



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

González-Fernandez, Hilda; Ruiz-Caballero, Pilar; Guerrero-Valverde, Denisse
PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE
PAVIMENTOS mediante EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2019, Enero-Marzo 2020, pp. 58-71
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358738015>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

UAEVA
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

**PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE
PAVIMENTOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
(PCI)**

**METHODOLOGY PROPOSAL FOR THE EVALUATION OF PAVEMENTS
APPLYING THE PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)**

Autores:

Hilda González-Fernandez, hglez@uo.edu.cu. Universidad de Oriente,
Departamento Ingeniería Civil. Santiago de Cuba, Cuba.

Pilar Ruiz-Caballero, pilar@scu.unaicc.cu. Unión Nacional de Arquitectos
e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC). Santiago de Cuba,
Cuba.

Denisse Guerrero-Valverde, cpc@megacen.ciges.inf.cu. Instituto Nacional
de Planificación Física. La Habana, Cuba.

RESUMEN

Durante los años en que un pavimento se encuentra al servicio es solicitado por las acciones de las condiciones climáticas y el tránsito, lo cual disminuye progresivamente la calidad de las características mecánicas y funcionales de los materiales que lo constituyen. Este trabajo refleja los resultados de un análisis bibliográfico que permite establecer, en primer lugar, los diferentes métodos de evaluación de los pavimentos flexibles, con énfasis en los índices globales y dentro de estos en el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI). Seguidamente se aplica la metodología propuesta en el trabajo para el PCI al tramo Seminario Bautista-Loma la Cruz (Acceso Camino Viejo del Cobre) de la Carretera Central. Se obtuvo como resultado que el estado del pavimento es regular, según la escala que muestra el método.

Palabras clave: pavimentos flexibles, índice global, método de evaluación PCI.

ABSTRACT

During the years in that a pavement meets the service is solicited for the actions of the climatic conditions and the traffic, diminishing progressive the quality of the mechanic and functional characteristics of the materials that they constitute the same. This reflective thesis the outputs of an analysis bibliographic that allows to establish first, the several methods of evaluation of the flexible pavements making emphasis in the global indexes and within them in the PCI method. Next works hard the PCI to the tract Baptist Seminar- Hill the Cross (Access Old Road of the Copper) of the Central Highway, and is gotten like result that the state of the pavement is regulate, according to the scale that shows the method.

Key words: flexible pavements, global index, PCI method of evaluation.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, ante un mundo cada vez más integrado, que intercambia más bienes y servicios, la importancia de las carreteras se ha incrementado notablemente, con lo cual se han convertido en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y también el desarrollo social. Es indispensable contar con infraestructuras de carreteras que aseguren una circulación segura, cómoda y fluida. Para ello, el pavimento, elemento componente principal de esta obra vial, debe encontrarse en buen estado de servicio.

Branco (2011) considera que los pavimentos, luego de su construcción, comienzan a ser sometidos a acciones diversas, que continuamente contribuyen a su degradación; incluso, antes de “entrar en servicio”, las acciones de los agentes atmosféricos provocan solicitaciones en los pavimentos, más o menos severas, de acuerdo con su constitución y localización.

El proceso de evolución del deterioro de los pavimentos depende esencialmente de dos grupos de factores: los factores pasivos, referentes a las características de los pavimentos (materiales usados, espesuras de las capas, calidad de la construcción) y los factores activos (tráfico, agentes climáticos). Estos últimos son los principales responsables del proceso de degradación de los pavimentos (Branco, 2011).

Minhoto (2005) plantea que la evolución del comportamiento de un pavimento es bastante compleja, pues cada acción provoca una alteración específica sobre las propiedades de los materiales constituyentes de este. En el caso de los materiales bituminosos, su evolución está relacionada principalmente con el envejecimiento del ligante por oxidación, que fragiliza la mezcla asfáltica y facilita su agrietamiento y salida de agregados. La velocidad con que la oxidación del asfalto se procesa depende de las condiciones de temperatura, humedad e insolación.

