

Revisión de las tecnologías para la evaluación de pavimentos flexibles

Review of technologies for the evaluation of flexible pavements

Luis Edmundo Benavides Arbulú^{1,2} ; Noé Humberto Marín Bardales¹ ; Sócrates Pedro

Muñoz Pérez¹

RESUMEN

Los pavimentos en la actualidad sufren deterioros antes del tiempo pensado, causando accidentes e incomodidad en las personas, así como la necesidad de reiterar las operaciones de refuerzo una y otra vez, para verlas destruirse en muy cortos lapsos. Frente a ello, el objetivo de este artículo fue detallar la evolución de las diferentes tecnologías que permiten evaluar los pavimentos. Metodológicamente, el estudio se basó en un análisis cualitativo-documental, a partir del cual se valoraron los artículos de revistas de alto impacto publicados recientemente, identificando los principales aportes de la tecnología para la evaluación de pavimentos flexibles. La tecnología de pavimentos ha ido evolucionando desde simples parámetros de inspección visual, a bases de datos maestras, en software y hardware de evaluación del pavimento, que predicen y evalúan estadísticamente, la aparición de las patologías y su respectiva toma de decisiones, procedimientos correctivos y preventivos de mantenimiento. Estas tecnologías reducen la actividad del personal, a través de imágenes, ultrasonidos, imagen satelital e infrarroja, así como el presupuesto a gastar. Mantienen el servicio en óptimas condiciones, el flujo del tráfico estable y continuo, por ende, la salud de los peatones y conductores.

Palabras clave: pavimentos, tecnología, peatones

ABSTRACT

The pavements at present suffer deterioration before the time thought causing accidents and discomfort in people, as well as the need to repeat the reinforcement operations over and over again, to see them destroyed in very short periods of time. Faced with this, the objective of this article was to detail the evolution of the different technologies that allow evaluating pavements. Methodologically, the study was based on a qualitative-documentary analysis, from which recently published high-impact journal articles were evaluated, identifying the main contributions of technology for the evaluation of flexible pavements. It is concluded that, pavement technology has evolved from simple visual inspection parameters, to master databases, in pavement evaluation software and hardware, which statistically predict and evaluate the appearance of pathologies and their respective decision-making, corrective procedures and preventive maintenance. These technologies reduce staff activity, through imaging, ultrasound, satellite and infrared image, as well as the budget to spend. They maintain the service in optimal conditions, the flow of stable and continuous traffic, therefore, the health of pedestrians and drivers.

Keywords: pavements, technology, pedestrians

¹ Universidad Señor de Sipán. Campus Universitario, km. 5 Carretera Pimentel.

² Autor por correspondencia [e-mail: barbulu@crece.uss.edu.pe]

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, evaluar los pavimentos se relaciona con su conservación, en el cual se ponía de manifiesto la conservación de los pavimentos, así como la intuición y experiencia humana, cuya subjetividad está expuesta a muchos factores de incertidumbre. Actualmente, existen herramientas tecnológicas que buscan optimizar el proceso, cuantificando todas las magnitudes necesarias para la construcción de un pavimento bien elaborado, puesto que, brinda diferentes alternativas que garantizan los niveles de calidad mínima requeridos

Desde una perspectiva internacional, se ha mostrado cierto interés en la aplicación de herramientas no convencionales basadas en experiencias exitosas desarrolladas en el campo de la tecnología. Algunos ejemplos de ello se reportan en los estudios de Setyawan *et al.* (2015), quienes usan la tecnología Falling Weight Deflectometer (FWD) para predecir el Service Life of Pavement y la condición del rendimiento del pavimento flexible. Asimismo, Mohd y You (2015) usaron los software de tecnologías Life Cycle Assessment (LCA) y SimaPro 7.3 y estimar la demanda de energía, así como la emisión de gases de invernadero de la Mezcla en Tibio de Asfalto con ethanol y la Mezcla en Caliente de Asfalto. Por su parte, Paliukaitė *et al.* (2015) usaron diferentes tecnologías de bitumen y el Performance Grade System, para determinar el LCA del pavimento, como el índice de serviciabilidad, edad, transporte y oxidación del bitumen. Así también, Kelly *et al.* (2016) proponen reemplazar el método Ratio de Sostenibilidad de Activos, por el método Índice de Sostenibilidad para Pavimentos, para la determinación precisa de la condición del pavimento. Sin embargo, Vaitkus *et al.* (2016) recomiendan aplicar los "Pavement Management System" (PMS), como el Índice Modificado Suizo, en Slovenia, que permite una drástica disminución del presupuesto de mantenimiento de pavimentos. En cuanto a ello, Corazza *et al.* (2016) proponen un Sistema de Administración de Aceras peatonales, incluyéndolos en los reglamentos de American Society for Testing and

