido: 22 octubre 2020

Aceptado: 15 enero 2021

Publicado: 01 junio 2021

Novasinerгия
ISSN: 2631-2654

Resumen: El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la variabilidad de los datos tomados en campo para la determinación del índice de condición de pavimento (PCI) y la predicción de su deterioro, a través del coeficiente de variación de Pearson. Existen varias investigaciones que comparan los métodos de evaluación de condición de pavimentos y aplican modelos de predicción de deterioro, sin considerar la subjetividad existente en la toma de datos en campo y su influencia en sus resultados. Para cumplir con el objetivo se elaboró una herramienta de evaluación en campo, que sigue los lineamientos de la metodología PCI con el propósito de recopilar datos para evaluar la variabilidad de resultados se utilizó la técnica doble ciego aplicado a 20 expertos. En el procesamiento y posterior interpretación de datos se encontró los efectos que producen la variabilidad de toma de datos en los resultados de la evaluación de pavimento y en el modelo de predicción. Al evaluar los resultados del método se encontró que el factor que influye en la existencia de variabilidad es el número de daños del pavimento (19 daños) y mediante un proceso analítico jerárquico (AHP) utilizando criterios como la frecuencia con la que se encuentra cada daño, el grado de afectación y el porcentaje de cada daño encontrado. Los resultados de la ponderación realizada en base al criterio de expertos permitieron reducir el número de daños a 9 más representativos y de esta manera reducir los efectos de la variabilidad de los datos tomados en campo.

Palabras clave: Autopistas y carreteras, deterioro de pavimentos flexibles, evaluación de pavimentos, gestión de pavimentos, ingeniería de transporte, mantenimiento de pavimentos, pavimentos urbanos, proceso jerárquico de análisis, toma de decisiones.

Abstract: This study's objective was to evaluate the effects of the variability of the data collected in the field for the determination of the pavement condition index (PCI) and the prediction of its deterioration through Pearson's coefficient of variation. Several investigations compare pavement condition assessment methods and apply deterioration prediction models without considering the existing subjectivity in the field data collection and its influence on their results. A field evaluation tool was developed following the PCI methodology guidelines to collect data and evaluate the variability of results using the double-blind technique applied to 20 experts. In the processing and subsequent interpretation of data, the effects produced by the variability of data collection in the results of the pavement evaluation and in the prediction model were found. When evaluating the method's results, it was found that the factor that influences the existence of variability is the number of pavement damages (19 damages). A hierarchical analytical process (AHP) uses criteria such as the frequency with which each damage is found, the degree of affectation, and the percentage of each damage found. The weighting results based on expert criteria made it possible to reduce the number of damages to 9 more representative ones and thus reduce the effects of the variability of the data taken in the field.

Keywords: Analytic hierarchy process, decision making, flexible pavement deterioration, highways and roads, pavement evaluation, pavement maintenance, pavement management, transportation engineering, urban pavements.



Copyright: 2021 derechos otorgados por los autores a Novasinerгия. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

La red vial es uno de los mayores bienes de un país, comunidad o ciudad. Además, proporciona una base fundamental para el crecimiento y desarrollo, dotando de amplios beneficios económicos y sociales (Espinoza, 2018). Las carreteras son un patrimonio nacional importante que requieren conservación para mantenerlas en condiciones satisfactorias para el usuario (Moreno *et al.*, 2018). La conservación de pavimentos se define como las actividades orientadas a mantener y brindar las carreteras en buen estado funcional usando métodos para evaluar el deterioro del pavimento (Ayala, 2013). Existen varias metodologías que a través de varios índices realizan la evaluación de la condición de pavimentos entre ellos están VIZIR, PCI, PASER, IRI, CRT, PSI, PQI, PDI, entre otros. No todas las metodologías manejan un mismo proceso, varias se basan en análisis visual *in situ* a la estructura del pavimento, mientras que otros necesitan equipos específicos de medición (Andrade, 2018).

Países como Ecuador (Ayala, 2013), Colombia (Sierra & Rivas, 2009), Chile (Ramírez, 2010), Estados Unidos (ASTM, 2004), España (Andrade, 2018) realizaron investigaciones utilizando el método PCI considerándolo como el método más importante a nivel mundial. Analizando que uno de los problemas no es número de métodos que existen para la evaluación de la condición del pavimento sino la variabilidad de resultados en la toma de datos en campo por parte de los inspectores que realizan la evaluación visual, pues la valoración del daño *in situ* será siempre decisión de la persona encargada en la evaluación (Andrade & Brito, 2017). Este tipo de factores influirán de forma directa en los modelos de predicción de deterioro del pavimento como los utilizados en investigaciones relacionadas con mejora en la gestión del pavimento por Osorio-Lird, Chamorro, Videla, Tighe, & Torres-Machi (2018) y Andrade (2018).

La metodología PCI es conocida como la más completa para la evaluación y calificación de pavimentos flexibles en la actualidad. Al haber una variada cantidad de combinaciones, este método utiliza factores de ponderación a los que conocemos como “valores deducidos”, así indica en qué grado afecta la condición del pavimento de acuerdo con cada combinación de deterioro, nivel de severidad (alto, medio y bajo) y densidad. Es decir, en esta metodología se establecen los resultados de una descripción visual en el cual se obtienen clase, severidad y cantidad que representan el estado en el que se encuentra el pavimento. Cualquier método de evaluación de deterioro que omita uno de estos tres factores, no proporcionará la información suficiente para establecer un criterio apropiado sobre el estado del pavimento (NEVI - 12, 2013).