Los materiales granulares, no aglutinados, incluyendo el suelo de cimentación, además de sufrir la acción acumulada de las cargas móviles son sensibles a la acción del agua y menos sensibles a las variaciones de temperaturas (Branco, 2011).

Con el pasar del tiempo, debido a la interacción de las degradaciones, aliado a la repetición, principalmente de los factores activos, una degradación dará origen a nuevos tipos de degradaciones y así sucesivamente, aumentando el por ciento de degradaciones existentes, tanto en extensión como en potencial evolutivo (Minhoto, 2005; Picado-Santos, 1993). Lo anterior hace que los pavimentos alcancen tal estado de degradación, que se torna necesario, a corto plazo, la aplicación de acciones de conservación adecuadas.

Para seleccionar la estrategia de conservación más eficiente y que mejor se adapta a la realidad, es fundamental conocer el estado actual del pavimento, obtenido por una evaluación objetiva del mismo (Orozco, 2004). Las limitaciones de recursos hacen que en algunos países la evaluación se realice global, mediante el suministro de una información del estado del pavimento a través de un único índice, resultante de la agregación de los diferentes parámetros de estado (regularidad superficial, fricción, deflexión, etc.), a través de un determinado algoritmo de cálculo, donde cada parámetro de estado tendrá un determinado peso.

Esta metodología de evaluación tiene como principal ventaja facilitar la clasificación del estado de los pavimentos a través de una única nota, y como desventajas la posibilidad de que una misma nota represente diferentes estados de pavimento, debido al hecho de que los niveles de cada parámetro pueden compensarse entre sí, además de las dificultades en la definición de los coeficientes de ponderación que se deben atribuir a cada parámetro considerado en el algoritmo de cálculo de la nota global.

Según el resultado de la evaluación del estado en que se encuentre el pavimento, la conservación puede ser funcional o estructural. La conservación de las características funcionales tiene por objetivo reponer las características de la superficie: textura, regularidad longitudinal y transversal. Al mismo tiempo, este tipo de intervención tendrá también efectos sobre el comportamiento estructural del pavimento. El dominio de conservación estructural de los pavimentos se refiere en general al término “refuerzo del pavimento”.

La Carretera Central del país, obra magistral que atraviesa todas las capitales provinciales, con excepción de Cienfuegos, posee a lo largo de sus 1435 km algunos tramos donde el pavimento no se encuentra en buen estado.

Específicamente en el tramo objeto de estudio, tramo comprendido entre el Seminario Bautista-Loma la Cruz (Acceso camino viejo del Cobre), los principales deterioros que se observa son: grietas transversales, piel de cocodrilo y agrietamiento en bloque.

Ante este nivel de deterioro, es preocupante conocer que los intendentes responsables del buen funcionamiento de las vías de interés nacional, que pertenecen al Centro Provincial de Vialidad, realizan la evaluación a juicio personal, sin aplicar científicamente alguna metodología reconocida a nivel internacional, lo que trae consigo inexactitud y arbitrariedad en los resultados.

En correspondencia con lo anterior, es un problema la ausencia de una metodología para la aplicación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), método de evaluación global del pavimento que mejor se adapta a las condiciones de la provincia de Santiago de Cuba, donde no existen equipos de auscultación.

Se persigue entonces como objetivo del trabajo la propuesta de una metodología para la aplicación del método de evaluación del PCI, con la validación de su efectividad en el tramo Seminario Bautista-Loma La Cruz (Acceso camino viejo del Cobre) de la Carretera Central.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se realizó primeramente un análisis de los métodos existentes a nivel internacional para la investigación y evaluación del comportamiento del pavimento. Se seleccionó el que más se adecuaba a los recursos existentes en la provincia. Para el método seleccionado se presentó una metodología de trabajo que permite su fácil aplicación, posteriormente se aplicó a un tramo de la carretera central.

Métodos de investigación para la evaluación de los pavimentos flexibles

Existen diferentes métodos de investigación que permiten llegar a evaluar el pavimento, entre ellos (González, 2005):

1. Inspección visual
2. Calicatas
3. Perforaciones
4. Medidas de parámetros de estado, tales como: deflexión, irregularidad superficial (longitudinal y transversal) y fricción.

