

Patología de pavimentos articulados

Pathology of Interlocking Pavements

Carlos Hernando Higuera Sandoval*
Oscar Fabián Pacheco Merchán **

Resumen

Presenta los resultados del proyecto titulado *Patología de pavimentos articulados*, cuyos propósitos fueron: 1) hacer una recolección de los deterioros típicos de los pavimentos articulados construidos con adoquines de concreto o de ladrillo, y de esta forma elaborar un catálogo de daños para este tipo de estructuras, que facilite la identificación y cuantificación de los averías en una inspección visual, y 2) formular una metodología que permita el análisis y evaluación del estado funcional y estructural de un tramo de vía, y dé una orientación de las labores de mantenimiento y conservación que deben adoptarse.

Palabras clave: patología de pavimentos articulados, catálogo de deterioros, índice de condición del pavimento.

Abstract

It presents a project's results *Pathology of Interlocking Pavements*, with two purposes: 1) To compile the typical damages of the articulated pavements constructed with clay or concrete tiles, in order to elaborate a damages' catalogue for this kind of structures, to facilitate the identification and quantification of deteriorations in a visual inspection. 2) To formulate a methodology which enables the functional and structural status of a road stretch's analysis and evaluation. In addition, to orientate the maintenance and conservation' works that should be adopted.

Key words: pathology of Interlocking Pavements, Catalogue of Damages, Pavement Condition Index.

* Ingeniero en Transporte y Vías; Especialista en Vías Terrestres; Especialista en Carreteras; Especialista en Transportes Terrestres; Magíster en Ingeniería de Vías Terrestres; Profesor de la Escuela de Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Director de la Escuela de Transporte y Vías; Investigador del Grupo Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial (GRINFRAVIAL). Correo electrónico: carlos.higuera@upte.edu.co

** Ingeniero en Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo electrónico: pachecoo_m@hotmail.com

I. Introducción

En un sistema de gestión de infraestructura vial, la evaluación del estado y la condición de una carretera es fundamental para garantizar su continuidad en el tiempo y brindar así un servicio cómodo, rápido, seguro y económico a los usuarios. Es por esta razón que realizar la evaluación de una carretera es una necesidad, para poder determinar las posibles deficiencias y las labores de mantenimiento que esta requiera y, de esta forma, garantizar la buena prestación del servicio.

Cada clase de pavimento presenta unos deterioros típicos, que dan la posibilidad de agruparlos y unificar los criterios y procedimientos para determinarlos y repararlos de manera fácil y eficaz. Con este propósito, hoy en Colombia existen catálogos de daños en pavimentos de concreto asfáltico, pavimentos rígidos y pavimentos en afirmado, los cuales son una gran ayuda para el ingeniero al momento de identificar, evaluar y cuantificar los diversos daños que presenta un tramo de vía, para luego tomar medidas correctivas o preventivas. Pero se han dejado de lado los pavimentos articulados, tal vez porque hace algún tiempo eran menos usados y no se veía la necesidad de hacer una caracterización de los daños que presentaban, sus posibles causas y reparaciones. Sin embargo, este tipo de pavimento es cada vez más utilizado en las vías principales de las ciudades importantes y en diversas zonas urbanas y rurales del país, lo que hace evidente la pertinencia de investigar en este tema.

El proyecto “Patología de pavimentos articulados” surgió debido a la inexistencia de un catálogo de

daños y de una metodología para la evaluación y cuantificación del estado de pavimentos articulados, sus posibles daños y soluciones.

Este artículo presenta un catálogo de daños de los pavimentos articulados, que fue elaborado a partir de una revisión bibliográfica acerca de su patología, y de una observación de campo. Los distintos daños encontrados, tanto en la revisión bibliográfica como en el trabajo de campo, se identificaron según su descripción, posibles causas, forma de medición, símbolo, niveles de severidad y medidas generales de reparación; igualmente se presentan esquemas y fotos del daño para facilitar su interpretación. De igual modo, se propone un índice de deterioro, útil para evaluar el estado de los pavimentos articulados.

II. Metodología

A. Catálogo de deterioros

En la elaboración de este catálogo fue de gran relevancia el libro “Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos”, del ingeniero Carlos Hernando Higuera Sandoval [1]. En el cuadro 1 se muestra una agrupación general de los deterioros.

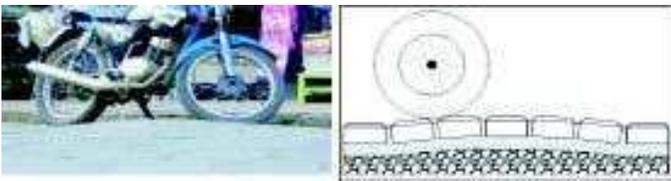
1) Deformaciones

Las deformaciones son cambios repentinos en los perfiles de los pavimentos; estos cambios tienen flechas apreciables que repercuten negativamente en el confort de los usuarios. En los cuadros 2 y 3 se describen los deterioros de este grupo.

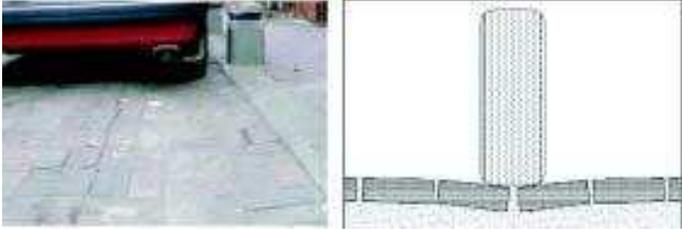
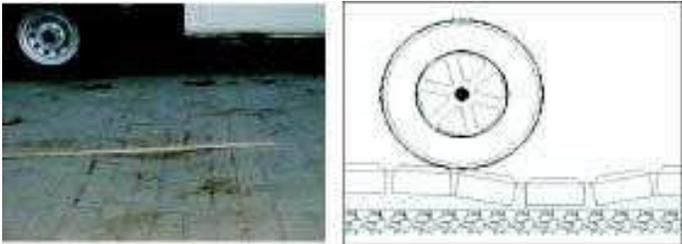
Cuadro 1. Clasificación general de los deterioros de pavimentos articulados