Hay que tener en cuenta que la mayor deficiencia que posee el método PCI es la evaluación realizada en campo por parte de los inspectores, ya que al ser subjetiva dependerá en su mayor parte de la decisión de la persona encargada de la evaluación (Andrade & Brito, 2017). Sin embargo, no existe un juicio universal para la valoración de cada uno de los factores que interviene en la evaluación, por tal razón se presentan diferencias, en ocasiones importantes entre los criterios adoptados por una u otra persona (NEVI - 12, 2013).

También se han implementado modelos de predicción de deterioro de pavimentos como parte de los sistemas de gestión. Varias son las investigaciones que han buscado identificar un modelo completo que brinde resultados reales (Andrade, 2018). Haas, Hudson, y Zaniewski en (1994) describieron varios enfoques para la predicción del deterioro del pavimento y los categorizan en: subjetivo, puramente mecanicistas, empíricos mecanicistas y de regresión. Los anteriores enfoques se agrupan a su vez en dos clases deterministas y probabilísticos (Robinson, Danielson, & Snaith, 1998).

Después de una revisión de los distintos modelos de predicción George, Rajagopal, y Lim (1989) diseñan un modelo mecánico – empirista, basado en datos sistemáticos, en los que se ubican la información estructural, el volumen de tráfico, y la edad, tanto para pavimentos flexibles sin recubrimiento, pavimentos flexibles con recubrimientos y pavimentos compuestos. El modelo que mejor se ajusta para la predicción del rendimiento del pavimento flexible se presenta en la ecuación 1, que considera los factores más importantes para determinar la edad teórica del pavimento:

$$PCR_{(t)} = 90 - a[\exp(Age^b) - 1] \log \left[\frac{ESAL}{SNC^c} \right] \tag{1}$$

Dónde:

PCR = Calificación de la condición de pavimento que es equivalente al PCI

Age = Representa la edad.

ESAL = Volumen de tráfico y el peso expresado en términos de cargas equivalentes a un solo eje.

SNC = Número estructural modificado que es equivalente al SN.

Por lo hasta aquí mencionado, esta investigación se orienta a evaluar los efectos de la variabilidad de toma de datos en campo, su influencia en la metodología PCI y modelos de deterioro del pavimento; siendo necesario obtener el criterio de varios expertos, quienes a través de su experiencia validaron la metodología PCI en campo y ponderaron la importancia de los daños del pavimento para su optimización, esto disminuirá la subjetividad existente, permitiendo generar modelos de predicción de deterioro mas precisos que ayudará a realizar una gestión adecuada del mantenimiento del pavimento y así preservar su vida útil.

2. Metodología

A continuación, se muestra el flujo de actividades y de trabajo desarrollado para cumplir con los objetivos de la investigación en la figura 1, una vez localizado el problema de investigación, se evaluó a través del método PCI la condición de pavimento de vías en las cuales se ha realizado los diversos tipos de mantenimiento vial en ciudad de Riobamba, se aplicó modelos de predicción de deterioro a la muestra estudiada, para el doble ciego se buscó expertos en el área de mantenimiento vial. Estos expertos evaluaron de manera individual in situ cada vía y ponderaron el nivel de importancia de los daños del pavimento.

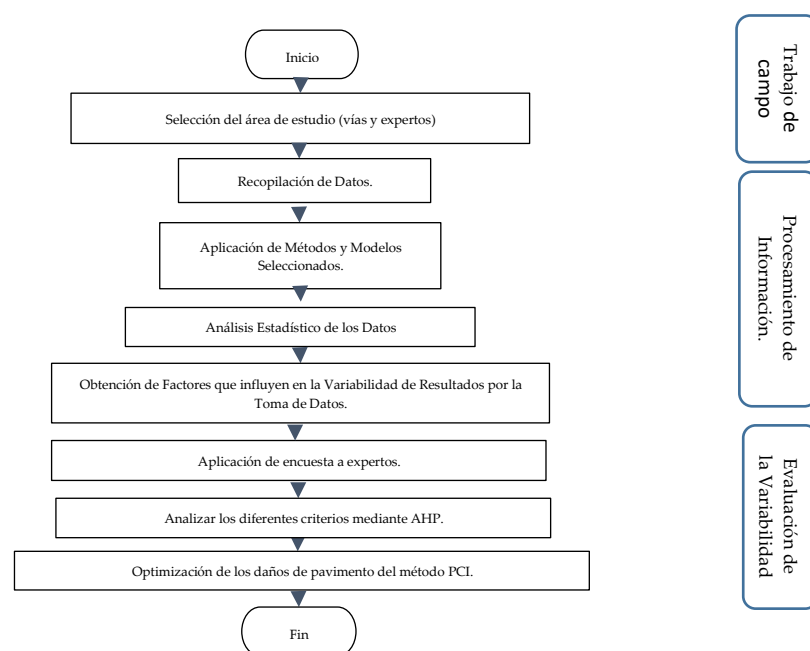


Figura 1: Flujo de actividades y de trabajo desarrollas para lograr los objetivos de este estudio.

De esta manera se adquirieron los datos necesarios para ser procesados y posteriormente analizados estadísticamente, así se obtuvieron los factores que influyen en la variabilidad de resultados. Se utilizó además el Proceso Analítico Jerárquico para priorizar los daños y plantear soluciones.