Materials (ASTM) para pavimentos. Consideraciones que se deben tomar para la comodidad y prevención de accidentes al peatón. Mientras que, Babashamsi *et al.* (2016) sugieren el uso de Procesos Jerárquicos Analíticos ; de la mano con el método VIKOR que significa 'ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromiso Resenje', modelo que puede resolver los problemas de Análisis de Decisiones Multicriteria para el mantenimiento de pavimentos. Además, Setyawan *et al.* (2017) proponen el diseño y uso de una herramienta denominada Sistema de Evaluación y Monitoreo para Avenidas, algoritmos y programas que trabajan de la mano con el Sistema de Información Geográfica. Por su parte, Loprencipe *et al.* (2017) para el uso de Sistemas de Administración de Pavimentos, propusieron los métodos Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), como bases de datos. En tanto que, Kirbaş y Karaşahin (2017) sugieren el uso de sensores vehiculares de sonido, que registran la condición del pavimento mientras se transita, registrando esto en una base de datos del sistema PAVER. Así también, Loprencipe y Pantuso (2017) muestran al método PCI, de la Norma VIKOR D6433, como parámetros de evaluación de pavimentos en los sistemas desarrollados de programación Visual Basic y PAVER.

Mientras tanto, Suryoto *et al.* (2017) usaron el programa CurveExpert y la curva Pearson para determinar la exactitud de los métodos del IRI, PCI y el Surface Distress Index. A su vez, Bobkowska *et al.* (2017) proponen el uso del vehículo con escaneo láser para obtener patologías del pavimento en 3D, tecnología denominada TLS que recopila en el tiempo y analiza las patologías determinadas. En tanto que, Wang y Shi (2017) implementan el Exámen No Destructivo de hardware y software, donde se evalúa el coeficiente de la Mezcla Asfáltica en Caliente mediante la exposición infraroja de la temperatura del pavimento durante las lluvias. Staniek (2017) presenta un vehículo con tecnologías de procesamiento de

Ciencia Nor@ndina, vol. 3(2): julio - diciembre 2020

imágenes en 3D, CoVar, el mismo que puede tener un registro de la superficie de una avenida y de las patologías que presenta. También, Hui *et al.* (2018) propone el uso de un vehículo de escaneo láser, generando una sección transversal del pavimento en 3D, permitiendo evaluar la profundidad y textura del recapeo, así como las áreas sin recapeo. No obstante, Putra y Suprpto (2018) usaron la app Roadroid para determinar el IRI y el PCI de los pavimentos urbanos de Indonesia, disminuyendo los costos de mantenimiento.

Al respecto, Gilang *et al.* (2018) proponen el uso de Procesos Analíticos Jerárquicos como un procedimiento para evaluar con exactitud el PCI de los componentes del pavimento dentro y fuera de la avenida. Mientras que, Almuhanha *et al.* (2018) proponen el uso de Sistema de Administración del Mantenimiento en Pavimentos, sistema integrado de los softwares PAVER y GIS, para la evaluación de los pavimentos con una base de datos de PCI. Además, Al-Neami *et al.* (2018) proponen el uso del sistema geográfico integrado del GIS, enlazado a una base de datos de PCI, para la evaluación y mantenimiento de los pavimentos flexibles en la ciudad de Al-kut en Iraq. En tanto que, Nabipour *et al.* (2019) usaron el Deflectómetro, el Soporte del Vector de Regresión y los sistemas de programación Fly Optimization Algorithm y el Gene Expression Programming (estimando la serviciabilidad y el PCI, como Base de Datos).