CLASE	TIPO DE DETERIORO	Símbolo	Unidad
Deformaciones	Abultamiento	BA	m ²
	Ahuellamiento	AH	m ²
	Depresiones	DA	m ²
Desprendimientos	Desgaste superficial	DS	m ²
	Pérdida de arena	PA	m ²
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	DB	m ²
	Desplazamiento de juntas	DJ	m ²
Fracturamientos	Fracturamiento	FA	m ²
	Fracturamiento de confinamientos externos	CE	m ²
	Fracturamiento de confinamientos internos	CI	m ²
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	EA	m ²
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos	EC	m ²
	Juntas abierta	JA	m ²
	Vegetación en la calzada	VC	m ²

Cuadro 2. Abultamiento

	ABULTAMIENTO, BA	Unidad: m ²						
Descripción	Son levantamientos o protuberancias que se presentan en la superficie del pavimento							
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios volumétricos de la subrasante. - Generalmente se presentan en subrasantes con suelos expansivos. 							
Foto y esquema								
Severidad	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Baja (B)</td> <td>Flecha menor a 20 mm</td> </tr> <tr> <td>Media (M)</td> <td>Flecha entre 20 y 40 mm</td> </tr> <tr> <td>Alta (A)</td> <td>Flechas mayores a 40 mm</td> </tr> </table>		Baja (B)	Flecha menor a 20 mm	Media (M)	Flecha entre 20 y 40 mm	Alta (A)	Flechas mayores a 40 mm
Baja (B)	Flecha menor a 20 mm							
Media (M)	Flecha entre 20 y 40 mm							
Alta (A)	Flechas mayores a 40 mm							
Reparación	<p>El trabajo por realizar es una nivelación y compactación, siguiendo estos pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Retiro de los adoquines de la zona afectada; se deben limpiar y apilar a un lado, para su posterior recolocación. - Excavación de las capas siguientes; se deben verificar posibles problemas de drenaje y demás elementos que afecten la estabilidad. - Reposición de material, conforme a las especificaciones de la capa por tratar, si es necesario, se deben emplear materiales de mejores especificaciones, para evitar la incidencia de este daño. - Compactación y nivelación de las capas tratadas. - Recolocación y compactación inicial de los adoquines levantados; es aconsejable colocar los adoquines con las caras en la posición primera, para evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento. - Sellado de juntas y compactación final. <p>En caso de que el daño sea muy severo y reincidente, debe considerarse la opción de realizar un tratamiento o una estabilización al suelo de fundación.</p>							

Cuadro 3. *Ahuellamiento y depresiones*

AHUELLAMIENTO, AH		Unidad: m²
Descripción	Depresión que se presenta a lo largo del sentido del tráfico, bajo las huellas de los vehículos.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Hundimientos causados por las cargas del tránsito - Consolidación de las capas subyacentes - Compactación inadecuada de las capas estructurales - Aparcamiento de vehículos pesados durante mucho tiempo 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Flecha menor a 20 mm
	Media (M)	Flecha entre 20 y 40 mm
	Alta (A)	Flechas mayores a 40 mm
Reparación	Aplica el mismo procedimiento descrito para los abultamientos.	
DEPRESIONES, DA		Unidad: m²
Descripción	Son hundimientos localizados en forma circular o semejante a ella, sin pérdida de material.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Asentamientos en el suelo de fundación - Fallas en la capa de arena cuando las partículas de esta se degradan - Drenaje inadecuado o la falta de mantenimiento de este 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Flecha menor a 20 mm
	Media (M)	Flecha entre 20 y 40 mm
	Alta (A)	Flechas mayores a 40 mm
Reparación	Aplica el mismo procedimiento descrito para los abultamientos.	

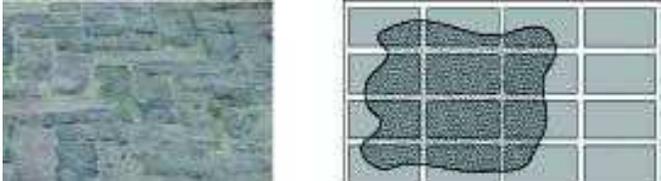
2) Desprendimientos

Los desprendimientos son la pérdida de material en zonas localizadas del pavimento; se describen en el cuadro 4.

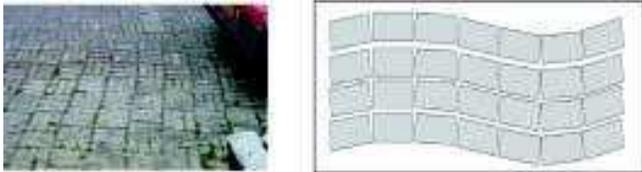
3) Desplazamientos

Los desplazamientos son el corrimiento localizado de los elementos constitutivos del pavimento; son descritos en el cuadro 5.

