

PATOLOGÍA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS

Carlos Hernando Higuera Sandoval*
Óscar Fabián Pacheco Merchán**

Recibido: 10/04/2009

Aceptado: 08/10/2010

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un proyecto de grado sobre patología de pavimentos articulados, el cual fue elaborado con el propósito de 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 deterioros para este tipo de estructuras que facilitará la identificación y cuantificación de los deterioros en una inspección visual.

El segundo propósito de este proyecto, es la formulación para Colombia de una metodología que permita determinar el Índice de Condición de las estructuras de pavimentos articulados.

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

* Ingeniero en Transportes y Vías, especialista en Vías Terrestres, especialista en Carreteras, Especialista en Transportes Terrestres, magíster en Ingeniería de Vías Terrestres, profesor asociado de la Escuela de Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá. Director de la Escuela de Transporte y Vías, investigador del Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial - GRINFRAVIAL. Correo electrónico: carlos.higuera@uptc.edu.co.

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

PATHOLOGY OF INTERLOCKING PAVEMENTS

ABSTRACT

This article presents the results of a thesis on pathology of interlocking pavements, which objective was to make a compilation of typical damages of interlocking pavements constructed with concrete or brick pavers and, in this way, to elaborate a catalogue of damages for this kind of structures which will make the identification and quantification of deteriorations possible in a visual inspection.

The second purpose of this project is the formulation of a methodology which allows determining the Index of pavement conditions for Colombia

Key words: pathology of interlocking pavements, catalogue of damages, pavement condition index.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del estado y la condición de una carretera es parte fundamental en un sistema de gestión de infraestructura vial, para garantizar la continuidad de ésta en el tiempo, brindando 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 ésta requiera, y de esta forma, garantizar la buena prestación del servicio.

Cada clase de pavimento presenta unos deterioros típicos. Luego, se busca hacer una unificación de criterios y procedimientos para poder cuantificar y reparar estos deterioros de manera fácil y eficaz. Es por esta razón, que hoy día en Colombia existen catálogos de daños para pavimentos en concreto asfáltico, pavimentos rígidos y hasta para pavimentos en afirmado, lo cual es una gran ayuda para el ingeniero al momento de identificar, evaluar y cuantificar los diversos daños con que cuenta un tramo de vía y luego tomar medidas correctivas y/o preventivas.

Pero se han dejado un poco 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, sus posibles causas y reparaciones. Sin embargo, este tipo de pavimento está siendo cada vez más utilizado en las vías principales de las ciudades importantes, y en las demás zonas urbanas y rurales del país, lo que hace evidente la necesidad de investigar en este tema.

Hecha la revisión del estado del arte se encontró que en el mundo es muy escasa la literatura sobre metodologías para la determinación del índice de condición de los pavimentos articulados. Algunas metodologías de referencias son las propuestas por la ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute), la American Association of State Highway Transportation Official – AASHTO y algunas entidades encargadas de difundir los avances en los

sistemas de gestión de carreteras. Las metodologías enunciadas sirvieron de referencia para formular o proponer la presente metodología para Colombia.

La presente investigación surge debido a la inexistencia en Colombia de un catálogo de daños y de una metodología para la evaluación y cuantificación del estado y sus posibles soluciones que pueda dársele a un pavimento articulado.

Este artículo presenta un catálogo de daños de los pavimentos articulados para Colombia, el cual fue elaborado con base en las observaciones directas de campo realizadas por los autores en diversos tipos de estructuras de pavimentos articulados. A los distintos daños encontrados en el trabajo de campo, se les hizo su respectiva identificación, su descripción, sus posibles causas, forma de medición, símbolo, niveles de severidad, medidas generales de reparación, además esquemas y fotos del daño para facilitar su interpretación.

También, se propone para Colombia la metodología para determinar el Índice de Condición del Pavimento en estructuras de pavimentos articulados.

1 METODOLOGÍA

1.1 Catálogo de deterioros

Para la elaboración de este catálogo fue de gran apoyo el libro *Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos* [1]. A continuación en la tabla 1 (página siguiente), se muestra una agrupación general de los deterioros.

1.1.1 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 las figuras 1 y 2 se describen los deterioros de este grupo.