2.1. Trabajo de campo

2.1.1. Selección del área de estudio

La población está basada en los datos proporcionados por el GADM de Riobamba en cuanto a la existencia del número de vías pavimentadas de acuerdo con la clasificación del Libro IV de las Normas de Arquitectura, Urbanismo y Construcción Final del Código Urbano. Para esto se tomó una muestra estratificada dividiéndola en dos estratos: para el primer, se agruparon como población las vías Expresa, Arterial A, Arterial B y Colectora, utilizando la ecuación 2 con una probabilidad de éxito de 0.50 y de fracaso de 0.50, se obtuvo un total de 35.41 km de pavimento flexible.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (2)$$

Dónde: N = tamaño de la población

Z_{α} = cuantil de la normal estándar al nivel de confianza de α en porcentaje

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción).

Para el segundo estrato se utilizó de igual manera la ecuación 2 variando los datos de la probabilidad de éxito a 0.95 y de la probabilidad de fracaso a 0.05, debido a que las vías presentan características muy similares por pertenecer al mismo tipo de clasificación (Local) y por ende su margen de error es menor, es así que el tamaño de la población para la segunda parte cambia a 11.82 km asfaltados con pavimento flexible. De esta manera el total obtenido en el cálculo de la muestra es de 47.22 km de vías a evaluar por los métodos seleccionados. Se utilizó un 90% en el nivel de confianza y el 10% como margen de error.

2.1.2. Selección de vías

Se seleccionaron las vías Ayacucho, Pedro de Alvarado y la Av. Juan Feliz Proaño en base al tipo de intervención realizado en ellas (Mantenimiento Correctivo, Reconstrucción y Sin Intervención respectivamente); estas fueron evaluadas técnicamente por Ingenieros Civiles con conocimientos de mantenimiento vial.

2.1.3. Selección de los expertos

La población para definir el tamaño de muestra está conformada por el número de técnicos existentes en la provincia de Chimborazo encargados del mantenimiento vial dentro de los diferentes GADs Municipales, Consejo Provincial y Ministerio de Transportes y Obras Públicas de la provincia de Chimborazo. Se cuenta con 28 encargados a nivel provincial, y utilizando la ecuación 2 con una probabilidad de éxito y fracaso al 50%, se obtuvo un tamaño de muestra de 20 evaluadores. Se utilizó un 90% en el nivel de confianza y el 10% como margen de error. Quienes fueron los encargados de realizar la una evaluación de campo mediante la metodología PCI en las 3 vías seleccionadas según su tipo de mantenimiento y posterior ponderación del nivel de importancia de los daños del pavimento según el método PCI.

2.1.4. Recopilación de datos

Mediante la técnica doble ciego se generó una base de datos, que consta del estado actual de las vías y la cantidad de daños que existen en estas; con los métodos seleccionados por la encuesta.

2.2. *Procesamiento de información*

A través del método PCI se evaluó la condición del estado actual de las vías, estas fueron seleccionadas según el tipo de rehabilitación que han recibido desde que fueron puestas en operación, los criterios de consideración para definir el estado de la vía son de 10-25 muy mala, de 25-40 mala, de 40 a 55 regular, de 55 a 70 buena, de 70 a 85 muy buena y de 85 a 100 excelente; también se aplicó el modelo de predicción de George *et al.*, (1989) para obtener las edades teóricas según el estado actual de las vías de acuerdo con los criterios de cada evaluador.

2.3. *Evaluación de la variabilidad*

Los datos fueron comparados entre sí mediante el coeficiente de variación de Pearson permitiendo evaluar si en los resultados existe variabilidad o no. Para considerar que estos valores son estadísticamente variables u heterogéneos deben ser mayores a 0.30 o 30% ya que para este tipo de investigaciones experimentales se toma esta condición como aceptable. Si el coeficiente es menor a la condición planteada anteriormente los resultados se consideran estadísticamente no variables u homogéneos.

El AHP nos ayudó a evaluar los factores o criterios que intervienen en la variabilidad. Los criterios de decisión que se tomaron para el análisis del método son los factores que influyen en la toma de datos. Estos deben ser ponderados y para ello se utilizó la escala de comparación pareada. Se creó una matriz situando los criterios tanto en fila como en columna comparándolos entre sí en función de su importancia de uno con respecto al otro, como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1: Criterios de decisión para el análisis del proceso jerárquico.

	Reincidencia	Valor Deducido	Área
Reincidencia	1	1/7	1/5
Valor Deducido	7	1	1
Área	5	1	1

Una vez ponderados los criterios, se procede a construir matrices de comparación pareada con las alternativas planteadas en función de cada criterio. Se calcularon los vectores propios de cada una de estas matrices.

La decisión se tomó en función de la importancia de los criterios, para ello se formó la matriz de vectores propios de alternativas por criterio y se multiplicó por el vector propio de la ponderación de los criterios. El resultado es un nuevo vector que indica el peso de cada alternativa.

Siendo el número de daños uno de los factores de mayor predominancia en la influencia de los efectos de la variabilidad de toma de datos, se realizó un AHP como se muestra en la figura 2, según 3 criterios, el primero "la reincidencia" que se refiere a la frecuencia con la que se encuentran presente los daños en las vías de la zona urbana de Riobamba, el segundo "el valor deducido" que es decir el grado de afectación y el tercero el "área de afectación en la vía". Las alternativas a usar fueron los 19 daños de pavimento presentados por el método PCI.