Cuadro 4. *Desgaste superficial y pérdida de arena*

DESGASTE SUPERFICIAL, DS		Unidad: m²
Descripción	Es la pérdida de finos en la superficie del adoquín, creando una textura superficial rugosa; se forman cavidades y deja expuesto el agregado grueso.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Baja calidad y control en la fabricación de los adoquines - Abrasión de las llantas - Exposición constante a flujos de aguas a presión 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Desgaste superficial aislado. Área inferior o igual a 0,5 m ²
	Media (M)	Desgaste superficial en un área de extensión considerable y de forma continua, solamente con pérdida de finos. Área superior a 0,5 m ²
	Alta (A)	Desgaste superficial en un área de extensión considerable y de forma continua, con pérdida de agregado grueso y formación de concavidades. Área superior a 0,5 m ²
Reparación	Cuando el nivel de severidad es alto, es necesario el reemplazo de las piezas de adoquines por unas nuevas de mejor resistencia al desgaste.	
PÉRDIDA DE ARENA, PA		Unidad: m²
Descripción	Es la aparición de partículas de arena alrededor y sobre los adoquines.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Arrastre de material fino por expulsión de agua al paso de los vehículos - Juntas abiertas - Desplazamiento de juntas 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Se presenta en zonas aisladas y solamente se aprecia pérdida de la arena de sello. Área inferior a 0,5 m ²
	Media (M)	Se presenta en zonas con áreas superiores a 0,5 m ² . Se aprecia pérdida de la arena de sello, pero no se presentan asentamientos ni pérdida de los perfiles del pavimento.
	Alta (A)	Se presenta en zonas con áreas superiores a 0,5 m ² . Se presentan asentamientos y pérdida de los perfiles del pavimento.
Reparación	Se deben verificar los posibles problemas de drenaje del tramo, si no existen drenes y demás obras de drenajes necesarias, se deben construir. El procedimiento para reparar este deterioro consiste en hacer una limpieza de la zona y efectuar, de nuevo, el proceso de sellado de juntas. El proceso de sellado de juntas debe realizarse en cada mantenimiento rutinario. Cuando el nivel de severidad sea alto, es necesario retirar los adoquines, verificar y reparar las condiciones en que se encuentra la capa de arena. Ya corregidas las posibles deficiencias de drenaje y la capa de arena, se continúa con la recolección de los adoquines y el sellado de juntas.	

Cuadro 5. Desplazamiento de borde y desplazamiento de juntas.

DESPLAZAMIENTO DE BORDE, DB		Unidad: m²
Descripción	Son corrimientos localizados de los adoquines junto a los elementos de confinamiento.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Falla localizada en el lugar de construcción del elemento - Construcción y diseño inadecuado del elemento de confinamiento - Cargas del tránsito 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Los adoquines aún están en su posición original y el desplazamiento de borde es menor a 2 cm.
	Media (M)	Los adoquines se desplazaron de su posición original y el desplazamiento de borde está entre 2 y 5 cm.
	Alta (A)	Los adoquines se desplazaron de su posición original, algunas piezas ya se salieron del pavimento y el desplazamiento de borde es superior a 5 cm.
Reparación	<ul style="list-style-type: none"> - Retirar el material afectado y limpiar la zona - Revisar y corregir condiciones de estabilidad del sitio - Revisar y corregir problemas de drenaje del sitio - Reconstruir los elementos de confinamiento - Reacomodar el adoquinado 	
DESPLAZAMIENTO DE JUNTAS, DJ		Unidad: m²
Descripción	Los adoquines se apartan de su alineamiento inicial; generalmente, se da en hiladas de adoquines rectangulares.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas de frenado - Sitios de alta pendiente - Falta de confinamientos transversales o distancia no adecuada de estos 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	La separación promedio de las aberturas de las juntas es menor a 5 mm
	Media (M)	La separación promedio de las aberturas de las juntas está entre 5 y 10 mm
	Alta (A)	La separación promedio de las aberturas de las juntas es mayor a 10 mm
Reparación	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar y corregir si existen elementos de confinamiento y si están a una distancia adecuada. Si no existen, es necesario construirlos. - Retirar los adoquines de la zona afectada, y realizar el debido procedimiento de limpieza y apilamiento de estos. - Verificar si la capa de arena está en condiciones idóneas o si es necesario reemplazarla. - Colocar de nuevo los adoquines en su posición de diseño, realizar el procedimiento de sellado de juntas y limpieza de la zona. 	

4) Fracturamientos

Son fisuras y grietas en las piezas de adoquines o demás elementos constitutivos del pavimento, como los elementos de confinamiento (bordillos). Cuando

los fracturamientos se presentan de forma continua, ocurren pérdidas de material, formación de concavidades e incrustación de objetos ajenos al pavimento; estos deterioros son descritos en los cuadros 6 y 7.

Cuadro 6. Fracturamiento (FA) y fracturamiento de confinamientos externos (CE)

FRACTURAMIENTO, FA		Unidad: m ²
Descripción	Son corrimientos localizados de los adoquines junto a los elementos de confinamiento.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Espesor inadecuado de los adoquines - Espesor inadecuado de las capas de apoyo - Deficiencia en la calidad de los materiales de la capa de apoyo o de los adoquines - Paso de cargas extraordinarias 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Fractura de adoquines de manera aislada. Área menor a 0,5 m ²
	Media (M)	Fractura de adoquines en un área de extensión considerable y de forma continua. Área igual o superior a 0,5 m ²
	Alta (A)	Fractura de adoquines en un área de extensión considerable y de forma continua. Se presenta pérdida de material, se forman concavidades que generan una textura rugosa. Área igual o superior a 0,5 m ²
Reparación	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que el diseño del modelo estructural actual y el espesor de los adoquines cumplen con las solicitaciones de tránsito actual y futuro. En caso en que no se cumplan, deben mejorarse las especificaciones y espesores de las capas o de los adoquines. - En caso de que el nivel de severidad sea alto, es necesario reemplazar las piezas de adoquines. Para reemplazar los adoquines aplica el mismo procedimiento descrito en el deterioro de desplazamiento de juntas (DJ). 	
FRACTURAMIENTO DE CONFINAMIENTOS EXTERNOS, CE		Unidad: m ²
Descripción	Es el deterioro y destrucción parcial o total de los confinamientos externos. En estados avanzados de deterioro se presenta pérdida de material, lo que conlleva la incrustación de partículas y objetos extraños al pavimento.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Fatiga provocada por el paso del tránsito - Baja calidad de los materiales o control precario en el proceso de construcción - Impacto de las llantas de los vehículos, cuando los confinamientos están a un nivel superior al de la rasante de la carretera. - Invasión de vegetación - Retracción del concreto (en caso de uso de este material) 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Se presentan fisuras menores a 3 mm
	Media (M)	El elemento presenta grietas (>3mm) y aún se mantiene en su lugar, sirviendo como confinamiento
	Alta (A)	El elemento presenta grietas (>3mm), pero ya se ha desplazado de su ubicación inicial y no impide el desplazamiento lateral de los adoquines.
Reparación	<p>Cuando el nivel de severidad sea alto, el procedimiento de reparación para este deterioro es el siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificar que el diseño y disposición del elemento sea el adecuado - Retirar el material afectado y limpiar la zona - Revisar y corregir condiciones de estabilidad - Revisar y corregir problemas de drenaje - Reconstrucción de los elementos de confinamiento - Reacomodación del adoquinado 	

