



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Validación de la metodología aplicada en las  
intervenciones tipo mantenimiento periódico y  
de rehabilitación sobre pavimentos flexibles  
realizadas en el distrito occidente del IDU en  
Bogotá D.C.**

**KAROL ROCA PACHECO**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola  
Bogotá, Colombia  
2016



# **Validación de la metodología aplicada en las intervenciones tipo mantenimiento periódico y de rehabilitación sobre pavimentos flexibles realizadas en el distrito occidente del IDU en Bogotá D.C.**

**Karol Roca Pacheco**

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería – Geotecnia**

Director:

MSc, Guillermo Ángel Reyes

Línea de Investigación:

Materiales y Pavimentos

Grupo de Investigación:

GIGUN

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2016



*A mis padres Franklin y  
Nohemy quienes son mi gran inspiración, y a ti mi  
Montserrat...motor de mi vida*



## **Agradecimientos**

En primera medida quiero agradecer a Dios por ser mi guía espiritual, a mis padres Nohemy y Franklin por su apoyo incondicional y a mis hermanos Farina, Franklin, Hector Lacides y Yianina por sus buenos deseos y ser mi motivo de superación.

Al Profesor Guillermo Ángel Reyes por su paciencia y orientación en la ejecución de este trabajo, quedo eternamente en deuda con él. A todos los profesores del programa de la Maestría en Ingeniería – Geotecnia por brindarme valiosos conocimientos los cuales hoy en día contribuyen a la obtención de mi título de Magister en Geotecnia.

A mis amigos Rodrigo Lamadrid, Richard Jiménez y Rubén Aguilar por su ayuda y buenos consejos. Y finalmente quiero agradecer al Ing. Carol Bockelmann y a su empresa de consultoría Itineris Ltda., por su colaboración en la ejecución de las pruebas de campo, elementos esenciales para el desarrollo del presente trabajo final.





## Resumen

En este trabajo se estudia y evalúa la metodología aplicada por el Instituto de Desarrollo Urbano-IDU en el sector occidental de la ciudad de Bogotá D.C, en las intervenciones tipo mantenimiento periódico y rehabilitación sobre pavimentos flexibles. A través de la identificación, selección, diagnóstico y evaluación del estado y comportamiento de tramos intervenidos. En este contexto el trabajo presenta el análisis y evaluación del estado actual del pavimento en sectores intervenidos a partir de la medición de la condición superficial con la metodología PCI (ASTM D-6433-07) y la condición estructural mediante el cálculo del Índice estructural  $I_e$  a través de ensayos con el Deflectómetro de Impacto (FWD) en el marco de la Norma INVIAS E-798-07, comparando los resultados obtenidos con los comportamientos proyectados de acuerdo a los diseños de las intervenciones, estableciendo, de esta manera, la efectividad de las metodologías actualmente aplicadas para efectos de su validación.

**Palabras clave: PCI, FWD, Mantenimiento periódico, Rehabilitación.**

## Abstract

This work aims to evaluate the methodology used by el Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, in the west part of Bogotá D.C. in the standard periodic maintenance and rehabilitation interventions on flexible pavements. Through the identification, selection, diagnosis, evaluation of the condition and behavior of operated sections. In this context this document presents an analysis and assessment of the current state of the pavement in the reaches of interest, based on surface condition measuring by the PCI method (ASTM D-6433-07) and the structural condition rements by calculating the structural index ( $I_e$ ) through trials with Deflectometer (FWD) Standard INVIAS E-798-07.

By comparing the results obtained about expected behavior according to intervention designs, establish it could be possible to the effectiveness of the methodologies currently applied for purposes of validation.

**Keywords: PCI, FWD, Periodic Maintenance, Rehabilitation.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen.....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de fotografías .....</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de anexos .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Capítulo I: Aspectos Introdutorios .....</b>	<b>20</b>
1.1 Identificación del problema .....	20
1.2 Antecedentes y Justificación .....	20
1.3 Objetivos de Trabajo .....	23
1.3.1 Objetivo general.....	23
1.3.2 Objetivos específicos.....	23
<b>2. Capítulo II: Marco de referencia teórico conceptual.....</b>	<b>24</b>
2.1 Conceptos básicos .....	24
2.2 Sistemas de evaluación de la condición funcional y estructural del pavimento .....	26
Georadar y sondeos .....	35
2.2.2 35	
2.3 Sistemas de Gestión de Pavimentos utilizados en Latinoamérica .....	39
2.3.1 Sistemas de gestión de pavimentos utilizado en México.....	39
2.3.2 Sistema de gestión de pavimentos utilizado en Chile .....	40
2.3.3 Sistema de gestión de pavimentos utilizado en Bogotá D.C- Colombia (IDU) .....	41
2.4 Anexo técnico para Distritos de Conservación .....	42
2.4.1 Evaluación superficial .....	42
2.4.2 Proyecciones del Transito.....	43
2.4.3 Evaluación Estructural .....	44
2.4.4 Condición del Pavimento .....	45
2.5 Análisis comparativo entre países .....	52
2.6 Pólizas de estabilidad de obra.....	53
<b>3. Capítulo III: Evaluación funcional y estructural de los de pavimentos analizados en el presente estudio .....</b>	<b>56</b>
3.1 Generalidades .....	56
3.1.1 Criterios de Selección .....	58
3.1.2 Tramos seleccionados .....	59
3.1.3 Localización .....	61
3.2 Diagnósticos y diseños de los tramos seleccionados en el Contrato IDU-074-2008. 64	
3.2.1 Auscultación visual vigencias 2009 y 2012 .....	64