Asimismo, Di Mascio y Moretti (2019) proponen al APMS para evaluar una red de pavimentos de un aeropuerto, incluidos los sistemas PMS y PCI. Mientras que, Nawir y Prihartanto (2019) utilizaron el MathLab Student Program y Fuzzy Logic Mamdani method como parte de los software utilizados en la evaluación de los pavimentos de los distritos de Indonesia y sus respectivos mantenimientos. Frente a estos hallazgos, la presente investigación pretende realizar una revisión documental del estado del arte de la evolución de las tecnologías que permiten evaluar los pavimentos flexibles; para que con el apoyo tecnológico, los administradores de las vías realizan actividades como monitoreo

de la condición de un pavimento en la fase de postconstrucción, mantenimiento y rehabilitación con tratamientos especiales y diferentes alternativas económicas; a fin de tener infraestructuras en condición de funcionalidad que propicien el desarrollo y el crecimiento económico de una región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio consideró una metodología de análisis cualitativo-documental con enfoque evaluativo, para presentar el estado del arte de la evolución de las tecnologías para la evaluación de pavimentos flexibles. Las fases de esta metodología consistió en planear la búsqueda de información; seleccionar las revistas; seleccionar los artículos; lectura crítica interpretativa de la información; identificación de los objetivos, metodología y resultados; discusión y conclusión. Se recopilaron artículos de distintas partes del mundo procedentes de reconocidas bases de datos como ScienceDirect, Scopus, WOS, ResearchGate y Engineering Village

Para seleccionar la información se procedió a evaluar la calidad de los artículos analizando su variabilidad, fiabilidad y validez. La información recolectada fue clasificada en una matriz analítica de contenido, en el que de cada texto se extrajeron el objetivo general, metodología y resultados. Finalmente, se estructuró la información, combinando resultados de diferentes artículos y argumentando de manera crítica, se presenta el desarrollo y la discusión en la temática de interés.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Santos *et al.* (2020) muestran el uso de un vehículo equipado, con captura de imágenes, ultrasonido y láser, además del Sistema de Administración de Pavimentos en Aeropuertos y un sistema de geolocalización para determinar el PCI. Al-Kazaz y Ewadh (2020) proponen el uso de programas satelitales en las intersecciones de avenidas; como el Arc GIS el Punto de Estimación de la Densidad y la Herramienta de Interpolación y Análisis Espacial con una base de datos de PCI. Por su parte, Daniyati *et al.* (2020) se ha

creado al androide y su aplicación Sistema de Monitoreo y Mantenimiento de las Avenidas (REMS), que registra el PCI de las avenidas, creando un historial de patologías y una estadística para la toma de decisiones. No obstante, Ho *et al.* (2020) refieren que futuros desarrollos implementarán inteligencia artificial usando el software actual implementado en vehículos, con conexión satelital; soft SLIC (simple linear interactive clustering) de captura del PCI en imágenes de superpíxeles. Karballaezadeh *et al.* (2020) proponen el uso de vehículos implementados con inteligencia artificial para predecir el PCI de las avenidas de las ciudades de Iran y EEUU, programas de redes neuronales así como sus híbridos. Chen *et al.* (2020) refieren que los pavimentos permeables son una solución común en distritos con alto volumen de lluvias. El estudio examina dos tecnología; JW Echo-Technology y asfalto Pervious Concrete (PC). En tanto que, Elshamy *et al.* (2020) crearon un modelo de tecnologías de redes artificiales ANN, en base a cinco años de datos estadísticos de las avenidas en Rusia y el método FWD, y los sistemas Rendimiento a Largo Plazo del Pavimento. De similar forma, Le *et al.* (2020) probaron un modelo de inteligencia artificial de redes neuronales ANN-TLBO, para evaluar la combinación de los asfaltos Asfalto de Piedra Mástica, la Mezcla de Asfalto en Tibio (WMA) y la Mezcla de Asfalto en Caliente (HMA). Por su parte, Ikechukwu y Mostafa (2020) usaron el software AFCP-LVR para analizar las pruebas realizadas con el Cono Dinámico de Penetración, el CBR y el Módulo de Recilencia. Mientras que, Raufi *et al.* (2020) proponen a los nanomateriales, como nano-bentonitas, nano-CaCO₃, y Zycho Therm combinados con la HMA mejora sus propiedades como aglutinante en los pavimentos. Sin embargo, Roberts *et al.* (2020) proponen el uso de Vehículos Aéreos no Manipulados UAVs y cámaras, como drones y celulares, que capturan imágenes de alta resolución en 3D, para el posterior análisis del PMS.