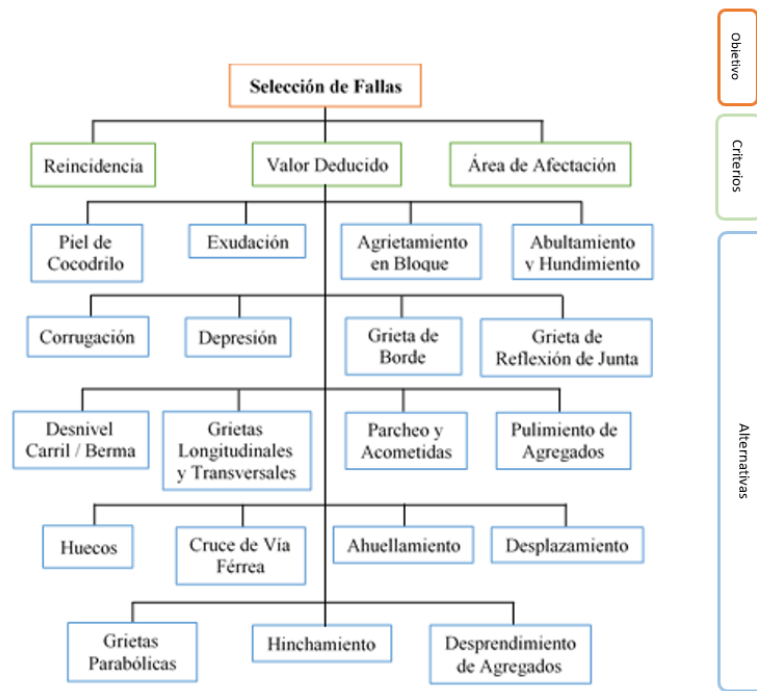


Figura 2: Proceso analítico jerárquico para la selección de daños en el pavimento más representativos.

3. Resultados

3.1. Aplicación de la metodología PCI.

3.1.1. Vía 1: Ayacucho (Reconstruida)

Al ser la calle Ayacucho una vía reconstruida con una edad de 2 años no posee una cantidad considerable de daño en el pavimento, por lo que la identificación de estas no se vuelve complicada, es así que no existe una variabilidad estadística en sus resultados, como lo demuestra la figura 3 y con el coeficiente de Variación de Pearson con un valor de 0.08 o 8% indicándonos que la variabilidad existente es homogénea.

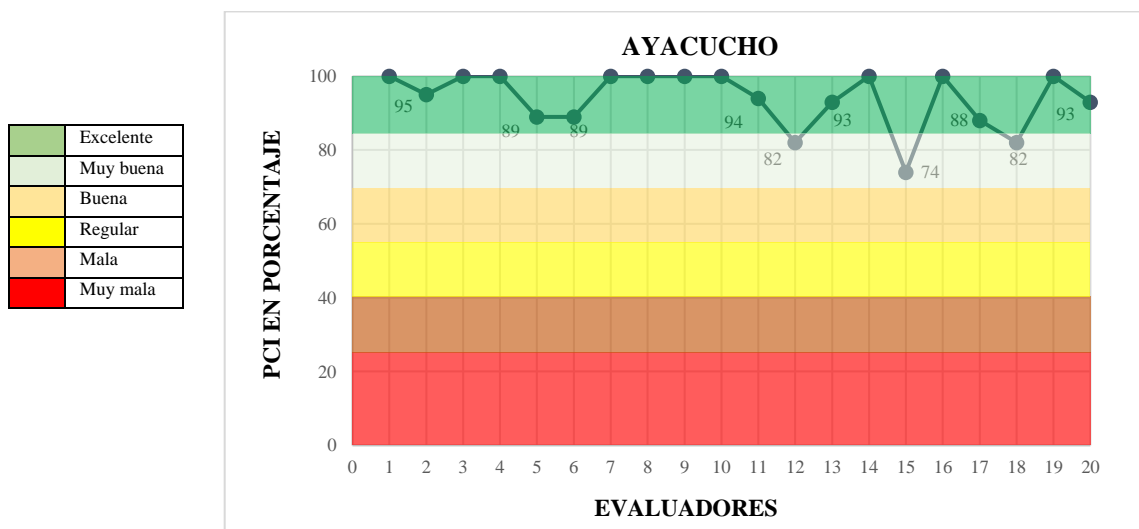


Figura 3: Resultados de la metodología de evaluación “Índice de condición del Pavimento” para la vía Ayacucho.

3.1.2. *Vía 2: Pedro de Alvarado (Mantenimiento Correctivo)*

La vía Pedro de Alvarado cuenta con 27 años de vida y ha estado sujeta a mantenimientos correctivos esporádicos, por lo que presenta una cantidad de daño en el pavimento considerable. Se puede observar en la figura 4 y en su coeficiente de variación de Pearson del 40% que supera el 30% indicando que existe variabilidad no homogénea.