---

3.2.2	Deflexiones vigencias 2009 y 2012 .....	65
3.2.3	Georadar y sondeos.....	67
3.2.4	Clasificación definitiva de la condición del pavimento.....	67
3.3	Diagnóstico del estado al año 2015 de los tramos del presente estudio .....	71
3.3.1	Auscultación visual - 2015.....	77
3.3.2	Variable Transito - 2015 .....	79
3.3.3	Deflexiones - 2015 .....	79
3.3.4	Georadar.....	86
3.3.5	Clasificación definitiva de la condición del pavimento.....	89
3.4	Análisis de Resultados.....	89
3.4.1	Evaluación Superficial .....	90
3.4.2	Evaluación Estructural.....	91
3.5	Análisis Comparativo .....	94
3.5.1	Curvas de deterioro.....	96
<b>4.</b>	<b>Capitulo IV: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>104</b>
<b>5.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>108</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 2-1 Viga Benkelman.....	33
Figura 2-2 Concepto FWD .....	34
Figura 2-3 Preclasificación del Índice Estructural Ie .....	47
Figura 3-1 Corte Transversal – Av. Boyacá.....	60
Figura 3-2 Tramo Av. Boyacá entre CL 72 y DG 77 <sup>a</sup> Calzada Rápida Sentido N-S.....	61
Figura 3-3 Tramo Av. Boyacá entre CL 18 y CL 21Bis Calzada Lenta Sentido N-S .....	62
Figura 3-4 Tramo Av. Boyacá entre CL 24B y el SE Calzada Lenta Sentido N-S.....	62
Figura 3-5 Tramo Av. Boyacá entre CL 24B y el SE Calzada Lenta Sentido N-S.....	63
Figura 3-6 Tramo Av. Boyacá entre CL 71 y CL 75(DG 76) Calzada Lenta Sentido N-S.....	63
Figura 3-7 Ficha Técnica CIV 10007477 – Tramo 1 .....	72
Figura 3-8 Ficha Técnica CIV 9003935 – Tramo 2.....	73
Figura 3-9 Ficha Técnica CIV 9003518 – Tramo 3.....	74
Figura 3-10 Ficha Técnica CIV 9003395 – Tramo 4.....	75
Figura 3-11 Ficha Técnica CIV 10007798 – Tramo 5.....	76
Figura 3-12 Esquema Inventario de Fallas CIV 9003935 .....	78
Figura 3-13 Do (µm) Tramo 1.....	81
Figura 3-14 Do (µm) Tramo 2.....	82
Figura 3-15 Do (µm) Tramo 3.....	82
Figura 3-16 Do (µm) Tramo 4.....	83
Figura 3-17 Do (µm) Tramo 5.....	83
Figura 3-18 Espesores Tramo 1.....	86
Figura 3-19 Espesores Tramo 2.....	87
Figura 3-20 Espesores Tramo 3.....	87
Figura 3-21 Espesores Tramo 4.....	88
Figura 3-22 Espesores Tramo 5.....	88
Figura 3-23 Variación PCI - Tramo 1.....	96
Figura 3-24 Variación PCI - Tramo 2.....	97
Figura 3-25 Variación PCI - Tramo 3.....	97
Figura 3-26 Variación PCI - Tramo 4.....	98
Figura 3-27 Variación PCI - Tramo 5.....	98
<b>Figura 3-28</b> Variación D10 - Tramo 1 .....	99
<b>Figura 3-29</b> Variación D10 - Tramo 2 .....	99
<b>Figura 3-30</b> Variación D10 - Tramo 3 .....	100
<b>Figura 3-31</b> Variación D10 - Tramo 4 .....	100
<b>Figura 3-32</b> Variación D10 - Tramo 5 .....	101