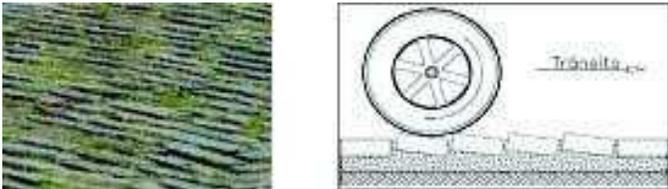
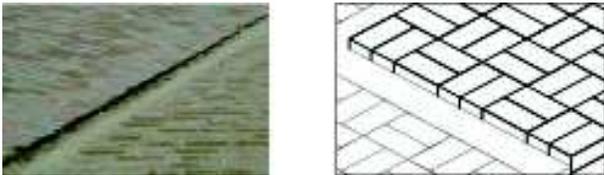
Cuadro 7. *Fracturamiento de confinamientos internos*

FRACTURAMIENTO DE CONFINAMIENTOS INTERNOS, CI		Unidad: m ²
Descripción	Es el deterioro y destrucción parcial o total de los confinamientos internos. En estados avanzados de deterioro se presenta pérdida de material, lo que da lugar a la incrustación de partículas y objetos extraños al pavimento.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Fatiga provocada por el paso del tránsito - Baja calidad de los materiales o control precario en el proceso de construcción - Impacto de las llantas de los vehículos, cuando los confinamientos están a un nivel superior al de la rasante de la carretera - Invasión de vegetación - Retracción del concreto (cuando se presenta esta material) 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Se presentan fisuras menores a 3 mm
	Media (M)	El elemento presenta grietas (>3mm), no se presentan pérdidas de material y aún se mantiene en su lugar, sirviendo como confinamiento.
	Alta (A)	El elemento presenta grietas (>3mm), y se presenta pérdida de material, lo cual permite la incrustación de basuras y demás partículas u objetos extraños al pavimento. El elemento no impide el desplazamiento longitudinal y lateral de los adoquines.
Reparación	Cuando el nivel de severidad sea alto, el procedimiento de reparación para este deterioro es el siguiente: <ul style="list-style-type: none"> - Verificar que el diseño y la disposición del elemento sean adecuados - Retirar el material afectado y limpiar la zona - Revisar y corregir condiciones de estabilidad del sitio - Revisar y corregir problemas de drenaje - Reconstruir los elementos de confinamiento - Reacomodar el adoquinado 	

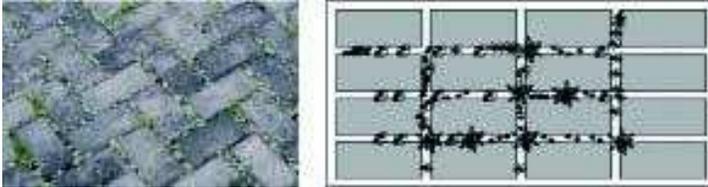
5) *Otros deterioros*

En esta categoría se encuentran diversos deterioros que afectan el funcionamiento estructural y funcional del pavimento; en los cuadros 8 y 9 se describen.

Cuadro 8. Escalonamiento entre adoquines y escalonamiento entre adoquines y confinamientos

ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES, EA		Unidad: m ²
Descripción	Es el cambio brusco de nivel entre hiladas de adoquines.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Error de construcción; debido a la falta de control o a técnica precarias de construcción - Torsión ocasionada por las cargas del tránsito - Patrón inapropiado de diseño de colocación de los adoquines 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	La altura del desnivel promedio es menor a 5 mm
	Media (M)	La altura del desnivel promedio está entre 5 y 10 mm
	Alta (A)	La altura del desnivel promedio es mayor a 10 mm
Reparación	<ul style="list-style-type: none"> - Retiro de los adoquines de la zona afectada; se deben limpiar y dejar a un lado para su recolocación - Reparación y nivelación de la capa de arena - Recolocación y compactación inicial de los adoquines levantados; es aconsejable colocar adoquines con las caras en la posición anterior, y así evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento - Sellado de juntas y compactación final 	
ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES Y CONFINAMIENTOS, EC		Unidad: m ²
Descripción	Es el cambio brusco de nivel entre los elementos de confinamiento y los adoquines.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Variación del nivel superior del elemento de confinamiento con los adoquines al momento de construcción. - Nivel superior de la cota de rasante del adoquinado o nivel inferior al elemento de confinamiento en la construcción de este. 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	La altura del desnivel promedio es menor a 5 mm
	Media (M)	La altura del desnivel promedio está entre 5 y 10 mm
	Alta (A)	La altura del desnivel promedio es mayor a 10 mm
Reparación	<p>Si el problema es debido al confinamiento, este se debe reemplazar por uno que esté al nivel idóneo. Si el deterioro es causado porque los adoquines de un carril quedaron a un nivel inferior o superior a los elementos de confinamiento, el procedimiento por seguir es:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Retirar los adoquines de la zona afectada; se deben limpiar y apilar a una lado para la recolocación. - Rectificar el perfil en el área afectada, para alcanzar el nivel ideal. - Reparar y nivelar las capas afectadas durante el proceso. - Recolocar y compactar los adoquines levantados; es aconsejable colocar los adoquines con las caras en la posición primera, para evitar así discontinuidades de tonalidad en el pavimento. - Sellar las juntas y compactar. <p>También se debe verificar si existen problemas de inestabilidad del suelo en esa zona.</p>	