La inspección visual constituye parte esencial de toda investigación. Los diferentes modos y tipos de fallas encontrados en el pavimento se describen en función de su severidad, frecuencia y localización. Las fallas encontradas en la superficie y su cuantificación, permiten realizar una evaluación global del pavimento.

Las calicatas resultan ser un método destructivo que investiga la condición estructural de cada capa que compone el pavimento por abertura de una pequeña área en la estructura, lo cual permite recoger muestras de cada material hasta la subrasante y realizar ensayos de capacidad de carga *in situ*. Con la extracción de las muestras del pavimento es posible identificar los tipos de materiales de las capas y subrasante, los espesores de las capas y coleccionar muestras para ensayos de laboratorio.

Las perforaciones constituyen un método semidestructivo que se vale de aberturas menores en el pavimento, con respecto a las calicatas, y utiliza un instrumento portátil de pequeñas dimensiones para evaluar la capacidad de carga de un pavimento.

Las medidas de deflexión es un método de investigación no destructivo de los pavimentos. A partir del conocimiento de las deflexiones es posible caracterizar la capacidad global del conjunto "pavimento-cimentación".

Bariani (2008) expresa que las deflexiones (deformaciones elásticas) son responsables del surgimiento de la mayoría de las fisuras del pavimento a lo largo de su vida y que pueden llevar la estructura a la fatiga.

Metodología para la evaluación del pavimento mediante la aplicación del PCI

Entre los índices que permiten una evaluación global del comportamiento del pavimento, y que se apoyan en la inspección visual, es el Índice de Condición del Pavimento (PCI), desarrollado por el Sistema de gestión del estado de Ontario (OPAC). Este método de evaluación resulta ser uno de los de mayor aceptación a nivel internacional y continúa siendo aplicado en algunos países, principalmente en aquellos que no disponen de equipos de medida de parámetros de estado, tales como: deflexión, irregularidad superficial (longitudinal y transversal) y fricción.

A continuación, se presentan los pasos a seguir en el cálculo manual del PCI:

1º Paso: Definición de la dimensión de la unidad de muestreo.

En el caso de pavimento flexible, el método indica que el ancho debe ser menor que 7,30 m y el área de la unidad de muestreo debe estar en el intervalo de $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$.

2º Paso: Cálculo del número mínimo de unidades de muestreo.

La dimensión del área de pavimento a inspeccionar puede ser de tal magnitud que implique un número muy grande de unidades, cuya inspección exigirá tiempo y recursos considerables. Por eso se precisa obtener el número mínimo de muestras aplicando la ecuación (1), la cual produce un estimado del $\text{PCI} \pm 5$ medio verdadero con una confiabilidad del 95 %.

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \cdot (N-1) + \sigma^2} \quad (1)$$

donde:

n : Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N : Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e : Error admisible en la estimación del PCI de la sección ($e = 5 \%$).

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

El método indica que cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que 5, todas las unidades deben ser inspeccionadas.

3º paso: Selección de las unidades de muestreo a considerar en la inspección visual.

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección del pavimento y que la primera de ellas sea seleccionada al azar. Esta técnica se conoce como "sistema aleatorio", descrito en los siguientes pasos:

- a) Cálculo del intervalo de muestreo (i)
- b) Selección del inicio aleatoriamente entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i .

4º Paso: Selección de las unidades de muestreo adicionales.

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades del muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que solo se presentan una vez queden incluidas inapropiadamente en un muestreo aleatorio.

Para evitar esto, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una "unidad adicional" en lugar de una "unidad representativa" o aleatoria.

5º paso: Evaluación de la condición del pavimento por inspección visual.

Para cada unidad de muestreo se mide tipo, cantidad y severidad de los daños encontrados de acuerdo con el manual de daños del PCI, registrando la información en el formato que presenta el método.

6º paso: Cálculo del PCI de las unidades de muestreo.

El cálculo del PCI se basa en los "Valores Deducidos" de cada daño de acuerdo con las cantidades y severidades reportadas. A continuación, se exponen los pasos a seguir durante el cálculo manual.