En tanto que, Praticò *et al.* (2020) trata sobre los diferentes ciclos de vida LCA, en la

evaluación de diferentes tecnologías de pavimentos, incluyendo la HMA y la WMA conjuntamente con materiales reciclados. Manosalvas-Paredes *et al.* (2020) consideran el uso de tecnologías de sensores de Compuerta Piezo-Flotante (PFG) y medidores de presión para el monitoreo constante de la condición del pavimento y obtener el LCA.

Además, Zankavich *et al.* (2020) trata de evaluar el pavimento asfáltico mediante tecnologías de reciclado combinado con el mismo, dando mayor resistencia y durabilidad en los ensayos de congelamiento y deshielo. Para Roberts *et al.* (2020) implementar las avenidas de Italia, se puede lograr mediante un hardware y equipo de monitoreo automatizado de la condición del pavimento, acompañados de PMS. En tanto que, Šneideraitienė y Žilionienė (2020) pretenden usar una especial tecnología de agregados producidos en dolomita, en lugar del granito, mezclado con asfalto, produce una optimización en la calidad y la resistencia al patinaje. Abdelmawla y Kim (2020), mediante vehículos implementados con tecnología de radar GPR, evaluaron la densidad, la humedad y el aire de la subrasante del pavimento, prediciendo así, futuras formaciones de patologías. Estos autores, presentaron un método para estimar la densidad y el contenido de agua de suelos de subrasante preparados de limo altamente plástico utilizando un sistema de escaneo GPR de 2 GHz y un modelo exponencial simple. Se desarrolló un modelo de predicción de densidad aparente basado en la teoría de la mezcla electromagnética para calcular la densidad del suelo de la subrasante. El modelo desarrollado determinó la constante dieléctrica del suelo, considerando las propiedades dieléctricas y volumétricas de los tres componentes principales del suelo: aire, agua y partículas sólidas.

CONCLUSIONES

Desde un inicio la evaluación de pavimentos se realizaba mediante la inspección visual y métodos estándares aún hoy en día. Sin embargo, a medida que ha transcurrido los años, el parque automotor, los

Ciencia Nor@ndina, vol. 3(2): julio - diciembre 2020

conductores y los peatones han ido en aumento exponencial, imponiendo nuevas exigencias, en combinación con la tecnología, para abastecer las labores de mantenimiento, reducir los costos y mantener el parque automotor en constante fluidez de movimiento, seguridad peatonal, comodidad del conductor y el cuidado del medio ambiente. Estas tecnologías han ido evolucionando con sistemas como el PMS, el mismo que integra una Base de Datos de los PCI, e integra tecnologías integradas como Sistemas de Información Geográfica GIS, los índices internacionales de rugosidad IRI y la administración de ciclos de vida y serviciabilidad del pavimento LCA. Luego evolucionaron los sistemas satelitales, llamados redes neuronales, las que permiten administrar e integrar los métodos y tecnología en evaluaciones de tiempo real, con automóviles de escaneo láser, escaneo infrarrojo de la subrasante, imágenes de patologías en alta resolución en 3D, drones y androides no manipulados que realizan la función del antiguo evaluador visual. Todo esto nos permite predecir el surgimiento de nuevas patologías en el pavimento, su respectivo mantenimiento, abaratar los costos de los mismo y registrarlos estadísticamente a gran escala, año tras año, en todas las ciudades que cuentan con estas tecnologías. Asimismo, han surgido tecnologías como los nanomateriales, permitiendo la creación de asfaltos porosos, para ciudades con alto índice de condición pluvial, mejorando en un 90% el drenaje. Estos nanomateriales, también permiten ser combinados con el HMA y el WMA, dando a los mismos un índice de condición de vida mayor, propiedades de mayor duración, y la reducción en la eliminación de gases de invernadero.