Cuadro 9. Juntas abiertas y vegetación en la calzada

JUNTAS ABIERTAS, JA		Unidad: m²
Descripción	Es una separación entre juntas superior a 3 mm, que permite la pérdida de arena de sello y la incrustación de partículas a través de las juntas, propiciando la destrucción de las aristas de los adoquines.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Efecto de las cargas del tránsito - Confinamientos inadecuados o falta de estos - Falta del sello de juntas - Error constructivo debido a la falta de control o precarias técnicas de construcción 	
Foto		
Severidad	Baja (B)	Separación entre juntas menores a 5 mm
	Media (M)	Separación entre juntas entre 5 y 10 mm
	Alta (A)	Separación entre juntas mayores a 10 mm
Reparación	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar la zona afectada - Retirar los adoquines, limpiarlos y apilarlos a un lado para la recolocación - Reparar y nivelar la capa de arena - Recolocar y compactar los adoquines levantados; es aconsejable colocar los adoquines con las caras en la posición inicial, para evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento - Sellar las juntas y compactarlas 	
VEGETACIÓN EN LA CALZADA, VC		Unidad: m²
Descripción	Es la invasión o crecimiento de vegetación en las juntas de la calzada. La vegetación puede llegar a levantar el adoquinado.	
Causas	<ul style="list-style-type: none"> - Abandono de la carretera - Falta de limpieza y desmonte de las franjas adyacentes de la calzada 	
Foto y esquema		
Severidad	Baja (B)	Sólo hay aparición de vegetación entre las juntas y es apenas apreciable.
	Media (M)	La vegetación ya está por encima de los adoquines.
	Alta (A)	La vegetación empieza a levantar los adoquines.
Reparación	<p>Cuando los niveles de severidad son bajos o medios, el procedimiento por realizar es un desmonte manual; se debe retirar la arena de sello contaminada, con las debidas herramientas, y volver a realizar el proceso de sellado de juntas.</p> <p>Cuando el nivel de severidad es alto, es necesario realizar los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desmonte manual de la zona afecta y limpieza de esta. - Retiro y limpieza de los adoquines; estos deben ser apilados de forma organizada - Chequear y, si es necesario, reparar las capas afectadas - Reacomodar los adoquines y sellar las juntas, con los debidos procesos de nivelación, compactación y limpieza. <p>Si es el caso, realizar el desmonte y limpieza de las zonas adyacentes de la vía. También es aconsejable utilizar algunos métodos de ataque químico que impidan el crecimiento de vegetación, como es la fumigación con herbicidas.</p>	

B. Índice de Condición del Pavimento, ICP

La metodología propuesta para hallar el índice de condición de pavimentos articulados se fundamenta en determinar cómo un deterioro repercute, negativamente, en los parámetros de tipo funcional y estructural, teniendo en cuenta su clase, gravedad y extensión. Por tal razón, se desarrollaron dos índices, un Índice de Condición Funcional (ICF) y un Índice de Condición Estructural (ICE) [2]. Con los índices anteriores sigue determinar un tercer

índice, que agrupa y representa a estos; este es el Índice de Condición del Pavimento (ICP). Una vez establecido el Índice de Condición del Pavimento se determina la calificación del estado del tramo en estudio, de acuerdo con el criterio de: *muy malo*, *malo*, *regular*, *bueno* y *muy bueno*; se dan las recomendaciones del tipo de intervención que debe efectuarse en el tramo en cuestión, con base en la calificación asignada. En la figura 1 se muestra el resumen de la metodología propuesta, para hallar Índice de Condición del Pavimento (ICP).

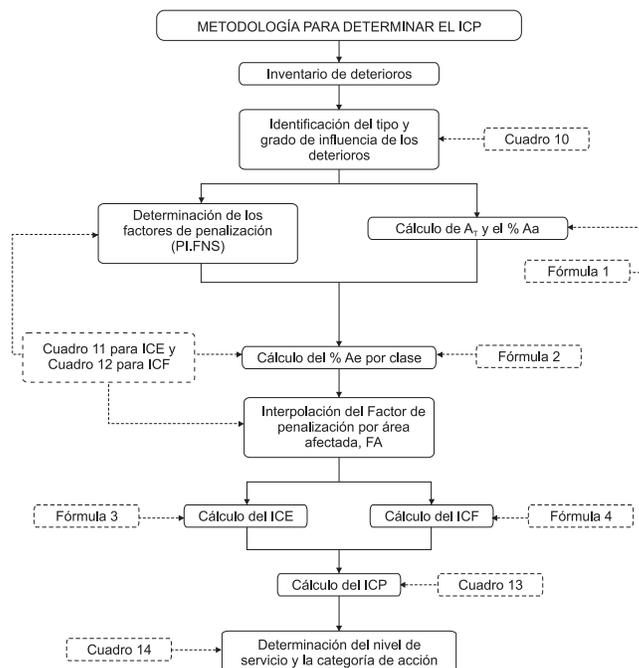


Figura 1. Metodología para hallar el Índice de Condición del Pavimento, ICP

Con el objeto de establecer los factores de penalización y demás criterios, se tomaron como referencia diversos manuales y metodologías [2], [4], [5], [6], [7], [8].

1) Inventario de deterioros

El inventario de deterioros es un primer paso en el establecimiento de la condición de un pavimento. Con este se procede a calificar y cuantificar la capacidad con que cuenta la vía para continuar

permitiendo una circulación aceptable al tránsito. Por medio de la evaluación del pavimento se determinan los posibles problemas y soluciones [1]-[3].

2) Identificación del tipo y grado de influencia de los deterioros por clase, FC

En el cuadro 10 se muestra cada tipo de deterioro y si afectan estructural o funcionalmente el pavimento; también se señalan los factores de influencia de los deterioros, según su clase.

