



Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado

Expert System for Both Pavement Damage Management and Compacted Roads

Víctor Daniel Gil-Vera, PhD(C).

Fundación Universitaria Luis Amigó

Medellín, Colombia

victor.gilve@amigo.edu.co

(Recibido el 20-09-2015. Aprobado el 16-11-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

V.D. Gil-Vera, "Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado", *Lámpsakos*, no. 15, pp 22 - 29, 2016.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.1710>

Resumen. Conocer las diferentes clases de afectaciones que se pueden generar en vías pavimentadas o en afirmado, y las acciones que se pueden tomar para solucionarlas, es una tarea de gran importancia para los agentes encargados del mantenimiento vial. El objetivo de este artículo es presentar el sistema experto ROAD Expert System, diseñado como apoyo a la gestión y prevención de daños que se pueden presentar en las condiciones físicas de la red vial nacional. El trabajo se divide en tres partes; en la primera se presenta el marco teórico donde se contextualizan las nociones básicas de sistemas expertos y los fundamentos de la revisión sistemática de literatura (RSL), en la segunda, la metodología utilizada para la construcción del sistema experto y en la tercera, se presenta el sistema experto ROAD Expert system. Con la realización de este trabajo, se concluye que los sistemas expertos (SE) facilitan la gestión del mantenimiento vial y permiten reducir los altos costos asociados con asesorías especializadas.

Palabras Clave: Sistemas expertos; Vías; Pavimento; Gestión de daños.

Abstract. Considering the diverse type of damages that can be generated on paved or compacted roads, and the necessary actions to solve this situation, it is definitely an important project to be solved for the national road maintenance. The aim of this paper is to present the ROAD Expert System development, designed to support the management and prevention of damage in the physical conditions of the national road network. This work is divided in three parts: first, it presents the basic theory of expert systems and systematic literature review (SLR); second, it presents the methodology used to develop the expert system; and the end third, it presents the system. With the development of this work, concluded that the expert systems (ES) facilitate the management of road maintenance and can reduce the costs associated with external consults.

Keywords: Expert Systems; Roads; Pavement; Damage Management.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas expertos (SE) como rama de la inteligencia artificial aplicada, creada a comienzos de 1960, tienen como objetivo principal almacenar la experiencia de los seres humanos en ordenadores en cualquier área del conocimiento, para que posteriormente los usuarios acudan a ellos y puedan obtener consejos a sus requerimientos. Dicha experiencia puede ser obtenida como producto de la interacción con expertos o de publicaciones especializadas en libros o revistas científicas. Los SE se utilizan para resolver problemas tal y como lo hacen los humanos en un área específica de conocimiento: medicina, ingeniería, ciencias exactas, naturales, humanas, entre otras.

En Colombia, una gran cantidad de vías están construidas con pavimento flexible, rígido o en afirmado. Cada una de estas variaciones puede presentar afectaciones o alteraciones que perjudican directa o indirectamente las condiciones físicas de la superficie vial. En la actualidad, es altamente reducido el número de herramientas disponibles para gestionar dichas afectaciones, razón por la cual se construye ROAD Expert System, para facilitar a los agentes encargados del mantenimiento vial la identificación, manejo y control de daños que se pueden presentar en vías pavimentadas o en afirmado.

ROAD Expert System, surge de la idea de que las buenas condiciones de las vías contribuyen al desarrollo económico y social de las regiones. Debido a la importancia del mantenimiento vial, se plantea la necesidad de realizar una gestión integral del mantenimiento de las condiciones físicas de las mismas, como soporte al ejercicio de planeación y articulación, desde la identificación de la afectación vial hasta la implementación y ejecución de las acciones correctivas, preventivas o de mitigación.

El SE desarrollado puede ser utilizado como herramienta para la toma de decisiones de todos los actores involucrados en la gestión del mantenimiento vial, como funcionarios públicos, contratistas y comunidades. En efecto, el objetivo principal del artículo es presentar el sistema experto ROAD Expert System, diseñado como apoyo a la gestión del mantenimiento del pavimento vial.