1ª Etapa: Cálculo de los valores deducidos.

a) Coloque en la columna daño del modelo que presenta el método cada defecto encontrado en la inspección, según la enumeración que lo identifica. Un mismo daño puede encontrarse registrado varias veces en el modelo porque este es totalizado por nivel de severidad. La columna cantidad parcial es necesaria, ya que un daño con una severidad dada puede localizarse varias veces dentro de la unidad de muestreo en estudio. En total se registra la suma de las cantidades parciales.

b) Divida la cantidad de cada clase de daño y nivel de severidad entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

c) Determine el valor deducido. En las curvas que presenta el método PCI para cada daño, denominadas "valor deducido del daño" se busca el valor de la densidad en el eje de las abscisas, se corta la curva, según la severidad que corresponda, y se desplaza horizontalmente. En la intersección de esta horizontal con el eje de las ordenadas se encuentra el valor deducido correspondiente al daño que se trate.

2ª Etapa: Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m).

Existen dos casos:

Caso 1. Si en la unidad de muestreo no existe ningún valor deducido mayor que 2 o solamente uno, se usa para el cálculo del PCI el valor deducido,

aplicando la fórmula 2 en lugar del mayor valor deducido corregido (VDC), como se describe en el Caso 2.

$$PCI = 100 - VDT \quad (2)$$

Caso 2. De existir más de un valor deducido mayor que 2, el número máximo de valores deducidos se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \quad (3)$$

donde:

m_i : Número máximo admisible de valores deducidos para la unidad de muestreo.

HDV_i : Mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i .

El número de valores individuales deducidos se reduce a m . Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan.

Para obtener el valor deducido corregido (VDC) se recomienda seguir los siguientes pasos:

- a) Liste los valores deducidos individuales de mayor a menor.
- b) Determine el "valor deducido total", sumando todos los valores deducidos individuales.
- c) Determine el número de valores deducidos mayores que 2.0, que se identifica por la letra q .
- d) Determine el VDC entrando con el valor de q y VDT en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento que presenta el método PCI.
- e) Reduzca a 2.0 el menor de los valores deducidos individuales que sea mayor que 2.0 y repita el proceso desde el inciso (a) hasta que " q " sea igual a 1.
- f) Una vez obtenidos todos los valores de VDC, se tomará el mayor valor ($VCD_{máx}$) para el cálculo del PCI en la unidad de muestreo. Para ello se aplica la siguiente expresión:

$$PCI = 100 - VDC_{máx} \quad (4)$$

3ª Etapa. Cálculo del PCI de una sección de pavimento.

Se pueden presentar 3 casos:

I. Si todas las unidades de muestreo fueron tomadas para determinar el PCI de la sección del pavimento, el valor del PCI final será el promedio de los PCI calculados para cada unidad de muestreo, es decir:

$$PCI = \frac{\sum_i^n PCI_i}{n} \quad (5)$$

II. Si se utilizó la técnica de muestreo y la selección de las unidades se realizó mediante la técnica aleatoria y no existieron muestras adicionales, el PCI de la sección de pavimento será el promedio de los PCI calculados de cada unidad de muestreo.

III. Si se utilizaron unidades de muestreo adicionales, el valor del PCI final se determina mediante la siguiente ecuación:

$$PCI_s = \frac{[(N-A) \cdot PCI_R] + (A \cdot PCI_A)}{N} \quad (6)$$

donde:

PCI_s : PCI de la sección del pavimento.

PCI_R : PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI_A : PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

A : Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

N : Número total de unidades de muestreo en la sección.

4ª Etapa: Cálculo de la desviación estándar y comparación de esta con la inicialmente fijada para estimar el número inicial de muestras.

La desviación estándar de la estimación debe ser inferior al valor supuesto para tener la seguridad de una estimación confiable al 95 % del PCI en el tramo objeto de estudio. En caso contrario, se deberá proceder a recalcular el número de muestras necesarias a partir del valor alcanzado de desviación estándar e inspeccionar nuevamente las unidades adicionales, las que serán seleccionadas aleatoriamente y sus resultados procesarse junto con los obtenidos previamente para las unidades inicialmente inspeccionadas.