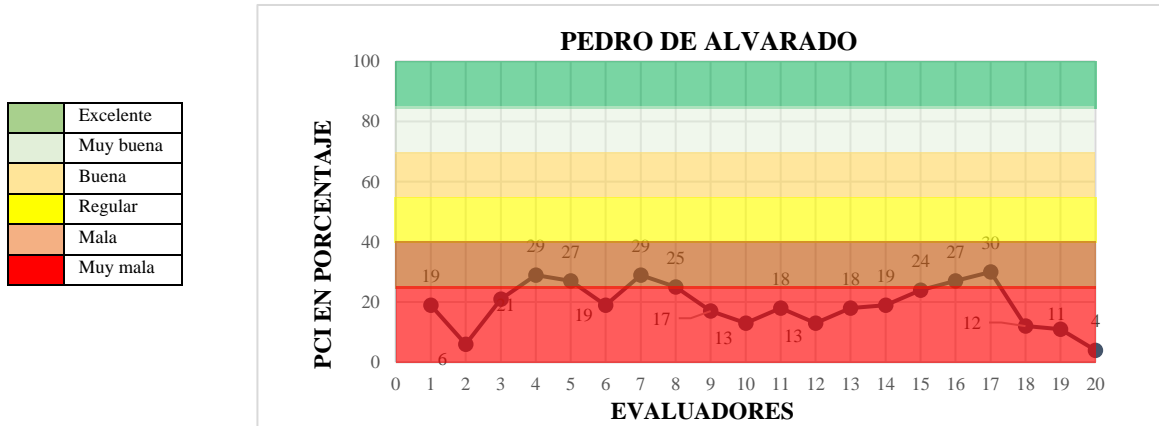


Figura 4: Resultados de la metodología de evaluación “Índice de condición del Pavimento” para la vía Pedro de Alvarado.

3.1.3. *Vía 3: Av. Juan Félix Proaño (Sin Intervención)*

Con más de 20 años de vida la Av. Juan Félix Proaño no ha recibido intervención de ningún tipo por lo tanto existe una gran variedad de daños en el pavimento lo que dificulta su evaluación. El cálculo del coeficiente de variación de Pearson resultó en un 49% demostrando que la variabilidad no es homogénea como se evidencia en la figura 5.

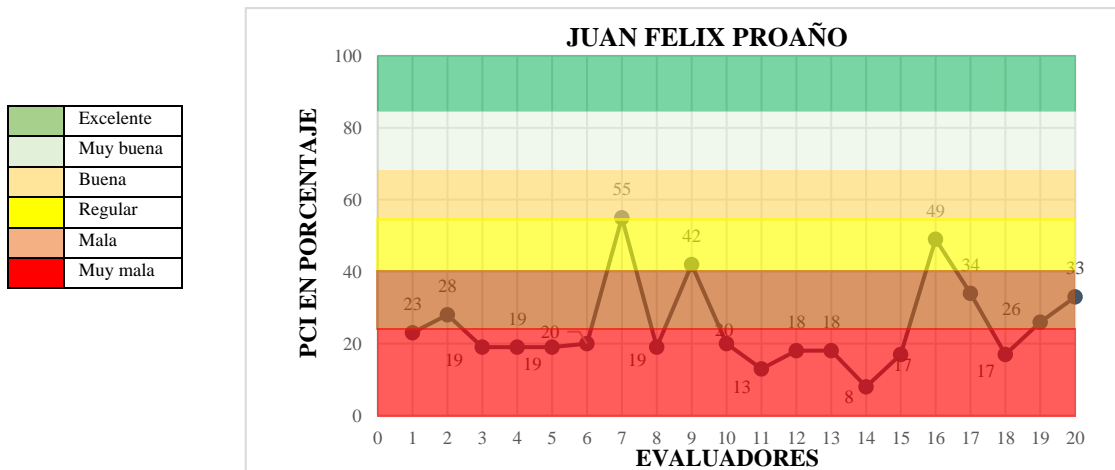


Figura 5: Resultados de la metodología de evaluación “Índice de condición del Pavimento” para la vía Juan Félix Proaño.

3.2. *Aplicación del modelo de predicción de deterioro*

3.2.1. *Vía 1: Ayacucho (Reconstruida)*

El coeficiente de variación de la vía Ayacucho dio como resultado un 257% dando a entender que la dispersión es alta, tal y como se puede observar en la figura 6, por lo tanto, la variabilidad existente en los resultados de esta vía no es homogénea.

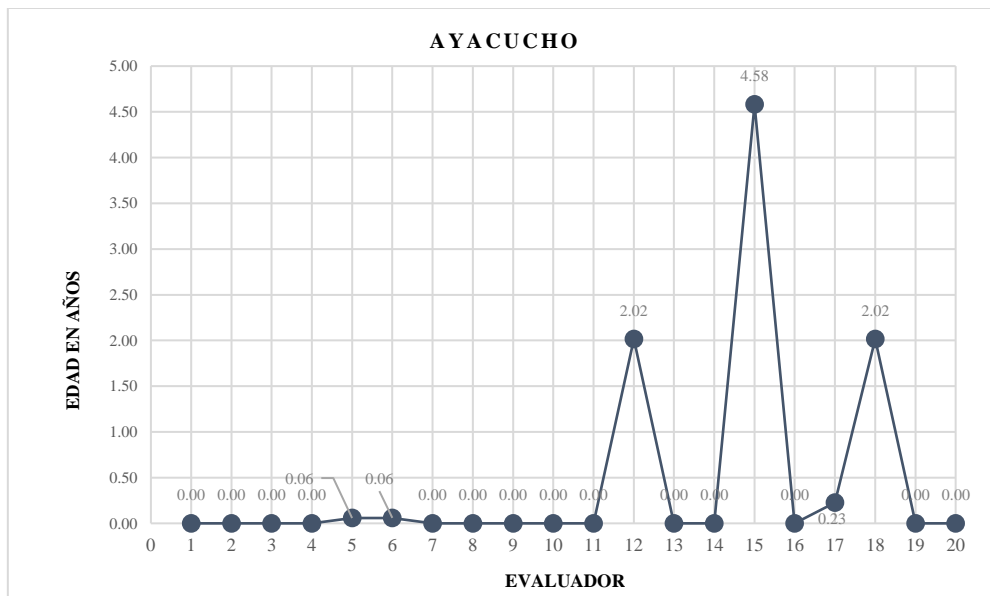


Figura 6: Resultados del modelo de predicción para la edad teórica de la vía Ayacucho.