Tabla 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
	Desplazamiento de juntas	DJ	m ²
Fracturamientos	Fracturamiento	FA	m ²
	Fracturamiento de confinamientos externos	CE	m
	Fracturamiento de confinamientos internos	CI	m ²
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	EA	m ²
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos	EC	m ²
	Juntas abiertas	JA	m ²
	Vegetación en la calzada	VC	m ²

Fuente: elaboración propia.

ABULTAMIENTO, BA		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Son levantamientos o protuberancias que se presentan en la superficie del pavimento.	
CAUSAS	Cambios volumétricos de la subrasante. Generalmente se presentan en subrasantes con suelos expansivos.	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Flecha menor de 20 mm
	MEDIA (M)	Flecha entre 20 y 40 mm
	ALTA (A)	Flechas mayores a 40 mm
REPARACIÓN	<p>El trabajo a 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 siguientes capas; se deben verificar posibles problemas de drenaje y demás elementos que estén afectando la estabilidad. – Reposición de material conforme a las especificaciones de la capa a tratar. Si es necesario, se deben tomar materiales de mejores especificaciones, para evitar la incidencia de este daño nuevamente. – Compactación y nivelación de las capas tratadas. – Recolocación y compactación inicial de los adoquines anteriormente levantados; es aconsejable colocar los adoquines con las caras en la misma posición con que estaban antes, y así evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento. – Sellado de juntas y compactación final. <p>En caso en que el daño sea muy severo y recurrente, debe considerarse la opción de realizársele un tratamiento o una estabilización al suelo de fundación.</p>	

Figura 1. Abultamientos

Fuente: elaboración propia.


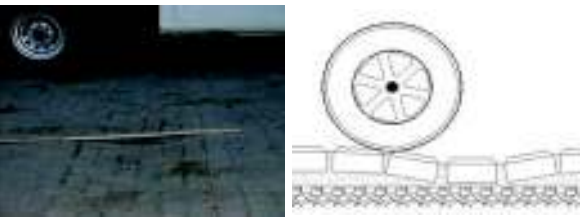
AHUELLAMIENTO, AH		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Depresión que se presenta a lo largo del sentido del tráfico, bajo las huellas de los vehículos.	
CAUSAS	Hundimientos causados por las cargas del tránsito. Consolidación de las capas subyacentes Inadecuada compactación de las capas estructurales. Aparcamiento de vehículos pesados durante mucho tiempo.	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Flecha menor de 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: m ²
DESCRIPCIÓN	Son hundimientos localizados en forma circular o semejante a ella, sin pérdida de material.	
CAUSAS	Asentamientos en el suelo de fundación. Fallas en la capa de arena cuando las partículas de ésta se degradan. Un inadecuado drenaje o la falta de mantenimiento de éste.	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Flecha menor de 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.	

Figura 2. Ahuellamiento y depresiones

Fuente: elaboración propia.

2.1.2 Desprendimientos

Los desprendimientos son la pérdida de material en zonas localizadas del pavimento.

En la figura 3 se describen los deterioros de este grupo.

2.1.3 Desplazamientos

Los desplazamientos son el corrimiento localizado de los elementos constitutivos del pavimento. En la figura 4 se describen los deterioros de este grupo.

2.1.4 Fracturamientos

Es la aparición de fisuras y grietas en las piezas de adoquines o demás elementos constitutivos del pavimento, como son los elementos de confinamientos (bordillos). Cuando los fracturamientos llegan a evolucionar, ocurren pérdidas de material, formación de concavidades e incrustación de objetos ajenos al pavimento. En las figuras 5 y 6 se describen los deterioros de este grupo.


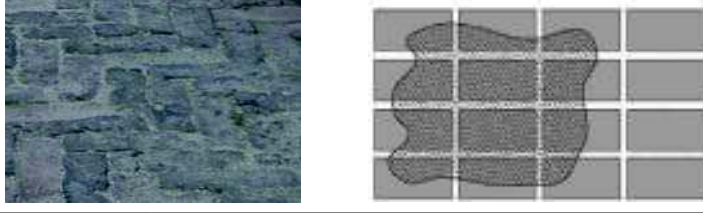
DESGASTE SUPERFICIAL, DS		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Es la pérdida de finos en la superficie del adoquín, creando una textura superficial rugosa, se forman cavidades y deja expuesto el agregado grueso.	
CAUSAS	Baja calidad y/o control en la fabricación en de los adoquines. Por la abrasión de las llantas. 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: m ²
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 .
	ALTA (A)	Se presentan asentamientos y pérdida de los perfiles del pavimento.
REPARACIÓN	Se debe hacer una verificación de los posibles problemas de drenaje que pueda tener ese tramo. Si no existen drenajes y demás obras de drenajes necesarias, se deben construir. El procedimiento para reparar este deterioro, es haciendo una limpieza de la zona y efectuando 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 recolocación de los adoquines y el sellado de juntas.	