ROAD Expert System fue diseñado para dar respuesta a dos temáticas principales: las afectaciones que se pueden presentar en vías construidas con

pavimento flexible, rígido o en afirmado y las medidas correctivas, preventivas y de mitigación que se pueden tomar para solucionarlas. Con la realización de este trabajo, se concluye que los sistemas expertos (SE) facilitan la gestión del mantenimiento vial y permiten reducir los costos asociados con asesorías externas especializadas.

2. METODOLOGÍA

En la actualidad, diversos autores utilizan diferentes concepciones para referirse a los sistemas expertos (SE). Por su parte, [1] los define como aplicaciones que usan procedimientos y reglas de inferencia para la resolución de problemas complejos, que requieren la presencia de un especialista para resolverlos, mientras que [2] los define como aplicativos que simulan y procesan el conocimiento de expertos humanos para obtener soluciones específicas.

Los SE están conformados por una base de conocimientos, una base de hechos y un motor de inferencias [3]. La base de conocimientos (BC) almacena las variables y las reglas que definen el problema. La base de hechos (BH) es la memoria temporal de trabajo que contiene los hechos sobre un problema descubierto durante el análisis y alberga los datos propios correspondientes a los problemas que se desea tratar con la ayuda del sistema. El Motor de Inferencias (MI) es el que obtiene las conclusiones aplicando la lógica a las reglas establecidas en la base de conocimientos (BC).

Las principales ventajas de los SE hacen referencia a la disminución de costos, ya que suprimen la necesidad de acudir a expertos humanos en un área determinada de conocimiento, son permanentes y carecen de emociones humanas, las cuales son fuentes constantes de error. Por otra parte, sus principales desventajas son la falta de sentido común, ya que no hay nada obvio para ellos y no tienen la capacidad de almacenar la experiencia tal y como lo hacen los humanos.

2.1. Revisión sistemática de literatura (RSL)

La RSL es una revisión exhaustiva, metódica y rigurosa de literatura, que busca dar respuesta a una o más preguntas de investigación, tomando como base publicaciones e investigaciones previas. Una

Tabla 1.

Número de publicaciones por tipo (Fuente: Elaboración propia)

Tipo de publicación	Cantidad
Artículos	35
Artículos de conferencias	30
Resúmenes de conferencias	11
Resúmenes	1
Total	77

RSL es una manera de evaluar, interpretar y clasificar el conocimiento existente de una temática o fenómeno de interés [4].

Una RSL comprende las siguientes fases; planificación de la revisión, ejecución y presentación de resultados [4]. La fase de planificación comprende la identificación de la necesidad y la formulación de un protocolo de revisión. La fase ejecución comprende la selección de estudios primarios, la extracción y monitoreo de información, y la síntesis de los mismos. Por último, en la fase de presentación de resultados, se presenta el análisis de la información obtenida en la fase anterior.

Para la elaboración de ROAD Expert System se realizó una RSL enfocada en dar respuesta a dos preguntas de investigación:

- ¿Qué tipos de daños se pueden producir en vías construidas en pavimento rígido, flexible o en afirmado?
- ¿Qué acciones se pueden tomar para solucionarlos?

Para la obtención de la información, se realizó una búsqueda en Scopus y en publicaciones de literatura gris especializadas en el tema. Las palabras de búsqueda utilizadas fueron: *expert, systems, management, impacts, damages, pavement, asphalt*. La ecuación de búsqueda utilizada fue:

(TITLE-ABS-KEY (damages pavement asphalt) AND PUBYEAR > 2007) AND ((management)) AND (systems) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP")) (1)

El rango de fechas de publicación consideradas en la revisión estuvo comprendido desde el año 2008 hasta el presente. En total se recopilaron 77 publicaciones especializadas entre artículos, artículos de con-