3.2.2. Vía 2: Pedro de Alvarado (Mantenimiento Correctivo)

La vía Pedro de Alvarado posee un coeficiente de variación del 7% con el que se puede evidenciar que existe una variabilidad homogénea en los resultados. En la figura 7 se puede visualizar la gráfica de la edad teórica para esta vía.

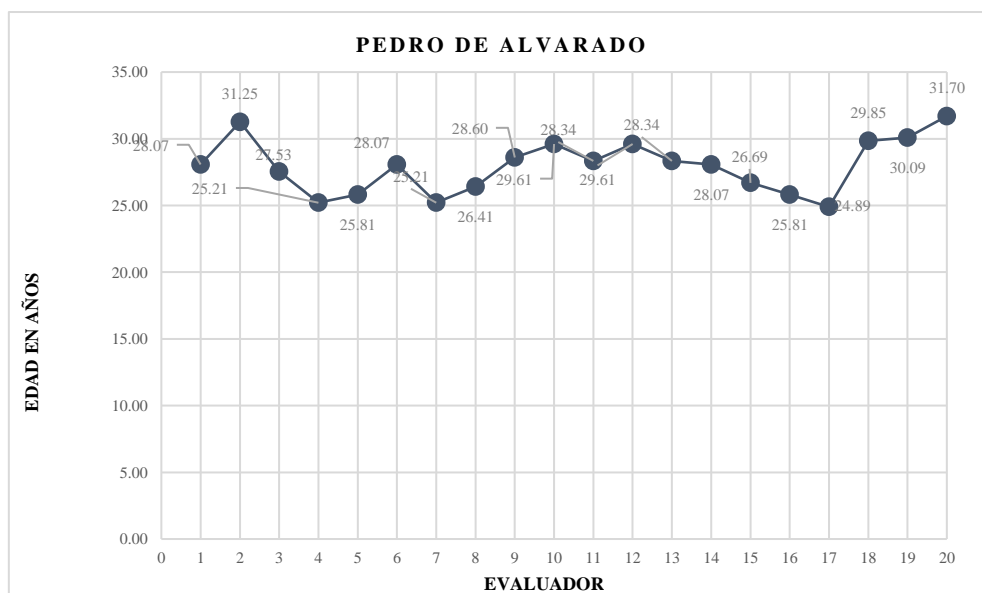


Figura 7: Resultados del modelo de predicción para la edad teórica de la vía Pedro de Alvarado.

3.2.3. Vía 3: Av. Juan Félix Proaño (Sin Intervención)

Los resultados que se visualizan en la figura 8 y el coeficiente de variación de Pearson del 15% en la Av. Juan Félix Proaño demuestra que la edad teórica para esta vía se encuentra dentro de una variabilidad homogénea,

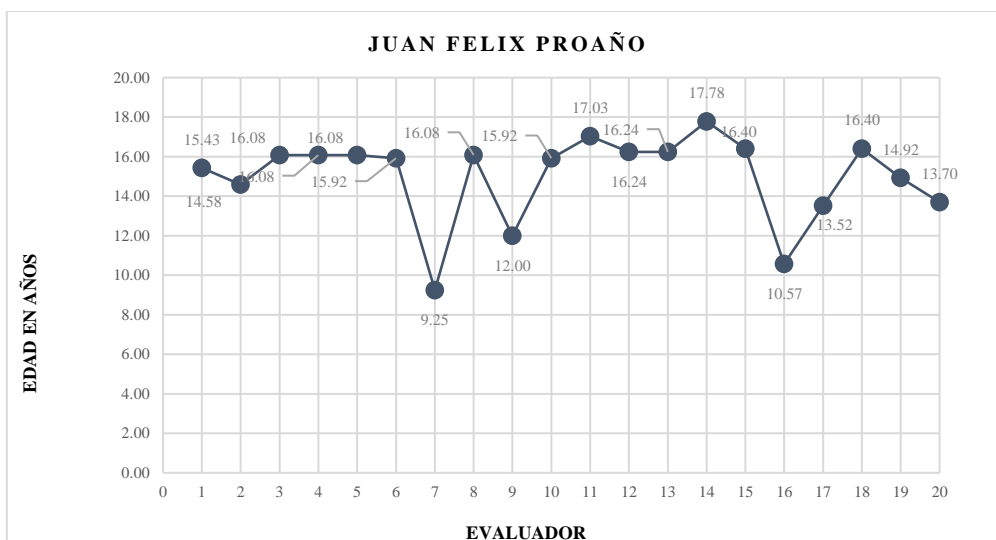


Figura 8: Resultados del modelo de predicción para la edad teórica de la vía Juan Félix Proaño.

3.3. Ponderación por expertos de los daños que mayormente afectan al deterioro del pavimento.

Siendo el número de daños que se evalúan para determinar la condición del pavimento uno de los factores de mayor predominancia (80%) en la influencia de la variabilidad de resultados, se realizó el AHP como se muestra en la figura 2, según los criterios de reincidencia que se refiere a la frecuencia con la que se encuentran los daños del pavimento en la zona urbana de Riobamba, el valor deducido es decir su grado de afectación y el área de afectación que es donde se encuentra contenido el daño. Las alternativas a usar fueron los daños del pavimento presentadas por la metodología PCI. Este proceso fue utilizado para seleccionar los daños del pavimento más representativas en el área urbana, en base al resultado de la multiplicación de la matriz formada por los vectores propios de alternativas por criterio y por el vector propio de la ponderación de los criterios, mistando cuales tienen mayor importancia para un estudio más detallado en campo, buscando de esta manera disminuir la cantidad de unidades de análisis y a su vez reducir la variabilidad de resultados por la toma de datos en la aplicación de la metodología de evaluación PCI, como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2: Resultado de la jerarquización de daños del pavimento.