---

<b>Figura 3-33</b> Variación D16 - Tramo 1.....	101
<b>Figura 3-34</b> Variación D16 - Tramo 2.....	102
<b>Figura 3-35</b> Variación D16 - Tramo 3.....	102
<b>Figura 3-36</b> Variación D16 - Tramo 4.....	103
<b>Figura 3-37</b> Variación D16 - Tramo 5.....	103

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 2-1: Rangos PCI.....	43
Tabla 2-2: Separación máxima entre pruebas (ASTM D4694) .....	44
Tabla 2-3: Calificación condición del pavimento.....	48
Tabla 2-4: Intervenciones para la condición del pavimento .....	49
Tabla 2-5: Matriz de clasificación y tipo de intervención.....	51
Tabla 2-6: Comparativo metodologías en Latinoamérica. ....	52
Tabla 3-1: Segmentos a Intervenir .....	60
Tabla 3-2: Tipo de Falla – PCI ( Pavimentos Flexibles).....	64
Tabla 3-3: PCI – Contrato IDU-074-2008 .....	65
Tabla 3-4: FWD – Contrato IDU-074-2008 .....	66
Tabla 3-5: Clasificación definitiva del pavimento Tramo 1 .....	68
Tabla 3-6: Clasificación definitiva del pavimento Tramos 2 al 5 .....	69
Tabla 3-7: PCI actual .....	78
Tabla 3-8: Tasas de Crecimiento Proyectadas.....	79
Tabla 3-9: Evaluación Estructural – FWD actual .....	84
Tabla 3-10: Vida residual en cada segmento .....	85
Tabla 3-11: Clasificación definitiva .....	89
Tabla 3-12: Diagnostico vs Evaluación .....	94

## Lista de fotografías

	<b>Pág.</b>
Fotografía 3-1: Inspección Visual .....	77
Fotografía 3-2: Equipo FWD KUAB 50 .....	80

## **Lista de anexos**

**Anexo 3-1** Memorias de Campo y de Calculo PCI

**Anexo 3-2** Memorias de Cálculo de Transito

**Anexo 3-3** Evaluación Deflectométrica

**Anexo 3-4** Resultados Georadar

**Anexo 3-5** Fichas Técnicas por CIV



## Introducción

La conservación vial se refiere al conjunto de actividades que se ejecutan sobre una estructura de pavimento y que pueden ser orientadas a garantizar su durabilidad, ya sea que se cumpla en período de vida útil o a ampliarla en un nuevo período. En el primer caso se hace referencia a mantenimiento que puede ser rutinario o periódico y en el segundo a rehabilitación o reconstrucción.

El mantenimiento de la malla vial de la ciudad de Bogotá es una actividad continua desarrollada por el Instituto de Desarrollo Urbano - IDU y en consecuencia, realiza con frecuencia contrataciones con la empresa privada dedicada a la construcción vial para atender las necesidades asociadas.

Para efectos de la gestión de los pavimentos de la malla vial el Instituto de Desarrollo Urbano ha desarrollado una metodología de evaluación, diagnóstico y diseño de las acciones de rehabilitación y mantenimiento contenida en el denominado “Anexo Técnico para Distritos de Conservación”, procedimiento a ser aplicado para la realización de todas las intervenciones de mantenimiento de pavimentos en la ciudad de Bogotá D.C. La metodología allí desarrollada está soportada en el análisis de experiencias y condiciones locales, así como en la revisión y análisis de documentos internacionales, y de metodologías ampliamente probadas y aplicadas con éxito.

Dicha metodología sin embargo, requiere ser validada para establecer su pertinencia, efectividad y posibles mejoras; por ello, teniendo en cuenta que durante la vigencia 2008 el IDU procedió a la contratación mediante la modalidad de Distritos el mantenimiento de la malla vial local, intermedia y arterial y que estos corresponden a los primeros contratos donde el IDU aplicó la metodología del Anexo antes citada y que los mismos agruparon la ciudad por localidades en seis (6) grandes contratos y con una duración aproximada

---

de cuatro (4) años. Se procede en el presente estudio, a evaluar en el Distrito Occidente (localidades de Fontibón y Engativá), contrato IDU-074-2008, la aplicación de la metodología del Anexo Técnico. Lo cual a su vez permitiría la optimización de los recursos disponibles de las intervenciones que se vienen ejecutando y una posible ampliación de la cobertura.