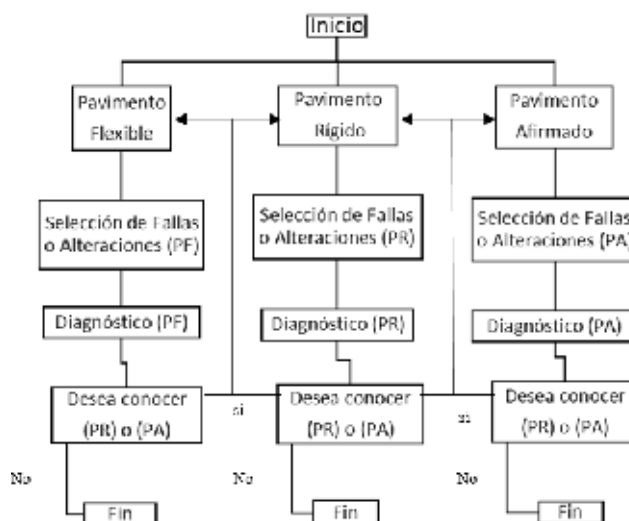


Fig. 1 Estructura inferencial. Fuente: Elaboración propia

ferencias, resúmenes, capítulos de libros y artículos en desarrollo. En la Tabla 1, se presenta el número de publicaciones recopiladas por tipo:

Como parte de la revisión se realizó una clasificación de publicaciones por año, siendo el 2014 el año en el que se presentó una mayor cantidad de publicaciones sobre el tema, con un total de 14. Al realizar el mismo análisis para los autores, se encontró que Sugiyama, H. es el que registra el mayor número de publicaciones, con 3 en total. En relación con las revistas, se encontró que *Applied Mechanism and Materials* es la que registra la mayor cantidad de publicaciones en el tema.

Como resultado de la búsqueda de literatura gris se recopilaron 10 publicaciones distribuidas entre cartillas y manuales sobre alteraciones y fallas que se pueden presentar en vías pavimentadas o en afirmado, publicados por el Ministerio de Transporte de Colombia, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), la Universidad Nacional de Colombia (UN), la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), y otras entidades especializadas en el tema, las cuales fueron utilizadas como base para el desarrollo del sistema experto.

En primer lugar, ROAD Expert System realiza una clasificación de la vía pavimentada o en afirmado. Posteriormente, identifica los tipos de daños que se pueden presentar en cada tipo y las posibles causas que los generan. Finalmente, presenta las intervenciones recomendadas para corregir dichas afectacio-

nes. Para conceptualizar el sistema se consideraron los puntos de vista del usuario y del personal especializado en el tema.

ROAD Expert System se construye utilizando el software XERTE, el cual es una suite de código abierto para programadores de e-learning y para productores de contenidos interactivos creado por la Universidad de Nottingham, Reino Unido. Las aplicaciones pertenecientes al campo de la medicina, la estadística, la ingeniería y el aprendizaje basado en problemas (ABP) son algunas de las principales aplicaciones que se pueden construir con el software.

A continuación, se explican las fases comprendidas en la creación y desarrollo de ROAD Expert System:

- **Adquisición de conocimiento:** la información utilizada en la construcción de ROAD Expert System, se obtuvo de publicaciones especializadas en bases de datos científicas de primera calidad y literatura gris especializada en el tema, especialmente manuales publicados por el Ministerio de Transporte de Colombia, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), la Universidad Nacional de Colombia (UN) y la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Una vez recopilada y organizada toda la información, se procedió a estructurarla y organizarla según el tipo de material con el cual está construida la vía.

- **Representación del conocimiento:** en la fig. 1, se presenta el modelo utilizado para representar la información recopilada en la fase anterior:

Cuando el usuario ingresa al sistema debe seleccionar el tipo de material con el que está construida la vía; pavimento (flexible /rígido) o en afirmado. Una vez seleccionado, el sistema presenta una serie de daños que se pueden presentar en el material seleccionado. Dependiendo de la selección del usuario y según las reglas establecidas en la base de conocimientos (BC), el sistema presenta la descripción detallada del daño y las intervenciones que se pueden llevar a cabo para solucionarlas.

A continuación, se presentan las fases relacionadas con la elaboración del sistema:

- **Verificación:** una vez construida toda la estructura del sistema, se verificó que cada diagnóstico presentado fuera correcto según la información y las reglas de inferencia establecidas en la base de conocimientos BC. Se realizaron pruebas con personas

Tabla 2.