Orden Jerárquico	Daños del pavimento	Resultado	
		Valor	Porcentaje, %
1	Piel de Cocodrilo	0.1288	12.88
2	Huecos	0.1012	10.12
3	Parcheo	0.0979	9.79
4	Ahuellamiento	0.0797	7.97
5	Grieta Longitudinal y Transversal	0.0740	7.40
6	Agrietamiento en Bloque	0.0691	6.91
7	Corrugación	0.0678	6.78
8	Abultamiento y Hundimiento	0.0513	5.13
9	Desprendimiento de Agregados	0.0496	4.96
10	Depresión	0.0458	4.58
11	Grieta de Borde	0.0415	4.15
12	Desplazamiento	0.0403	4.03
13	Hinchamiento	0.0363	3.63
14	Cruce de Vía Férrea	0.0317	3.17
15	Pulimiento de Agregados	0.0208	2.08
16	Grieta Parabólica	0.0206	2.06
17	Grieta de Reflexión de Junta	0.0177	1.77
18	Desnivel Carril / Berma	0.0136	1.36
19	Exudación	0.0121	1.21

En la tabla 3 se puede observar los por porcentajes de influencia que tienen los daños del pavimento, categorizándolos en función de la mayor penalización que se da a la vía.

Tabla 3: Observación de los Evaluadores.

Orden Jerárquico	Daños del pavimento	Resultado, %
1	Piel de Cocodrilo	100
2	Parcheo	85
3	Agrietamiento en Bloque	75
4	Huecos	70
5	Pulimiento de Agregados	60
6	Grieta Longitudinal y Transversal	40
7	Desprendimiento de Agregados	20
8	Abultamiento y Hundimiento	15
9	Corrugación	10
10	Hinchamiento	10
11	Exudación	5
12	Depresión	5
13	Grieta de Borde	5
14	Grieta de Reflexión de Junta	0
15	Desnivel Carril / Berma	0
16	Cruce de Vía Férrea	0
17	Ahuellamiento	0
18	Desplazamiento	0
19	Grieta Parabólica	0

Posterior a esto en la tabla 4 se muestran los daños más representativos en función del análisis multicriterio de expertos, para la evaluación en zonas urbanas únicamente se ha especificado el análisis 9 de los 19 daños existentes en el pavimento, ya que son los que penalizan mayormente la condición del pavimento, los mismo al momento de aplicarse la metodología PCI se debe estudiarse con mayor detalle tanto en campo como en el procesamiento de información.

Tabla 4: Daños del pavimento seleccionados para evaluar al área urbana.

Orden Jerárquico	Daños del pavimento	AHP, %	Evaluadores, %
1	Piel de Cocodrilo	12.88	100
2	Huecos	10.12	85
3	Parcheo	9.79	75
4	Ahuellamiento	7.97	70
5	Grieta Longitudinal y Transversal	7.40	60
6	Agrietamiento en Bloque	6.91	40
7	Corrugación	6.78	20
8	Abultamiento y Hundimiento	5.13	15
9	Desprendimiento de Agregados	4.96	10

4. Discusión

Se encontró que existe una variabilidad considerable entre los resultados de la metodología de evaluación de pavimentos PCI y los modelos de predicción de deterioro, mostrando que la diferencia de cada evaluador se da debido a que la metodología PCI es subjetiva, ya que depende de diversas variables como la experiencia de quien toma los datos, la observación que se da en campo y el procesamiento de la información a través de los ábacos propuestos por la metodología; es decir depende del criterio que posea cada evaluador en el momento de la toma de datos y su procesamiento, mientras que el modelo matemático se basa en datos sistemáticos que me ayudan a predecir cual será la edad que tendrá el pavimento en el tiempo, y considera como variables para su aplicación la información estructural, el volumen de tráfico, y la edad que posee el pavimento.

La metodología PCI propone 19 daños de pavimento a ser analizados, pero a través de la ponderación de expertos en función de los criterios de análisis, para la zona urbana únicamente se deben considerar los 9 más representativos, ya que son quienes penalizan mayormente el índice de condición de pavimento, y al puntualizar un mayor estudio de estos 9 daños tanto en campo como en el procesamiento de información se generará menos pérdida de información y mayor objetividad en la toma de datos y posterior definición de la condición del pavimento.

Se propone para futuras investigaciones una mejora de la metodología desde el proceso de la toma de datos y procesamiento de los mismos en estos 9 daños del pavimento, ya que de momento en campo se lo hace de manera visual y en el proceso de información se lo realiza a través de ábacos que propone la metodología PCI, y estos están sujetos a criterios de cada evaluador.

5. Conclusiones

Del análisis de los resultados de las 3 vías seleccionadas para evaluación del estado del pavimento, se obtuvo una variabilidad significativa en 2 de ellas, en el que su coeficiente de variación supero al 30%. Estas vías son las que presentan un mayor número de daños del pavimento en su carpeta asfáltica, dándonos un indicio de que este es un factor que puede influir en la toma de datos.

Los evaluadores coinciden con que el factor que predomina en la variabilidad de resultados por la toma de datos es el número de daños del pavimento presentados por la metodología utilizada, debido a que el área urbana no presenta las características necesarias para la existencia de todas ellas.