REFERENCIAS

- Abdelmawla, A. & Kim, S. (2020). Application of ground penetrating radar to estimate subgrade soil density [Aplicación de radar de penetración terrestre para estimar la densidad del suelo de la subrasante]. *Infrastructures*, 5(12), 1-12.
- <https://doi.org/10.3390/infrastructures5020012>
- Al-Kazaz, A. B. & Ewadh, H. A. (2020). Spatial Analyses of Pavement Condition at Intersection Sites. [Análisis espaciales de la condición del pavimento en los sitios de intersección]. *Science and Engineering*, 888(1), 11. <https://10.1088/1757-899X/888/1/012056>
- Almuhanha, R. R., Ewadh, H. A. & Alasadi, S. J. (2018). Using GIS program for pavement maintenance management for selected roads in Kerbala city. [Programa GIS para la gestión del mantenimiento del pavimento para carreteras seleccionadas en la ciudad de Kerbala]. *Case Studies in Construction Materials*, 8(10). <https://10.1016/j.cscm.2018.01.005>
- Al-Neami, M., Al-Rubae, R. & Kareem, Z. (2018). Assessment of Al-Amarah street within the Al-kut city using pavement condition index (PCI) and GIS technique. [Evaluación de la calle Al-Amarah dentro de la ciudad de Al-kut utilizando el índice de condición del pavimento (PCI) y la técnica GIS.]. *Construction and Environmental Engineering*. 162. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201816201033>
- Babashamsi, P., Golzadfar, A., Yusoff, N. I., Ceylan, H. & Nor, N. G. (2016). Integrated fuzzy analytic hierarchy process and VIKOR method in the prioritization of pavement maintenance activities. [Proceso integrado de jerarquía analítica difusa y método VIKOR en la priorización de actividades de mantenimiento de pavimentos]. *ScienceDirect*, 9(2), 9. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.03.002>
- Bobkowska, K., Szulwic, J. & Tysiąc, P. (2017). Bus bays inventory using a terrestrial laser scanning system [Inventario de bahías de bus utilizando un sistema de escaneo láser terrestre] *MATEC Web of Conferences*,

- 122(04001), 6.
<https://10.1051/mateconf/201712204001>
- Chen, L. M., Chen, J. W., Lecher, T., Chen, T.H. & Davidson, P. (2020). Assessment of clogging of permeable pavements by measuring change in permeability [Evaluación de la obstrucción de pavimentos permeables midiendo el cambio en la permeabilidad]. *Science*, 749(141352), 10.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141352>
- Corazza, M. V., Di Mascio, P. & Moretti, L. (2016). Managing sidewalk pavement maintenance. [Gestión del mantenimiento del pavimento de las aceras: un estudio de caso para aumentar la seguridad de los peatones] *ScienceDirect*, 3(3), 12.
<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.04.001>
- Daniyati, M., Setyawan, A., Pramesti, F. P. & Setyawan, B. (2020). The Implementation of Road Evaluation and Monitoring System at the City Road Conditions. [La implementación del sistema de evaluación y monitoreo de carreteras en las condiciones de las carreteras de la ciudad]. *Materials Science and Engineering*, 858(1), 7.
<https://10.1088/1757-899X/858/1/012001>
- Di Mascio, P. & Moretti, L. (2019). Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces [Implementación de un sistema de gestión de pavimentos para el mantenimiento y rehabilitación de superficies aeroportuarias]. *Construction Materials*, 11(1), 1 - 11.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00251>
- Elshamy, M. M., Tiraturyan, A. N., Uglova, E. V. & Zakari, M. (2020). Development of the non-destructive monitoring methods of the pavement conditions via artificial neural networks [Desarrollo de métodos de monitorización no destructiva del estado del pavimento mediante redes neuronales artificiales]. *Physics: Conference Series*, 1614(012099), 1-13.
<https://10.1088/1742-6596/1614/1/012099>
- Gilang, F. G., Setyawan, A. & Syafi. (2018). System model for physical conditions of road [Modelo de sistema para las condiciones físicas de la carretera]. *EDP Science* 195(04005), 7.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201819504005>
- Ho, M. C., Lin, J. D. & Huang, C. F. (2020). Automatic image recognition of pavement distress for improving pavement inspection [Reconocimiento automático de imágenes del deterioro del pavimento para mejorar la inspección del pavimento]. *GEOMATE*, 19(71), 8.
<https://10.21660/2020.71.96640>
- Hui, B., Guo, M. & Liu, X. (2018). Quality Assessment of Milling Pavement Surface Using 3D Line Laser Technology [Reconocimiento automático de imágenes del deterioro del pavimento]. *Sensors*, 1(3), 1-9.
<https://10.1155/2018/1343752>
- Ikechukwu, A. F. & Mostafa, M. M. (2020). Performance assessment of pavement structure using dynamics cone penetrometer [Evaluación del desempeño de la estructura del pavimento mediante penetrómetro de cono dinámico]. *Pavement Research and Technology*, 13(1), 1-11
<https://10.1007/s42947-020-0249-z>
- Karballaezadeh, N., Zaremotekhas, F., Shamshirband, S., Mosavi, A., Nabipour, N. & Csiba, P. (2020). Intelligent road inspection with advanced machine learning; Hybrid prediction models for smart mobility and transportation maintenance systems [Inspección inteligente de carreteras con aprendizaje automático avanzado]. *Energies*, 13(7), 13. <https://doi.org/10.3390/en13071718>
- Kelly, G., Delaney, D., Chai, G. & Mohamed, S. (2016). Optimising local council's return on investment from annual pavement rehabilitation budgets through targeting of the average pavement condition index [Optimización del retorno de la inversión del ayuntamiento a partir de los presupuestos anuales de rehabilitación