Daños generales en vías (Adaptado de [7])

Daño	Descripción
Deformaciones	Variaciones de los perfiles del pavimento apreciables a simple vista
Fisuras	Fracturas visibles en la superficie del Pavimento
Desprendimientos	Pérdidas de material que afectan pequeñas áreas del pavimento
Baches	Deformaciones locales en el cual el pavimento se ha destruido parcial o totalmente
Otros daños	Desgaste superficial

interesadas en la temática con el objetivo de obtener observaciones y sugerencias y mejorar el funcionamiento del sistema.

- **Validación:** la validación del sistema fue realizada por expertos, permitiéndoles explorar su funcionamiento y hacer sugerencias en el diseño y contenido del mismo.

- **Prueba:** finalmente, una vez culminada la construcción de ROAD Expert System se realizó una prueba final, de la que se obtuvo una realimentación positiva en la evaluación del mismo.

3. CASO DE APLICACIÓN

La seguridad y operatividad de las vías dependen directamente de la calidad del pavimento. Este puede sufrir una diversidad de problemas estructurales que pueden generar daños en la superficie del mismo. Para minimizar el efecto de esta clase de problemas se requieren herramientas para la gestión de las condiciones reales del pavimento [5].

Los daños que se pueden producir durante la vida útil normal del pavimento tienen consecuencias para la seguridad y operatividad de las redes viales. Estos se producen por diferentes razones, tales como el aumento del tráfico o la falta de recursos y rutinas establecidas para realizar el mantenimiento vial. La mayoría de estas afectaciones son originarias de las capas inferiores, las cuales no son visibles hasta la aparición de grietas en la superficie del pavimento. Otros factores como la infiltración de agua y la presencia de suelo cohesivo, reducen en gran medida la capacidad de soporte de las capas de sub-asfalto y de los suelos subyacentes, originando daños en las condiciones físicas del pavimento [5].