Con respecto a la evaluación de la variabilidad en el modelo se puede evidenciar que una existe variabilidad homogénea, debido a que el coeficiente de Pearson calculado para cada vía con respecto a su edad es menor al 30%, a excepción de la vía reconstruida, en la que sus datos nos indican que su variabilidad no es homogénea.

Mediante el AHP, se logró priorizar los distintos daños del pavimento en base a criterios como Reincidencia, Valor Deducido y Área de Afectación y así seleccionar 9 de estas que son las más significativas: Piel de Cocodrilo, Huecos, Parcheo, Ahuellamiento, Grieta Longitudinal y Transversal, Agrietamiento en Bloque, Corrugación, Abultamiento y Hundimiento, y Desprendimiento de Agregados. Estos daños coinciden con el criterio de selección proporcionado por los evaluadores en la herramienta de evaluación.

Cabe recalcar que el Ahuellamiento no puede ser excluido de la selección de daños ya que su valor deducido afecta de manera importante al cálculo de la condición de la vía debido a que es necesario que esté presente en tan solo el 1% del área a evaluar en una severidad leve para el estado de la vía disminuya significativamente.

Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Andrade, A.	Castillo, G.	Chacater, C.
Conceptualización			
Análisis formal			
Investigación			
Metodología			
Recursos			
Validación			
Redacción - revisión y edición			

Conflictos de Interés

Los autores declaran que han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.

Agradecimiento

Los autores agradecen a los expertos encargados de validarla el estudio realizado en base a varios años dedicados a la investigación, diseño de vías y su mantenimiento.

Referencias

- Andrade, A. (2018). *Mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro* (Trabajo de Fin de Máster). Valencia España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115994/01_Memoria.pdf?sequence=1
- Andrade, A., & Brito, J. (2017). *Curvas de deducción del índice de condición del pavimento enfocadas a Ecuador basados en el índice de servicio de pavimento* (Trabajo de Titulación). Riobamba Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3752/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2017-0017.pdf>
- ASTM D 53240. (2004). *Índice de condición de pavimentos en aeropuertos* (ASTM 53240). Recuperado de https://alacpa.org/index_archivos/ASTMD5340-MetCalc-PCI-espRev0.pdf
- Ávila, S. (2015). *Empleo de sistemas de calidad en empresas constructoras de Guayaquil - Ecuador* (Máster Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil). Valencia España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/51740/MEMORIA_SAvila_TFM.pdf
- Ayala, P. (2013). *Evaluación no destructiva de pavimentos mediante el georadar (Espesores de estructura) con aplicación en las vías urbanas de Quito* (Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil). Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2221/1/T-UCE-0011-76.pdf>
- Espinoza, P. (2018). *Desarrollo de una herramienta de toma de decisiones para la gestión del mantenimiento de pavimentos bajo criterios de sostenibilidad. Aplicación a la red vial urbana de la ciudad de Valencia* (Máster Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115993/01_Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- George, K. P., Rajagopal, A. S., & Lim, L. K. (1989). *Models for predicting pavement deterioration* (Report No. 1215). Washington DC, USA: Transportation Research Board. Recuperado de

<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1989/1215/1215-001.pdf>

- Guevara, L.A. (2009). *Modelo de mantenimiento vial que permita desarrollar planes de conservación en la capa de rodadura para vías inter parroquiales de la provincia de Tungurahua* (Tesis de Grado previo a la obtención del Título de Magíster). Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2198/1/Mestr%C3%ADa%20V.%20T.%2059%20-%20Guevara%20Rodr%C3%ADguez%20Luis%20An%C3%ADbal.pdf>
- Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. P. (1994). *Modern Pavement Management*. Melbourne, FL, USA : Krieger Publishing Company. Recuperado de <https://trid.trb.org/view/388787>
- Moreno, L., Parrales, G., Cobos, D., Cordero, M., Peralta, J., Ponce, F., & Baque, B. (2018). *Mantenimiento y conservación de carreteras: Tomo II*. Alicante, España: 3Ciencias Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L. <http://dx.doi.org/10.17993/IngyTec.2018.28>
- NEVI - 12. (2013). *Conservación Vial* (Norma Ecuatoriana Vial Nevi-12 – MTOP), Ecuador. Recuperado de http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_6.pdf
- Osorio-Lird, A., Chamorro, A., Videla, C., Tighe, S., & Torres-Machi, C. (2018). Application of Markov chains and Monte Carlo simulations for developing pavement performance models for urban network management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(9), 1169–1181. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1402064>
- Ramírez, L. F. (2010). *Análisis de los métodos PCI y Manvsimp en la gestión de pavimentos de calzadas urbanas de Chile. Aplicación en algunas vías de la comuna de Providencia* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103654>
- Robinson, R., Danielson, U., & Snaith, M. (1998). *Road Maintenance Management - Concepts and Systems*. Basingstoke, Hampshire UK: Macmillan Press Limited. Recuperado de <https://trid.trb.org/view/536844>
- Sierra, C., & Rivas, A. (2016). *Aplicación y Comparación de las Diferentes Metodologías de Diagnostico para la Conservación y Mantenimiento Del Tramo Pr 00+000 – Pr 01+020 de la Vía al Llano (Dg 78 Bis Sur – Calle 84 Sur) en la UPZ Yomasa* (Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil). Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia. Recuperado de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13987/4/TRABAJO_DE_GRADO_VIZIR_Y_PCI_2016.pdf