Figura 3. Desgaste superficial y pérdida de arena

Fuente: elaboración propia.

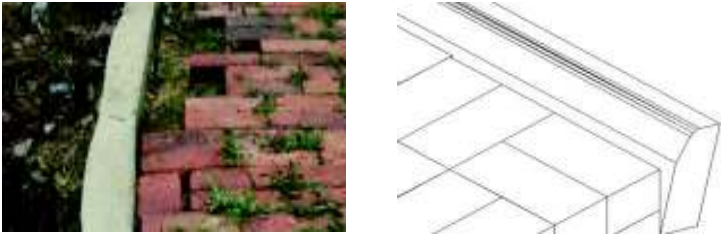
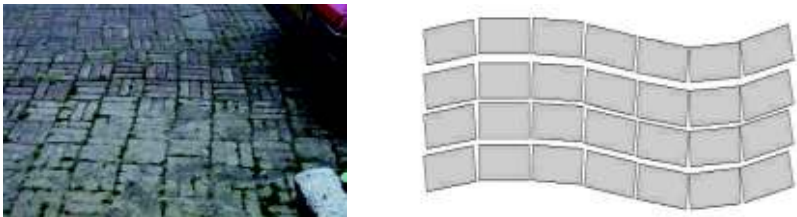
DESPLAZAMIENTO DE BORDE, DB		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Son corrimientos localizados de los adoquines junto a los elementos de confinamiento.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> Falla localizada en el lugar de construcción del elemento, inadecuada construcción y diseño del elemento de confinamiento. Por las cargas del tránsito. 	
FOTO Y ESQUEMA	 <p>La imagen muestra una fotografía a la izquierda de un borde de adoquines desplazado y un esquema a la derecha que ilustra el desplazamiento de los adoquines desde su posición original.</p>	
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	Retirar el material afectado y limpieza de la zona. Revisar y corregir condiciones de estabilidad del sitio. Revisar y corregir problemas de drenaje del sitio. Reconstrucción de los elementos de confinamiento. Reacomodación del adoquinado.	
DESPLAZAMIENTO DE JUNTAS, DJ		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Los adoquines se apartan de su alineamiento inicial. Generalmente se da en hiladas de adoquines rectangulares.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> En zonas de frenado. En sitios de alta pendiente. Por falta de confinamientos transversales o porque éstos no están a una distancia adecuada. 	
FOTO Y ESQUEMA	 <p>La imagen muestra una fotografía a la izquierda de adoquines con juntas desplazadas y un esquema a la derecha que ilustra el desplazamiento de las juntas de los adoquines.</p>	
SEVERIDAD	BAJA (B)	La separación promedio de las aberturas de las juntas es menor a 5 mm.
	MEDIA (M)	Se presenta en zonas con áreas superiores a 0.5 m ² .
	ALTA (A)	La separación promedio de las aberturas de las juntas está entre 5 y 10 mm.
REPARACIÓN	La separación promedio de las aberturas de las juntas es mayor a 10 mm. Revisar y corregir si existen elementos de confinamiento y si están a una distancia adecuada. Si no existen, es necesario construirlos. Hacer el retiro de los adoquines de la zona afectada, realizando el debido procedimiento de limpieza y apilamiento de éstos. Verificar si la capa de arena está en condiciones idóneas, o es necesario reemplazarla. Colocar de nuevo los adoquines en su posición de diseño, seguido realizar el procedimiento de sellado de juntas y limpieza de la zona.	

Figura 4. Desplazamiento de borde y desplazamiento de juntas

Fuente: elaboración propia.