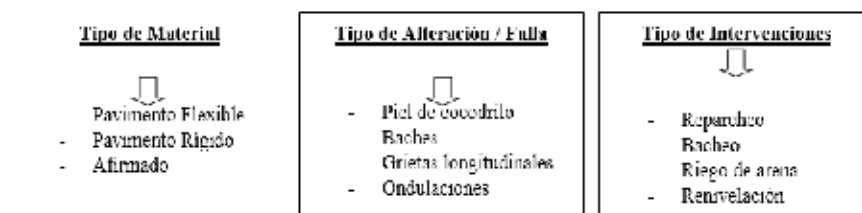


Fig. 2 Base de conocimientos. Fuente: Elaboración propia

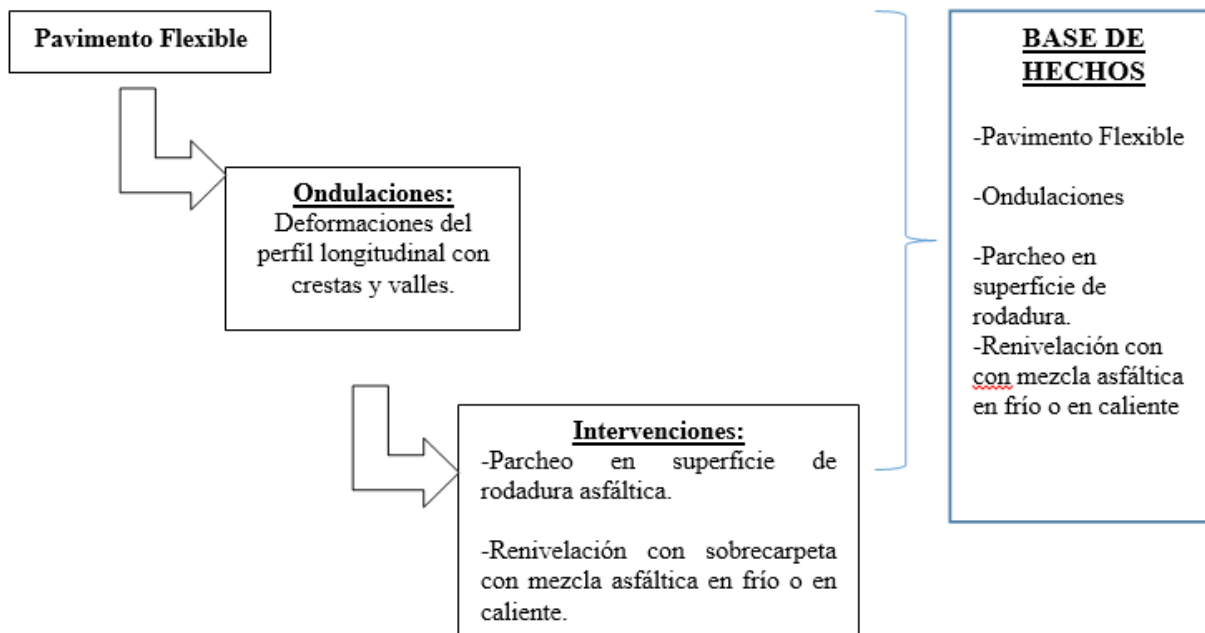


Fig. 3 Base de hechos. Fuente: Elaboración propia

En los trabajos realizados por [6] y [7] se presenta una clasificación de los principales daños que se pueden presentar en vías pavimentadas y en afirmado:

Debido a la alta diversificación de fallas y alteraciones que se pueden presentar en la red vial nacional, se consideró oportuno desarrollar un sistema experto SE que sirva de apoyo en la toma de decisiones a funcionarios, contratistas y comunidades afectadas, al momento de decidir qué tipo de intervenciones se pueden ejecutar para solucionarlas.

ROAD Expert System permite conocer las diferentes fallas y alteraciones que se presentan en vías con pavimento flexible, rígido o en afirmado, independiente de si es una vía primaria, secundaria o terciaria de la red vial nacional. Para comenzar, el usuario selecciona el tipo de material con el cual está

construida la vía, posteriormente, y dependiendo del tipo de material y el daño seleccionado, el sistema presenta el diagnóstico final donde se detalla y explica el tipo de alteración y las intervenciones que se pueden ejecutar para solucionarlas.

Otras metodologías alternativas que pueden servir de apoyo al momento de decidir qué tipo de intervenciones ejecutar para solucionar problemas y fallas de la red vial nacional son: juicio de expertos y guías metodológicas especializadas. La principal ventaja de la primera es la exactitud en la identificación de la problemática, su principal desventaja son los altos costos que tiene asociados. La segunda alternativa requiere de investigaciones profundas en el área, las cuales pueden requerir inversiones significativas de tiempo y dinero.

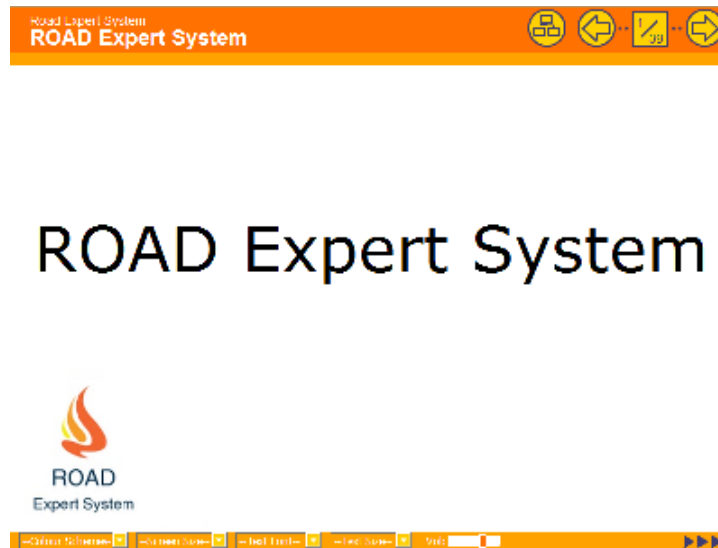


Fig. 4. Interfaz inicial. Fuente: Elaboración propia

Road Expert System
Descripción

Objetivos
Presentar las fallas y alteraciones que se pueden presentar en vías secundarias construidas con pavimento flexible, rígido o en afirmado, y las posibles acciones que se pueden tomar para solucionarlas.