- de pavimentos mediante la selección del índice de condición del pavimento]. *ScienceDirect*, 3(5), 10.
<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.008>
- Kırbaş, U. & Karaşahin, M. (2017). Estimating PCI Using Vibration Data for Asphalt Concrete Pavements. [Estimación de PCI utilizando datos de vibraciones para pavimentos de hormigón asfáltico]. *Environmental Engineering*, 9.
<https://10.11159/ictel7.114>
- Le, T.-H., Nguyen, H.-L., Pham, B., Nguyen, M., Pham, C.-T., Nguyen, N.-L., ... Ly, H.-B. (2020). Artificial intelligence-based model for the prediction of dynamic modulus of stone mastic asphalt [Modelo basado en inteligencia artificial para la predicción del módulo dinámico del asfalto de masilla de piedra]. *Applied Sciences*, 10(15), 5242
<https://doi.org/10.3390/app10155242>
- Loprencipe, G. & Pantuso, A. (2017). A specified procedure for distress identification and assessment for urban road surfaces based on PCI [Un procedimiento específico para la identificación y evaluación de problemas para superficies de carreteras urbanas basado en PCI]. *Coatings*, 7(5), 26.
<https://doi.org/10.3390/coatings7050065>
- Loprencipe, G., Pantuso, A. & Di Mascio, P. (2017). Sustainable Pavement Management System in Urban Areas Considering the Vehicle Operating Costs [Sistema de Gestión Sostenible de Pavimentos en Áreas Urbanas considerando los costos operativos del vehículo]. *Sustainability (Switzerland)*, 9(3), 16.
<https://doi.org/10.3390/su9030453>
- Manosalvas-Paredes, M., Roberts, R., Barrera, M. & Mantalovas, K. (2020). Towards more sustainable pavement management practices using embedded sensor technologies [Hacia prácticas de gestión de pavimentos más sostenibles utilizando tecnologías de sensores integrados]. *Infrastructures*, 5(4), 1- 20.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures5010004>
- Mohd Hasan, M. R. & You, Z. (2015). Estimation of cumulative energy demand and greenhouse gas emissions of ethanol foamed WMA using life cycle assessment analysis [Estimación de la demanda de energía acumulada y las emisiones de gases de efecto invernadero de WMA espumado con etanol mediante análisis de evaluación del ciclo de vida]. *Construction and Building Materials*, 93(1), 1117-1124.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.029>
- Nabipour, N., Karballaezadeh, N., Dineva, A., Mosavi, A., Mohammadzadeh, S. D. & Shamshirband, S. (2019). Comparative analysis of machine learning models for prediction of remaining service life of flexible pavement [Análisis comparativo de modelos de aprendizaje automático para la predicción de la vida útil restante del pavimento flexible.]. *Mathematics*, 7(12), 22.
<https://doi.org/10.3390/math7121198>
- Nawir, D., & Prihartanto, E. (2019). Decision-Making Analysis of Road Maintenance in North Kalimantan Region Using Technology of Fuzzy Logic [Análisis de la toma de decisiones del mantenimiento de carreteras en la región de Kalimantan del Norte utilizando tecnología de lógica difusa]. *Science*, 353(1), 7. <https://10.1088/1755-1315/353/1/012054>
- Paliukaitė, M., Vaitkus, A. & Zofka, A. (2015). Influence of bitumen chemical composition and ageing on pavement performance [Influencia de la composición química del betún y el envejecimiento en el rendimiento del pavimento]. *Road and Bridge Engineering*, 10, 8.
<https://10.3846/bjrbe.2015.12>
- Praticò, F., Giunta, M., Mistretta, M. & Gulotta, T. (2020). Energy and environmental life cycle assessment of sustainable pavement materials and