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"> • Inadecuado espesor de los adoquines • Inadecuado espesor de las capas de apoyo. • Deficiencia en la calidad de los materiales de la capa de apoyo y/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	<p>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 cumplan, deben mejorarse las especificaciones y espesores de las capas y/o de los adoquines.</p> <p>En caso en que el nivel de severidad sea alto, es necesario el reemplazo de las piezas de adoquines. Para el reemplazo de los adoquines aplica el mismo procedimiento descrito en el deterioro de desplazamiento de juntas (DJ).</p>	
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, permitiendo 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 y/o precario control en el proceso de construcción. • Por impacto de las llantas de los vehículos, cuando los confinamientos están a un nivel superior al de la rasante de la carretera. • Por invasión de vegetación. • Por retracción del concreto (sí éste es en concreto). 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Se presentan fisuras menores de 3 mm.
	MEDIA (M)	El elemento presenta grietas (>3 mm) y aún se mantiene en su lugar, sirviendo como confinamiento.
	ALTA (A)	El elemento presenta grietas (>3 mm), 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> <p>Verificar que el diseño y disposición del elemento sea el adecuado.</p> <p>Retirar el material afectado y limpieza de la zona.</p> <p>Revisar y corregir condiciones de estabilidad del sitio.</p> <p>Revisar y corregir problemas de drenaje del sitio.</p> <p>Reconstrucción de los elementos de confinamiento.</p> <p>Reacomodación del adoquinado.</p>	

Figura 5. Fracturamiento y fracturamiento de confinamientos externos

Fuente: elaboración propia.


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, permitiendo 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 y/o precario control en el proceso de construcción. • Por impacto de las llantas de los vehículos, cuando los confinamientos están a un nivel superior al de la rasante de la carretera. • Por invasión de vegetación. • Por retracción del concreto (sí éste es en concreto). 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Se presentan fisuras menores de 3 mm.
	MEDIA (M)	El elemento presenta grietas (>3 mm), no se presentan pérdidas de material y aún se mantiene en su lugar, sirviendo como confinamiento.
	ALTA (A)	El elemento presenta grietas (>3 mm), se presentan pérdida de material; permitiendo la incrustación de basuras y demás partículas o objetos extraños al pavimento. El elemento no impide el desplazamiento longitudinal y 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 limpieza de la zona. Revisar y corregir condiciones de estabilidad del sitio. Revisar y corregir problemas de drenaje del sitio. Reconstrucción de los elementos de confinamiento. Reacomodación del adoquinado. 	

Figura 6. Fracturamiento de confinamientos internos

Fuente: elaboración propia.

2.1.5 Otros deterioros

En esta categoría se encuentran diversos deterioros que afectan el correcto funcionamiento estructural y funcional del pavimento. En las figuras 7 y 8 se describen los deterioros de este grupo.

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 constructivo, debido a la falta de control y/o precarias técnicas de construcción. • Torsión ocasionada por las cargas del tránsito. • El patrón de diseño de colocación de los adoquines no es el más apropiado. 	
FOTO Y ESQUEMA		

Figura 7. Escalonamiento entre adoquines y escalonamiento entre adoquines y confinamientos

Fuente: elaboración propia.

(continúa)

(continuación)

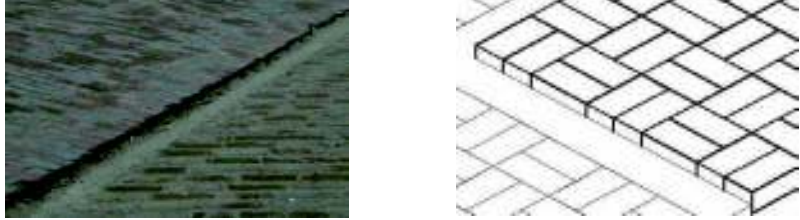
ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES, EA		Unidad: m ²
SEVERIDAD	BAJA (B)	La altura del desnivel promedio es menor a 5 mm.
	MEDIA (M)	La altura del desnivel promedio está entre 5 y 10 mm.
	ALTA (A)	La altura del desnivel promedio es mayor a 10 mm.
REPARACIÓN	<p>Retiro de los adoquines de la zona afectada; se deben limpiar y apilar a un lado para su posterior recolocación.</p> <p>Separación de la capa de arena.</p> <p>Nivelación de la capa de arena.</p> <p>Recolocación y compactación inicial de los adoquines anteriormente levantados; es aconsejable colocar los adoquines con las caras en la misma posición con que estaban antes, y así evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento.</p> <p>Es el lado de juntas y compactación final.</p>	
ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES Y CONFINAMIENTOS, EC		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Es el cambio brusco de nivel entre los elementos de confinamientos y los adoquines.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a la variación del nivel superior del elemento de confinamiento con los adoquines al momento de construcción. • La cota de rasante del adoquinado quedó a un nivel superior, o en su defecto, inferior al elemento de confinamiento cuando se construyó el adoquinado. 	
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, éste se debe reemplazar por uno que si esté al nivel idóneo. Si el problema es debido a que los adoquines de un carril quedaron a un nivel inferior o superior a los elementos de confinamiento, el procedimiento a seguir es:</p> <p>Retiro de los adoquines de la zona afectada; se deben limpiar y apilar a un lado para su posterior recolocación.</p> <p>Redificación del perfil en el área afectada, para alcanzar el nivel ideal.</p> <p>Reparación y nivelación de las capas afectadas durante el proceso.</p> <p>Recolocación y compactación inicial de los adoquines anteriormente levantados; es aconsejable colocar los adoquines con las caras en la misma posición con que estaban antes, y así evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento.</p> <p>Sellado de juntas y compactación final.</p> <p>También se deben verificar si existen problemas de inestabilidad del suelo en esa zona.</p>	