Cuadro 10. Tipo y factor de influencia por clase

CLASE	TIPO DE DETERIORO	Afecta parámetro		INFLUENCIA POR CLASE, FC	
		Estructural	Funcional	Estructural	Funcional
Deformaciones	Abultamiento	+	+	48	48
	Ahuellamiento	+	+		
	Depresiones	+	+		
Desprendimientos	Desgaste superficial		+	6	9
	Pérdida de arena	+	+		
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	+	+	10	10
	Desplazamiento de juntas		+		
Fracturamientos	Fracturamiento	+		28	10
	Fracturamiento de confinamientos externos	+	+		
	Fracturamiento de confinamientos internos	+	+		
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines		+	8	23
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos		+		
	Juntas abiertas		+		
	Vegetación en la calzada	+	+		
		Sumatoria		100	100

3) Cálculo del área total (A_T) y del porcentaje de área afectada (% A_a)

Para el cálculo del área total (A_T) de cada tramo se recomienda tomar tramos de 100 m y multiplicarlos por el ancho de calzada. El porcentaje de área afectada (% A_a) para un deterioro se calcula haciendo la relación entre el área afectada por el deterioro y el área total (1).

$$\% A_a_i = \frac{A_{a_i}}{A_T} \times 100 \quad (1)$$

Donde,

% A_a : porcentaje de área afectada por el deterioro i

A_a : área afectada por el deterioro i

A_T : área total del tramo

i: deterioro

En el caso de los deterioros cuantificados por magnitud y con el fin de mantener unidades consistentes, esa magnitud se va a multiplicar por un ancho de referencia de 0,6 m; este valor de referencia fue tomado del “Manual de inspección visual de pavimentos rígidos”, de la Universidad Nacional de Colombia [6].

4) Determinación de los factores de penalización

Según el grado de influencia que cada deterioro ocasiona por su clase, severidad y extensión, en los parámetros de tipo estructural o funcional, se le ha asignado pesos y valores de penalización; cuanto mayores sean estos valores, su efecto negativo es mayor. En los cuadros 11 y 12 se muestran factores de penalización.

Cuadro 11. Factores de penalización para el Índice de Condición Estructural, ICE

CLASE	DETERIORO	PESO EN SU CLASE, PI	NIVEL SEVERIDAD, FNS			% AREA EQUIVALENTE AFECTADA, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	> 15
Deformaciones	Abultamiento	1,2	1,00	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Ahuellamiento	1,2	1,00	1,15	1,30					
	Depresiones	1,0	1,00	1,10	1,20					
Desprendimientos	Pérdida de arena	1,0	1,00	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1,0	1,00	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Fracturamientos	Fracturamiento	1,1	1,00	1,10	1,20	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Fracturamiento de confinamientos externos	1,2	1,00	1,15	1,30					
	Fracturamiento de confinamientos internos	1,0	1,00	1,10	1,20					
Otros deterioros	Vegetación en la calzada	1,0	0,80	1,00	1,20	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00

Cuadro 12. Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional, ICF

CLASE	DETERIORO	PESO EN SU CLASE, PI	NIVEL SEVERIDAD, FNS			% AREA EQUIVALENTE AFECTADA, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	> 15
Deformaciones	Abultamiento	1,2	1,00	1,25	1,50	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Ahuellamiento	1,2	1,00	1,15	1,30					
	Depresiones	1,0	1,00	1,20	1,40					
Desprendimientos	Desgaste superficial	1,1	1,00	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Pérdida de arena	1,0	1,00	1,20	1,40					
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1,2	1,00	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Desplazamiento de juntas	1,0	1,00	1,10	1,20					
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	1,2	1,00	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Fracturamiento de confinamientos internos	1,0	1,00	1,10	1,20					
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	1,2	1,00	1,25	1,50	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos	1,1	1,00	1,15	1,30					
	Juntas abiertas	1,0	1,00	1,15	1,30					
	Vegetación en la calzada	1,1	1,00	1,15	1,30					

5) Cálculo del porcentaje de área equivalente afectada, %Ae

El porcentaje de área equivalente afectada (%Ae) es la combinación de tres factores (2).

$$\%Ae_i = \sum (PI_j \times \%Aa_j \times FNS_j) \quad (2)$$

Donde,

%Ae: porcentaje de área equivalente afectada para los deterioros de clase i

i: clase de deterioro

PI: peso del deterioro j en su clase i

%Aa: porcentaje de área afectada por el deterioro j

FNS: factor de penalización por nivel de severidad del deterioro j

j: deterioro

El porcentaje de área equivalente afectada es un porcentaje igual o mayor a cero (%Ae ≥ 0,0%), y cuando dé más del 15,0%, simplemente se debe anotar que dio mayor al 15,0% (%Ae > 15,0%).

6) Cálculo del factor de penalización por área afectada, FA

Este factor es el grado de afectación que causó la combinación de los deterioros de una misma clase, al porcentaje de influencia de ese tipo de deterioros en los parámetros estructurales y funcionales.

Para hallar el factor de penalización por área afectada (FA) se utiliza el cuadro 11, para el ICE, y el cuadro 12, para el ICF. En estos cuadros es necesario interpolar entre los rangos del porcentaje de área equivalente afectada (%Ae).

7) Cálculo de los índices ICE y ICF

Al calcular el ICE y el ICF se utilizan los modelos matemáticos que están en función del factor de influencia por clase del deterioro (FC) y del factor de penalización por área afectada (FA); el resultado debe redondearse al número entero.

$$ICE = 100 - \sum (FC_i \times FA_i) \quad (3)$$

$$ICF = 100 - \sum (FC_i \times FA_i) \quad (4)$$

Donde,

ICE: índice de Condición Estructural

ICF: índice de Condición Funcional

FC: factor de influencia por clase de deterioro en el índice

FA: factor de penalización por área afectada

i: clase de deterioro

Los índices varían en una escala de 0 a 100; siendo cero el valor para un pavimento fallado o en pésimo estado, y cien para un pavimento en excelentes condiciones.

8) *Cálculo del Índice de Condición del Pavimento, ICP*

El Índice de Condición del Pavimento (ICP) es la combinación del Índice de Condición Estructural (ICE) y el Índice de Condición Funcional (ICF); su valor es un número entero que varía en una escala de uno a cinco. Para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (ICP) se utiliza la matriz del cuadro 13.