- technologies for urban roads [Evaluación del ciclo de vida energético y ambiental de materiales y tecnologías de pavimentos sostenibles para carreteras urbanas]. *Sustainability* 12(704), 15. <https://doi.org/10.3390/su12020704>
- Putra, D. A. & Suprpto, M. (2018). Assessment of the road based on PCI and IRI roadroid. *MATEC Web of Conferences*, 195, 8. <https://10.1051/mateconf/201819504006>
- Raufi, H., Topal, A., Sengoz, B. & Kaya, D. (2020). Assessment of asphalt binders and hot mix asphalt modified with nanomaterials. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64(1), 13. <https://doi.org/10.3311/PPci.14487>
- Roberts, R., Giancontieri, G., Inzerillo, L. & Di Mino, G. (2020). Towards low-cost pavement condition health monitoring and analysis using deep learning. *Applied Sciences*, 10(319), 1- 22. <https://doi.org/10.3390/app10010319>
- Santos, B., Almeida, P. G., Feitosa, I. & Lima, D. (2020). Validation of an indirect data collection method to assess airport pavement condition [Validación de un método de recopilación de datos indirectos para evaluar el estado del pavimento del aeropuerto]. *Materials*, 13, 8. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00419>
- Setyawan, A., Al Alimi, M. F., Handayani, D. & Sumarsono, A. (2017). The Design of Road Evaluation and Monitoring System based on Geographical Information System [El Diseño del Sistema de Evaluación y Monitoreo Vial basado en el Sistema de Información Geográfica]. *MATEC Web of Conferences*. 138(1), 1-6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713807010>
- Setyawan, A., Nainggolan, J. & Budiarto, A. (2015). Predicting the remaining service life of road using pavement condition index [Predecir la vida útil restante de la carretera utilizando el índice de condición del pavimento]. *Procedia Engineering*. 125, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.108>
- Šneideraitienė, L. & Žilionienė, D. (2020). Assessment of skid resistance of road pavements [Evaluación de la resistencia al deslizamiento de pavimentos de carreteras]. *Road and Bridge Engineering*, 15, 12. <https://10.7250/bjrbe.2020-15.490>
- Staniek, M. (2017). Stereo vision method application to road inspection. *Baltic Road and Bridge Engineering*, 12(1), 10. <https://10.3846/bjrbe.2017.05>
- Suryoto, D. P., & Setyawan, A. (2017). The Evaluation of Functional Performance of National Roadway using Three Types of Pavement Assessments Methods. *ScienceDirect*, 171(2017), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.463>
- Vaitkus, A., Čygas, D., Motiejūnas, A., Pakalnis, A. & Miškinis, D. (2016). Improvement of Road Pavement Maintenance Models and Technologies [Mejora de modelos y tecnologías de mantenimiento de pavimentos viales]. *The baltic journal of road and bridge engineering*, 11(3), 8. <https://bjrbe-journals.rtu.lv/article/view/bjrbe.2016.28/1847>
- Wang, D. & Shi, J. (2017). Study on infrared differential thermal non-destructive testing technology of the permeability of hot mix asphalt pavements. [Mejora de modelos y tecnologías de mantenimiento de pavimentos viales]. *Earth and Environmental Science*, 69(012109), 11. <https://10.1088/1755-1315/69/1/012109>
- Zankavich, V., Khroustalev, B., Liu, T., ... Li, Z. (2020). Perspectivas para evaluar la dañabilidad de los pavimentos de hormigón asfáltico durante el reciclaje en frío. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 15(4), 27. <https://10.7250/bjrbe.2020-15.498>

Recibido: 07-10-2020 Aceptado: 06-11-2020 Publicado: 01-12-20

Ciencia Nor@ndina, vol. 3(2): julio - diciembre 2020