Figura 7. Escalonamiento entre adoquines y escalonamiento entre adoquines y confinamientos

Fuente: elaboración propia.


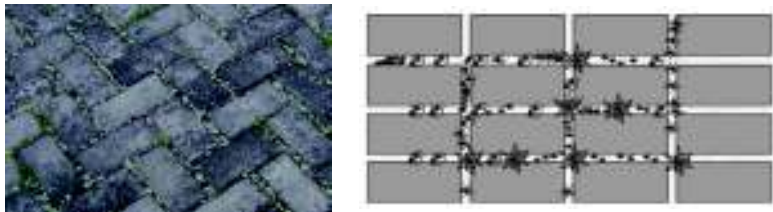
JUNTAS ABIERTAS, JA		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Es una separación entre juntas superior a 3 mm, permitiendo la pérdida de arena de sello y la incrustación de partículas a través de las juntas, propiciando la destrucción de las aristas de los adoquines.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Por efecto de las cargas del tránsito. • Confinamientos inadecuados o la falta de éstos. • Falta del sello de juntas • Error constructivo debido a la falta de control y/o precarias técnicas de construcción. 	
FOTO Y ESQUEMA		
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	Limpieza de la zona afectada. Retiro de los adoquines de la zona afectada; se deben limpiar y apilar a un lado para su posterior colocación. Reparación de la capa de arena. Nivelación de la capa de arena. Recolocación y compactación inicial de los adoquines anteriormente levantados; es aconsejable colocar los adoquines con las caras en la misma posición con que estaban antes, y así evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento. Sellado de juntas y compactación final.	
VEGETACIÓN EN LA CALZADA, VC		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Es la invasión o crecimiento de vegetación a través de las juntas en 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)	Solo 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	Cuando los niveles de severidad son bajos o medios, el procedimiento a realizar es un desmonte manual; retirar la arena de sello contaminada con las debidas herramientas y volver a realizar el proceso de sellado de juntas. Cuando el nivel de severidad es alto, es necesario realizar los siguientes pasos: Desmonte manual de la zona afecta. Limpieza de la zona afectada. Retiro de los adoquines, limpiándolos y apilándolos a un lado. Chequear y si es necesario reparar las capas afectadas. Reacomodación de los adoquines y sellado de juntas con los debidos procesos de nivelación, compactación y limpieza. Si es el caso, realizar el desmonte y limpieza de las zonas adyacentes de la vía. También es aconsejable utilizar algunos métodos de ataque químicos que impidan el crecimiento de vegetación, como es la fumigación con productos herbicidas.	

Figura 8. Juntas abiertas y vegetación en la calzada

Fuente: elaboración propia.

2.2 Índice de condición del pavimento, ICP

La metodología propuesta para Colombia permite hallar el índice de condición para los 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: Índice de Condición Funcional (ICF) e Índice de Condición Estructural – ICE[2].

A partir del Índice de Condición Funcional (ICF) y del Índice de Condición Estructural – ICE,

se determina el Índice de Condición del Pavimento – ICP.

Una vez determinado el Índice de Condición del Pavimento, se determina la calificación del estado del tramo en estudio: muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno. Por último, resta dar las recomendaciones de los tipos de intervención que deban efectuarse en el tramo en cuestión, fundamentados en la anterior calificación. En la figura 9 está el resumen de la metodología propuesta para hallar Índice de Condición del Pavimento – ICP.