RESULTADOS

Con el apoyo de la metodología presentada para la aplicación del método PCI, se realiza la evaluación del pavimento en el tramo de la Carretera Central comprendido entre Seminario Bautista-Loma de la Cruz (Figura 1), conocido como Camino Viejo del Cobre. Dicho tramo vial posee una extensión de 3 Km y

una sección transversal conformada por dos carriles de aproximadamente 3.15m de ancho y paseos de 1,20m. El tránsito por lo general es pesado.



Figura 1. Vista planimétrica del tramo objeto de estudio. Fuente: Google Earth, (2017)

El análisis estadístico indica inspeccionar 14 unidades, cada una de las cuales abarca un área de pavimento igual a 250 m². Se adiciona otra unidad por tratarse de una zona dentro del tramo donde el pavimento se encuentra en muy mal estado.

En la Tabla 1 y la Figura 2 aparecen los deterioros registrados durante la inspección visual efectuada a las 15 unidades de muestreo, así como el por ciento que representa cada uno de los daños de la cantidad total levantada.

Tabla 1. Deterioros levantados en la inspección y por ciento de incidencia

Tipo de daño	% del daño
Piel de cocodrilo	4,79
Agrietamiento en bloques	22,69
Abultamiento y hundimiento	1,62
Depresión	0,91
Grietas de borde	9,92
Grietas longitudinales y transversales	26,8
Parqueo	16,59
Huecos	2,72
Grietas parabólicas	4,54
Desprendimiento de agregados	9,42

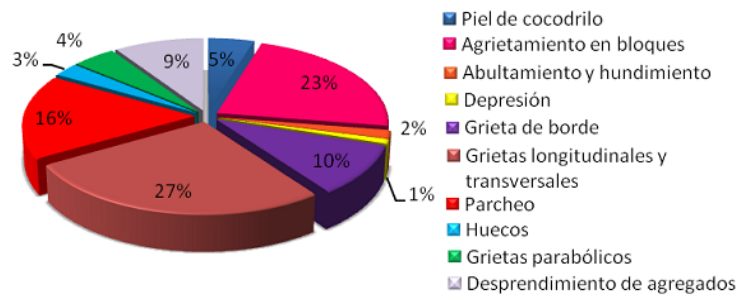


Figura 2. Por ciento por tipo de daño. Fuente: autoras (2018)

Es de notar que el daño más representativo son las grietas, tanto en forma de bloques como las longitudinales y transversales. En la mayoría de los casos resultan de la fatiga de la capa de rodadura asfáltica, debido a la repetición de los esfuerzos de tracción por flexión de esta capa ante la acción de las cargas repetidas del tránsito, unido a las acciones climáticas. Estas cargas provienen en su gran mayoría de vehículos pesados, por ser el tipo de vehículo que transita mayormente por la vía objeto de estudio.

Llama la atención en el tramo objeto de estudio como el por ciento del daño piel de cocodrilo es muy pequeño y las roderas no están presentes, lo que está indicando que las degradaciones son mayormente a nivel superficial. El parcheo es otro daño estructural que sobresale, esto se debe a que en esas zonas fue remplazado el pavimento por material nuevo.

Por otro lado, se encuentran en una proporción media el desprendimiento de agregados, causado por deficiencias en la unión entre los diferentes componentes de una mezcla asfáltica y/o acciones climatológicas. Los otros deterioros registrados no representan un daño significativo en el tramo de vía de estudio.

En la Tabla 2 se resumen los valores obtenidos de PCI para cada unidad.

Tabla 2. Valor del PCI en cada unidad de muestreo. Fuente: autoras (2017)

U. A	1	2	3	4	5	6	7	7-8	8	9	10	11	12	13	14
PCI	52	61	79	39	71	67	80	51	51	67	25	68	37	35	2
Clasificación	R	B	MB	M	M	B	MB	R	R	B	M	B	M	M	F
											M				
											M				

F: Fallado, MM: Muy mal, M: Mal, R: Regular, B: Bien, MB: Muy Bien.