9) *Escala del Índice de Condición del Pavimento, ICP*

Obtenida la calificación del Índice de Condición del Pavimento (ICP), se determina el nivel de servicio y las acciones de actuación necesarias, de acuerdo con el cuadro 14.

Cuadro 13. *Matriz para el cálculo del ICP*

CALIFICACIÓN DEL ICP		RANGOS DEL ICF				
		86-100	71-85	41-70	21-40	0-20
RANGOS DEL ICE	86-100	5	4	4	3	2
	71-85	4	4	3	3	2
	41-70	4	3	3	2	1
	21-40	3	3	2	2	1
	0-20	2	2	1	1	1

Cuadro 14. *Nivel de servicio y categorías de acción del ICP*

CALIFICACIÓN ICP	NIVEL DE SERVICIO	CATEGORÍA DE ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
5	Muy bueno	Mantenimiento rutinario	Pavimento en condición muy buena. El nivel de comodidad y seguridad percibido por los usuarios es satisfactorio; ocasionalmente se presentan pequeños daños que no afectan de manera significativa la circulación y pueden ser evitados o corregidos con el mantenimiento rutinario.
4	Bueno	Mantenimiento rutinario y recurrente	Pavimento en condición buena, la circulación es cómoda. Se presentan daños localizados en etapa de iniciación.
3	Regular	Refuerzo mantenimiento rutinario	Pavimento en estado regular; la circulación deja de ser cómoda. Se presentan daños de manera constante en etapas avanzadas.
2	Malo	Rehabilitación	Pavimento en condición mala; la circulación es muy incómoda. Se presentan daños en etapas muy desarrolladas.
1	Muy malo	Reconstrucción	Pavimento en condición muy mala; la vía se vuelve intransitable. Los deterioros están muy desarrollados y son irreversibles, ya que el pavimento está totalmente degradado.

III. Resultados

Se hizo un inventario de deterioros de tres tramos de vías, con el objetivo de demostrar la forma de cálculo y la consistencia de la metodología propuesta para hallar el Índice de Condición del Pavimento (ICP).

El tramo analizado es una vía en adoquines de arcilla cocida (ladrillo). Se hizo el inventario de daños de 200 m y se dividió en dos tramos de 100 m. El ancho de calzada es de 10 m.

A. Datos obtenidos y determinación del Índice de Condición del Pavimento, ICP

Tramo 0–100 m. El estado actual de este tramo, a simple vista, es de regular a bueno. Los resultados del inventario y el resumen de cálculos están plasmados en el cuadro 15.

Sitio 1. Urbanización Las Quintas; carrera 5ª, nº 48 – 48A – 48B – 48C, Tunja.

Cuadro 15. Resumen de cálculos – Urb. Las Quintas, Tramo 0–100 m

RESUMEN DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL, ICE														
CLASE	FC _i	Símbolo	PESO EN SU CLASE, PI	%Aa por nivel severidad			%Ae	% AREA EQUIVALENTE AFECTADA, FA					FA _i	FC _i ×FA _i
				Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	> 15		
Deformaciones	48	BA	1,2	0,00	0,00	0,00	8,52	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,57	27
		AH	1,2	0,00	0,00	0,00								
		DA	1,0	0,00	0,76	6,40								
Desprendimientos	6	PA	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,00	0
		DB	1,0	0,00	0,00	0,00								
Fracturamientos	28	FA	1,1	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,08	2
		CE	1,2	0,00	0,14	0,00								
		CI	1,0	0,60	0,00	0,00								
Otros deterioros	8	VC	1,0	1,26	0,00	0,00	1,01	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,10	1
Σ(FC_i×FA_i) = 30														
Fórmula 3. ICE = 100 – Σ(FC_i×FA_i) = 70														
RESUMEN DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN FUNCIONAL, ICF														
CLASE	FC _i	Símbolo	PESO EN SU CLASE, PI	%Aa por nivel severidad			%Ae	% AREA EQUIVALENTE AFECTADA, FA					FA	FC _i ×FA _i
				Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	> 15		
Deformaciones	48	BA	1,2	0,00	0,00	0,00	9,87	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,60	29
		AH	1,2	0,00	0,00	0,00								
		DA	1,0	0,00	0,76	6,40								
Desprendimientos	9	DS	1,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,00	0
		PA	1,0	0,00	0,00	0,00								
Desplazamientos	10	DB	1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,00	0
		DJ	1,0	0,00	0,00	0,00								
Fracturamientos	10	CE	1,2	0,00	0,14	0,00	0,79	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,08	1
		CI	1,0	0,60	0,00	0,00								
Otros deterioros	23	EA	1,2	0,00	0,00	0,00	2,77	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00	0,28	6
		EC	1,1	0,00	0,00	0,00								
		JA	1,0	0,00	1,20	0,00								
		VC	1,1	1,26	0,00	0,00								
Σ(FC_i×FA_i) = 36														
Fórmula 4. ICF = 100 – Σ(FC_i×FA_i) = 64														
Cuadro 13. ICP = 3														
NIVEL DE SERVICIO: Regular														
CATEGORÍA DE ACCIÓN: Refuerzo – Mantenimiento Rutinario														

Según el ICP obtenido (3), se tiene que el nivel de servicio de este tramo es *regular*; y el tipo de categoría de acción que requiere es un *refuerzo–mantenimiento*

rutinario. A continuación se presentan las fotos 1 y 2, con la intención de dar una idea del estado del tramo de la vía.



Foto 1. Depresión



Foto 4. Sin deterioros



Foto 2. Fracturamiento CE

El ICP obtenido es de 5, por lo tanto, el nivel de servicio de este tramo es *muy bueno*, y el tipo de categoría de acción que requiere es un *mantenimiento rutinario*.

Sitio 2. Barrio Suamox, transversal 0A Este, calle 69, Tunja.