Para el establecimiento de los factores de penalización y demás criterios se tomaron como

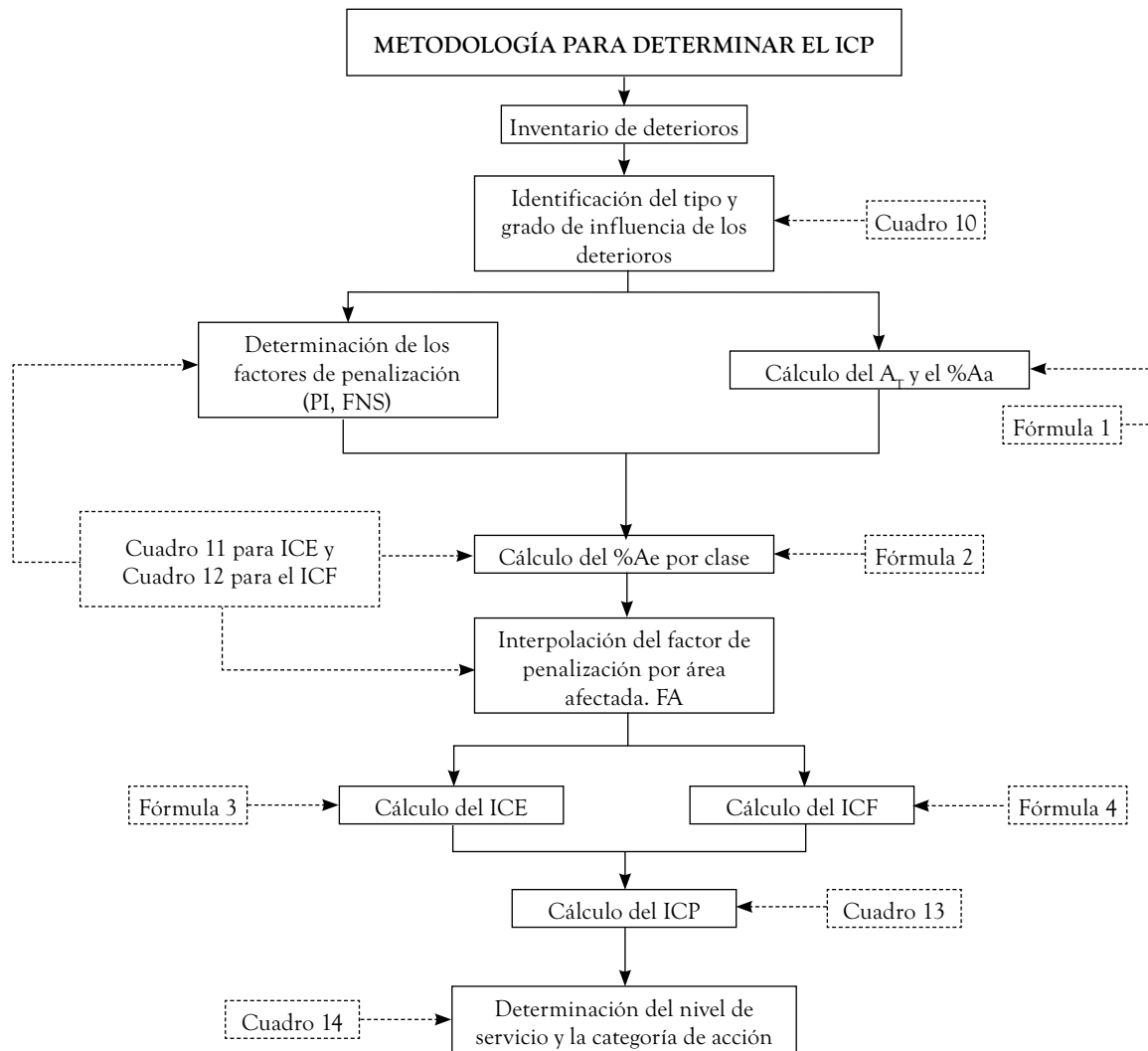


Figura 9. Metodología para hallar el Índice de Condición del Pavimento, ICP

Fuente: elaboración propia.

referencia otros manuales y metodologías como los contenidos en las propuestas [2-4].

2.2.1 Inventario de deterioros

El inventario de deterioros es el primer paso para el establecimiento de la condición de un pavimento. Con la información del inventario de deterioro se procede a hacer la calificación y cuantificación de la serviciabilidad del pavimento o de su condición funcional.