Sobre la base de los resultados alcanzados, en la Tabla 3 y Figura 3 se presenta la evaluación de las unidades de muestreo, expresada en por cientos. Se puede observar como el por ciento de unidades de muestreo entre estado regular, bueno y muy bueno supera al por ciento de malo, muy malo y fallado.

Tabla 3. Estado de las unidades de muestreo. Fuente: autoras (2017).

Estado	Unidades de muestreo (40m)	Longitud de la unidades (m)	%
Excelente	-	-	-
Muy bueno	3	120	20
Bueno	4	160	26
Regular	3	120	20
Malo	3	120	20
Muy malo	1	40	7
Fallado	1	40	7

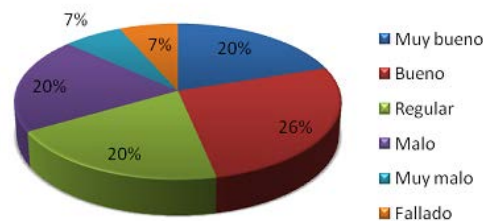


Figura 3. Porcentaje del estado de daño en las unidades

Según los valores de PCI obtenidos en las diferentes unidades de muestreo, el pavimento para el tramo objeto de estudio se evalúa de regular. Esta

evaluación, aun cuando para el usuario resulta una condición aceptable para su circulación vehicular, es ya una alerta para el Centro Provincial de Vialidad de la necesidad de ser intervenido, máxime cuando el pavimento en algunas de las unidades de muestreo se evalúa de muy malo y fallado.

CONCLUSIONES

1. Se propone una metodología para la aplicación del método de evaluación Índice de Condición del Pavimento (PCI), aplicada al tramo objeto de estudio, que obtuvo una calificación de regular al evaluar el estado técnico del pavimento. Con esta evaluación, conjuntamente con el análisis efectuado durante la inspección visual, se concluye que el pavimento no presenta señales de agotamiento de la capacidad estructural. Esta evaluación es una alerta para el Centro Provincial de Vialidad y sugiere un estudio de soluciones para su intervención superficial en corto plazo.
2. Durante la inspección visual realizada al pavimento en el tramo objeto de estudio se detectaron diferentes deterioros, los cuales se identificaron por su tipo, cantidad y severidad. Los más frecuentes fueron las grietas longitudinales y transversales, el agrietamiento en bloques, el parcheo y desprendimiento de agregados, lo que representa un 66 % de los daños levantados. No existe ninguna unidad muestreada en condición de excelente.
3. La evaluación que se obtiene con la aplicación del PCI en el tramo objeto de estudio se corresponde con la evaluación visual de especialistas; por tanto, y dada la ausencia de equipos de auscultación en la provincia, el Centro Provincial de Vialidad debe valorar la posibilidad de la implementación de este método, para lograr que los intendentes realicen las evaluaciones con mayor uniformidad y calidad y propuestas de intervención más efectivas y económicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Branco. F., *et al.* (2011). *Pavimentos Rodoviários*. Portugal.
- Bariani Bernucci, L. *et al.* (2008). *Pavimentación asfáltica. Formación básica para Ingenieros*. Río de Janeiro, Brasil.

González, R. *et al.* (2005). *Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en áreas urbanizadas*. Argentina: Laboratorio de materiales de construcción. Área de materiales viales. Facultad regional La Plata.

Minhoto, M. J. (2005). *Consideração da Temperatura no Comportamento à reflexão de Fendas dos Reforços de Pavimentos Rodoviários Flexíveis* (Tese de Doutoramento em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Guimarães, Portugal.

Orozco Orozco, J. M. (2004). *Sistema de evaluación de pavimentos. Versión 2.0*. México: Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.

Picado-Santos, L. (1993). *Método de Dimensionamento da SHELL para pavimentos Rodoviários Flexíveis (adaptação às condições portuguesas)*. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Coimbra, Portugal.

Recibido: 27 de junio de 2018

Aprobado: 30 de septiembre de 2018