Dirigido a:
Funcionarios Públicos, Contratistas y Comunidades.

Pre-requisitos
Nociones básicas de materiales de asfalto y mantenimiento vial.

¿Cómo usar ROAD Expert System?
Responder las preguntas que se proponen, al final el sistema presentará el diagnóstico final.

Fig. 5 Descripción. Fuente: Elaboración propia

Seleccione el tipo de alteración que se presenta la vía:

- Corrugaciones
- Ahuellamiento
- Pérdida de agregados
- Sección transversal inadecuada
- Baches

Confirm

Fig. 6 Alteraciones pavimento afirmado. Fuente: Elaboración propia

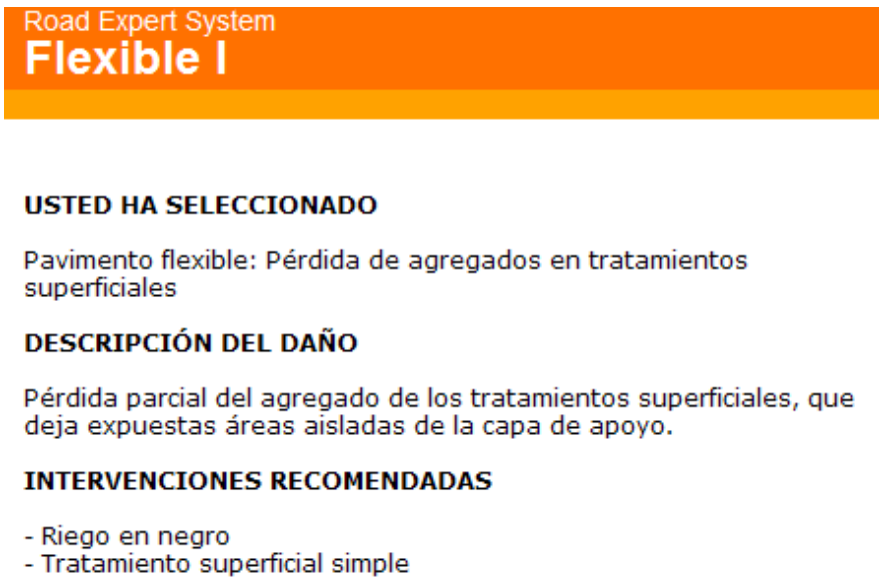


Fig. 7 Diagnóstico. Fuente: Elaboración propia

3.1. Elementos que componen la estructura del ROAD Expert System

- **Base de Conocimientos (BC):** recopila la información sobre las fallas y alteraciones que se generan en el pavimento flexible, rígido o en afirmado, y las intervenciones que se pueden tomar para solucionarlas. En la fig. 2 se presenta el tipo de información que componen la (BC):
- **Base de Hechos (BH):** almacena las opciones de respuesta que el usuario selecciona para luego procesarlas en el motor de inferencias (MI). En la fig. 3 se presenta un ejemplo de la información que almacena la base de hechos (BH) para una alteración presentada en pavimento flexible:
- **Motor de Inferencias (MI):** es el que presenta el diagnóstico final según el tipo de material seleccionado y las alteraciones que el usuario haya seleccionado tomando como base las reglas establecidas en la base de conocimientos (BC).

3.2. Funcionamiento de ROAD Expert System

Para ejecutar ROAD Expert System se puede acceder al enlace disponible en <https://www.dropbox.com/s/iv2svuikzqpla63/ROAD%20Expert%20System.rar?dl=0> [8]. El usuario debe extraer el contenido del enlace anterior y ejecutar el archivo denominado "Index.htm". En la fig. 4 se presenta la interfaz inicial del sistema:

En la fig. 5, se especifican los objetivos, la audiencia a quién va dirigido el sistema y cómo utilizarlo.