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

En la tabla 2, se muestra cada tipo de deterioro y si éste afecta estructural y/o funcionalmente el pavimento y también se muestran los factores de influencia de los deterioros según su clase.

2.2.3 Cálculo del área total (A_T) y del porcentaje de área afectada (%Aa)

Para el cálculo del área total (A_T) de cada tramo, se recomienda tomar tramos de cien metros de longitud y se multiplican por su ancho de calzada. El porcentaje de área afectada (%Aa) para un deterioro se calcula haciendo la relación entre el área afectada por el deterioro y el área total (1).

$$\%Aa_i = \frac{Aa_i}{A_T} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

%Aa: Porcentaje de área afectada por el deterioro i

Aa: Área afectada por el deterioro i

A_T : Área total del tramo

i: Deterioro

Tabla 2. Tipo y factor de influencia por clase

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

Fuente: elaboración propia.

Para 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[4].

2.2.4 Determinación de los factores de penalización

Según el grado de influencia que cada deterioro ocasione por su clase, su severidad y extensión en los parámetros de tipo estructural y/o funcional, se les han asignado pesos y valores de penalización; entre mayores sean estos valores, indican que su efecto negativo es mayor. En las tablas 3 y 4 se muestran factores de penalización.

2.2.5 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 que cero (%Ae ≥ 0,0%) y cuando éste dé más del 15,0%, simplemente se debe anotar que dio mayor al 15,0% (%Ae > 15,0%).

2.2.6 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 esa clase de deterioros en los parámetros estructurales y funcionales.

Para hallar el factor de penalización por área afectada (FA), se utiliza la tabla 3 para el ICE y la tabla 4 para el ICF. En estas tablas, es necesario interpolar entre los rangos el porcentaje de área equivalente afectada (%Ae).

2.2.7 Cálculo de los índices (ICE Y ICF)

Para 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

Tabla 3. Factores de penalización para el Índice de Condición Estructural, ICE

Clase	Deterioro	Peso en su clase, PI	Nivel severidad, FNS			% Área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>5
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	1,00	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	1,00	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

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional, ICF

Clase	Deterioro	Peso en su clase, PI	Nivel severidad, FNS			% Área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>5
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	1,20	1,40	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Pérdida de arena	1,00	1,00	1,15	1,30					
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1,0	1,00	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Desplazamiento de juntas	1,0	1,0	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	1,00	1,00	1,10	1,20					
Otros deterioros	Escalamiento entre adoquines	1,2	1,00	1,25	1,50	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Escalamiento 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					

Fuente: elaboración propia.

del factor de penalización por área afectada (FA). El resultado debe redondearse al número entero.

$$ICE = 100 - \sum (FC_i \times FA_i) \tag{3}$$

$$ICF = 100 - \sum (FC_i \times FA_i) \tag{4}$$

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 para un pavimento fallado o en pésimo estado y cien para un pavimento en excelentes condiciones.

2.2.8 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 de la tabla 5.

Tabla 5. 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

Fuente: elaboración propia.

2.2.9 Escala del índice de condición del pavimento, ICP

Obtenida la calificación del índice de condición del pavimento (ICP), en la tabla 6 se determina el nivel de servicio y las acciones de actuación necesarias.

Tabla 6. 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 significativamente la circulación y pueden ser evitados o corregidos en 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, en donde la circulación deja de ser cómoda. Se presentan daños de manera constantemente 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. El pavimento está totalmente degradado.

Fuente: elaboración propia.

3 RESULTADOS

Se hizo un inventario de deterioros de tres tramos de vías, con el objetivo de hacer una demostración de la forma de cálculo y para ver la consistencia de la metodología propuesta para hallar el índice de condición del pavimento – ICP.

3.1 Datos obtenidos y determinación del índice de condición del pavimento, ICP

Sitio. Urbanización Las Quintas, Carrera 5ª N° 48 – 48A – 48B – 48C, Tunja.

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.

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 la tabla 7.

Según el ICP obtenido de 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 unas fotografías (figuras 10 y 11) con la intención de dar una idea del estado del tramo de la vía.



Figura 10. Depresión

Fuente: elaboración propia.