Vía adoquinada con ladrillos de arcilla. La longitud del tramo es de 75 m y su ancho de 5,40 m. El estado actual de este tramo, a simple vista, es de *malo* a *muy malo*. Las fotos 5 a 8 dan una idea del estado de la vía.

Tramo 100–200 m. El estado actual de este tramo, a simple vista, es de bueno a muy bueno, los deterioros hallados eran despreciables. Las fotos 3 y 4 dan una idea del estado de la vía.



Foto 3. Sin deterioros



Foto 5. Desplazamiento de juntas



Foto 6. Fracturamiento CI



Foto 7. Vegetación en la calzada



Foto 8. Deformaciones

El ICP obtenido es de 1, por lo tanto, el nivel de servicio de este tramo es *muy malo*, y el tipo de categoría de acción que requiere es de *reconstrucción*.

Sitio 3: Barrio Suamox, transversal 0 Este, calle 69, Tunja.

Tiene una longitud de 75 m y su ancho es de 5,40 m. El estado actual de este tramo, a simple vista, es de *malo a muy malo*. Las fotos 9 a 12 dan una idea del estado de la vía.



Foto 9. Desplazamiento de juntas



Foto 10. Escalonamiento EA



Foto 11. Vegetación en la calzada



Foto 12. Abultamiento

El ICP obtenido es de 1, por lo tanto, el nivel de servicio de este tramo es *muy malo*, y el tipo de categoría de acción que requiere es una *reconstrucción*.

IV. Conclusiones

Se hizo una recopilación de catorce daños, que fueron agrupados en cinco clases, según su forma y lugar de ocurrencia: deformaciones, desprendimientos, desplazamientos, fracturamientos y otros. Con los deterioros recopilados se elaboró un catálogo, en donde cada uno de estos es descrito, teniendo en cuenta posibles causas, niveles de severidad y un criterio general de reparación; con el fin de unificar criterios y procedimientos para identificar y cuantificar los deterioros.

Con el objetivo de establecer el estado de un pavimento articulado, se determinó qué deterioros repercuten negativamente en los parámetros de tipo funcional y en los de tipo estructural. En los parámetros de tipo estructural se estableció que el desgaste superficial, el desplazamiento de juntas, el escalonamiento entre adoquines y confinamientos, y el escalonamiento entre adoquines y las juntas abiertas no influyen de manera significativa en el comportamiento estructural. En los parámetros de tipo funcional, todos influyen, excepto el fracturamiento de adoquines.

Una vez establecida la forma como los deterioros afectan este tipo de estructuras, se planteó un índice matemático que permite hallar el Índice de Condición Estructural (ICE) y el Índice de Condición Funcional (ICF). El modelo está en función del grado de influencia que cada clase de deterioro causa en los índices y a una penalización por área afectada. El modelo matemático tiene una escala de cero a cien, siendo cero el valor para un pavimento en pésimas condiciones y cien para uno en excelentes condiciones.

Para hallar el grado de influencia que todos los tipos de deterioro causan en cada índice, se definió en qué porcentaje los daños de cada clase influyen en el comportamiento funcional y estructural de esta clase de estructuras. La distribución porcentual para el Índice de Condición Estructural (ICE) es un 48% de deformaciones, 6% de desprendimientos, 10% de desplazamientos, 28% de fracturamientos y un 8% de otros deterioros. En el Índice de Condición Funcional (ICF) es un 48% de deformaciones, 9% de desprendimientos, 10% de desplazamientos, 10% de fracturamientos y un 28% de otros deterioros. Los valores de estos porcentajes son los factores de influencia por clase de deterioro en cada índice (FC).

De la combinación entre el Índice de Condición Estructural (ICE) y el Índice de Condición Funcional (ICF) resulta el Índice de Condición del Pavimento (ICP); este índice es una herramienta que permite unificar los criterios acerca del nivel de servicio prestado y da una orientación de las labores de

mantenimiento o conservación que deben realizarse. El Índice de Condición del Pavimento (ICP) varía de uno a cinco; siendo uno para una estructura que presta un nivel de servicio muy malo, y es necesario reconstruirla, y cinco para una estructura con un nivel de servicio muy bueno, la cual solamente requiere mantenimiento rutinario.

Con el fin de comprobar la coherencia de la metodología propuesta para hallar el Índice de Condición del Pavimento (ICP), se realizó un inventario de deterioros a unos tramos de vías en condiciones estructurales y funcionales diferentes; los resultados obtenidos son acordes con el estado real de los tramos, lo que indica que la metodología desarrollada en este trabajo sí es coherente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela de Transporte y Vías, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por el apoyo brindado en la realización de la presente investigación.

Referencias

- [1] C. H. Higuera Sandoval. *Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos*. Volumen 1. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Uptc. Tunja, 2008.
- [2] J. R. Pérez Cuervo y D. I. Restrepo Holguín. *Carreteras destapadas: Nociones de diseño, construcción y mantenimiento –Patología y técnicas de mantenimiento–*. Tunja, 2007. Trabajo de grado (Ingeniero en Transporte y Vías). Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. Uptc.
- [3] M. Salgado Torres. *Módulo gestión de pavimentos*. Bogotá, 2003.
- [4] Instituto Nacional de Vías. *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*. Bogotá, 2002.
- [5] Instituto Nacional de Vías. *Metodología para la determinación y calificación del estado de la red vial*. Bogotá, 2004.
- [6] Universidad Nacional de Colombia. *Manual de inspección visual de pavimentos rígidos. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras*. Convenio interadministrativo 0587 - 03, INVIAS. Bogotá, 2006.
- [7] J. A. Álvarez. *Índices de estado para pavimentos de concreto. Gestión y desarrollo de pavimentos de concreto*. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Bogotá.
- [8] Sedesol. *Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. Manual de elaboración del inventario del estado funcional de pavimentos*. Tomo VI. México, 2002.

Fecha de recepción: 23 de octubre de 2007
Fecha de aprobación: 30 de mayo de 2008