El usuario puede seleccionar entre tres tipos de materiales: pavimento rígido, flexible o afirmado. Una vez lo ha seleccionado, el sistema presenta los daños que se pueden producir. En la fig. 6 se presentan los tipos de alteraciones que se pueden generar para una vía en afirmado.

Finalmente, el sistema presenta el diagnóstico final, detallando el tipo de alteración, presenta la ruta de las opciones que fueron seleccionadas por el usuario y da la opción de conocer las otras clases de alteraciones que se pueden presentar en el tipo de material seleccionado. En la fig. 7 se presenta el diagnóstico final.

La principal ventaja de ROAD Expert System es que facilita la toma de decisiones respecto a las intervenciones que se pueden tomar para solucionar las fallas o alteraciones que se presentan en el pavimento de redes viales, sin necesidad de recurrir a un experto humano. Por otra parte, su principal desventaja es que aún se encuentra en construcción y desarrollo, por lo cual está sujeto a modificaciones y mejoras. Adicionalmente, únicamente toma en cuenta los tres tipos de materiales utilizados en vías colombianas, por lo que no es un sistema que se pueda utilizar en cualquier parte del mundo.

4. CONCLUSIONES

Las vías construidas con pavimento flexible, rígido o en afirmado pueden presentar una diversidad de daños o alteraciones, las cuales pueden incrementar su severidad si no se realiza a tiempo una adecuada gestión del mantenimiento vial. El sistema experto desarrollado en este trabajo, facilita a funcionarios públicos, contratistas, comunidades y agentes relacionados con el proceso de mantenimiento vial, la identificación de las acciones que pueden tomar para solucionarlos, lo que a su vez permite reducir los costos asociados con consultorías externas especializadas.

Los sistemas expertos (SE) permiten integrar temáticas aisladas en cualquier área del conocimiento, facilitando la identificación de problemas y la formulación de estrategias para prevenirlos, solucionarlos o mitigarlos.

REFERENCIAS

- [1] R. Cowan, "Expert systems : aspects of and limitations to the codifiability of knowledge " vol. 30, pp. 1355–1372, 2001. Available: doi:10.1016/S0048-7333(01)00156-1
- [2] N. L. Maziero, "A Feature-Based Object-Oriented Expert System to Model and Support Product Design," vol. 22, no. 4, pp. 151–159, 2000. Available: doi 10.1590/S0100-73862000000400003
- [3] E. Turbante and J. Aronson, "Decision Support Systems and Intelligent Systems," 2nd ed., vol. 6, P. I. Hall, Ed. Hong Kong, 2005, pp. 210–240.
- [4] B. Kitchenham, "Procedures for Performing Systematic Reviews." Software Engineering Group. Department of Computer Science, Staffordshire, pp. 1-40, 2004. [Online] Disponible en: <http://www.inf.ufsc.br/~awangenh/kitchenham.pdf>. Accedido [05-11-2015].
- [5] A. Benedetto and S. Pensa, "Indirect diagnosis of pavement structural damages using surface GPR reflection techniques," J. Appl. Geophys, vol. 62, no. 2, pp. 107–123, Jun. 2007. doi:10.1016/j.jappgeo.2006.09.001
- [6] U. Nacional de Colombia and M. Transporte, "Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras." Bogota. D.C, pp. 12– 45, 2006. [Online] Disponible en: http://www.invias.gov.co/index.php/historico-carretera-virtual/doc_download/976-manual-para-la-inspeccion-visual-de-puentes-y-pontones. Accedido [02-11-2014].
- [7] A. Figueroa, C. Floréz, M. León, E. Muñoz, B. Ojeda, F. Reyes, and J. Rodríguez, "Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado)." Bogota. D.C, pp. 23 – 78, 2010. Disponible en: <https://dirinfra.min-transporte.gov.co/pvr2/images/stories/documentos/pavimentos1.pdf> Accedido [04-10-2014].
- [8] V. Gil. "Road Expert System". Artículo [en Línea], Disponible: <http://sanjose.hol.es/road/>. Accedido [04-04-2015].