Figura 11. Fracturamiento CE

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. 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	% Área equivalente afectada, FA					FA _i	FC _i x 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	0.50	0.60	0.76	1.00	0.00	0	
Desplazamientos	10	DB	1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00	0.00	0
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
$S(FC_i \times FA_i) =$												30		
Fórmula 3. $ICE = 100 - 2 \cdot S(FC_i \times FA_i) = 70$														
RESUMEN DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN FUNCIONAL, ICF														
Clase	FC _i	Símbolo	Peso en su clase, PI	%Aa por nivel severidad			%Ae	% Área equivalente afectada, FA					FA _i	FC _i x 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	1.0	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	1.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00	0.00	0
		DJ	1.2	0.00	0.14	0.00								
Fracturamientos	10	CE	1.0	0.60	0.00	0.00	0.79	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00	0.08	1
		CE	1.0	1.26	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								
$S(FC_i \times FA_i) =$												36		
Fórmula 4. $ICF = 100 - 2 \cdot S(FC_i \times FA_i) = 64$														
Cuadro 13. $ICP = 3$														
NIVEL DE SERVICIO: Regular														
CATEGORÍA DE ACCIÓN: Refuerzo - Mantenimiento rutinario														

Fuente: elaboración propia.

Tramo. 100 – 200 m. El estado actual de este tramo a simple vista es de bueno a muy bueno, los

deterioros hallados eran despreciables. La figuras 12 da una idea del estado de la vía.



Figura 12. Vía sin deterioros

Fuente: elaboración propia.

El ICP obtenido es de 5 y 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. Barrio Suamox, Transversal 0A Este Calle 69, Tunja.

Es una 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 figuras 13 a 16 dan una idea del estado de la vía.



Figura 13. Desplazamiento de juntas

Fuente: elaboración propia.



Figura 14. Fracturamiento CI

Fuente: elaboración propia.



Figura 15. Vegetación en la calzada

Fuente: elaboración propia.



Figura 16. Deformaciones

Fuente: elaboración propia.



Figura 17. Desplazamiento de juntas

Fuente: elaboración propia.



Figura 18. Escalonamiento EA

Fuente: elaboración propia.



Figura 19. Vegetación en la calzada

Fuente: elaboración propia.



Figura 20. Abultamiento

Fuente: elaboración propia.

El ICP obtenido es de 1 y, 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.

Sitio: 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 figuras 17 a 20 dan una idea del estado de la vía.

El ICP obtenido es de 1 y, 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.

4 CONCLUSIONES

El trabajo realizado propone para Colombia la primera metodología para determinar el índice de condición estructural –ICE–, y el índice de condición funcional –ICF– para carreteras que tengan estructuras de pavimentos articulados, teniendo en cuenta la patología típica encontrada en esta clase de estructuras.

La metodología propuesta fue probada con el fin de comprobar la coherencia y así determinar el índice de condición del pavimento –ICP–. Se realizó un inventario de deterioros a unos tramos de vías en la ciudad de Tunja, en condiciones estructurales y funcionales diferentes; se aplicó la metodología, y los resultados obtenidos son acordes con el estado real de los tramos a simple vista, lo

que indica que la metodología desarrollada en este trabajo sí es coherente.

Los autores recomiendan emplear la metodología propuesta en diversas vías del territorio colombiano, con el fin de realizar ajustes posteriores de acuerdo con las investigaciones y experiencias realizadas. También es importante que las entidades que tienen a su cargo la red vial del país la empleen y así obtener una serie de experiencias que son importantes para realizar los ajustes posteriores a la metodología y en especial la tipificación de los deterioros y los factores de ponderación.

Como una segunda fase de la investigación, se propone profundizar en la definición de nuevos deterioros, la determinación de los factores de penalización de cada deterioro y en la definición de las categorías de acción, teniendo en cuenta las experiencias en diversas vías estudiadas, de manera de poder establecer las diferentes acciones o actividades a desarrollar para la rehabilitación de las carreteras con estructuras de pavimentos articulados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial –GR-INFRAVIAL– de 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. Higuera, *Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras y Pavimento de Carreteras*, Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2008,
- [2] C. Pérez, y D. Restrepo, “Carreteras destapadas: Nociones de diseño, construcción y mantenimiento – Patología y técnicas de mantenimiento –”, Trabajo de grado de Ingeniero en Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, 2007.

- [3] INVIAS, *Metodología para la determinación y calificación del estado de la red vial*, Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2004,
- [4] UNAL, *Manual de inspección visual de pavimentos rígidos. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Instituto Nacional de Vías, 2006,