Por otra parte, como es de conocimiento general, las obras de mantenimiento periódico que se desarrollan en los contratos IDU y a nivel nacional bajo la legislación actual (ley 80 de 1993 y ley 1150 de 2007) no se encuentran amparadas con garantías de estabilidad de obra sino de calidad de materiales y procesos constructivos por un periodo de dos (2) años; si bien dichas actividades puede que no sean garantizables por los cinco (5) años que establece la ley para estabilidad de obra, el presente trabajo busca generar un primer acercamiento conceptual a la posibilidad de que dichas obras sean garantizables por un periodo inferior a los cinco (5) años, teniendo en cuenta las valoraciones de vida útil que se realizaran en el presente trabajo.

En consecuencia, el presente trabajo final se aborda de la siguiente manera: el Capítulo I está compuesto por los aspectos introductorios que presenta los antecedentes, la justificación y los objetivos generales y específicos que marcan la pauta a seguir para las actividades a desarrollar en el mismo.

En el Capítulo II se presentan los conceptos técnicos que constituyen el marco de referencia teórico-conceptual relacionado con los conceptos básicos de los tipos de intervenciones de conservación vial, los sistemas de evaluación de las condiciones funcionales y estructurales del pavimento, seguidamente se describen algunos sistemas de gestión de pavimentos utilizados en algunos países de Latinoamérica y de la experiencia de nuestro país, específicamente el utilizado en la ciudad de Bogotá el cual es el objeto del presente estudio, y finalizando con una descripción general del contenido del Anexo Técnico para Distritos de Conservación, en cuanto al tipo de evaluaciones que se ejecutan sobre las estructuras de pavimento para determinar su estado, clasificación y tipo de intervención.

Seguidamente, en el Capítulo III se muestra el proceso de validación del Anexo Técnico para Distritos de Conservación del IDU, aplicando la metodología ahí descrita. Mediante el trabajo de campo se buscó definir la condición de la estructura del pavimento, tanto el estado superficial como el comportamiento del global estructural. En el mismo capítulo se presenta un análisis comparativo entre los resultados proyectados de acuerdo a lo desarrollado en el contrato IDU-074-2008 y los resultados obtenidos del trabajo de campo y análisis realizados en desarrollo de este trabajo.

Por último, en el capítulo IV, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de los análisis, diagnósticos y evaluación descritos en el Capítulo III.

# 1. Capítulo I: Aspectos Introdutorios

## 1.1 Identificación del problema

Desde el año 2009, el IDU, viene aplicando la metodología del “Anexo Técnico para Distritos de Conservación” para la realización de las intervenciones de mantenimiento sobre la malla vial de la ciudad de Bogotá D.C., sin embargo, dicha metodología no ha sido objeto de una revisión y evaluación que permita determinar su efectividad, establecer ajustes o actualizaciones sistemáticas y periódicas que permitan validarla y optimizarla, de ser necesario. Lo cual a su vez se reflejaría en la optimización de los recursos disponibles para las intervenciones que se vienen ejecutando y una posible ampliación de la cobertura de tales intervenciones.

## 1.2 Antecedentes y Justificación

El Concejo de Bogotá, mediante el Acuerdo 02 de 1999, ordenó al Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, la creación del Sistema de Información de la Malla Vial, el cual debería estar conformado por una base de datos que compilaría el registro, tanto de las vías arteriales como secundarias y locales que conforman el sistema de la Malla vial de Bogotá. Así mismo, el citado Acuerdo especificaba los datos mínimos que los registros que conforman esa base de datos deberían contener como son:

- Información General
- Características de la Estructura del Pavimento
- Características del Tráfico Vehicular
- Mantenimiento de la Vía
- Estado de las obras complementarias.

A partir de dicha directiva el IDU suscribió los contratos 617/1999, 834/1999 y 379/2001 para la ejecución del inventario y diagnóstico de la malla vial y cuya unidad de medida mínima escogida fue el Segmento Vial (tramo de vía ubicado entre dos intersecciones).

En el año 2003 se ejecutó el contrato 481/2002, mediante el cual se hizo la primera actualización del diagnóstico de la malla vial arterial. En desarrollo de éste, se inventariaron 4300 segmentos, equivalentes a 523 KM-calzada. El inventario físico y diagnóstico de la malla vial y del espacio público cuenta a su vez con dos componentes: a) Componente físico: contiene las características generales de cada una de las calzadas que conforman el segmento y del espacio público asociado a las calzadas; b) Componente de Diagnóstico: contiene las características estructurales y funcionales del pavimento en cada calzada que compone el segmento a inventariar. Diagnóstico que utilizaba para la evaluación del estado global del pavimento el OPI (Overall Pavement Index).

En el año 2005 mediante el contrato 218/2005, el IDU contrata la Actualización del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial de Bogotá D.C., el cual incluye la malla arterial, intermedia y local.

El Grupo de Investigación y Desarrollo de la Dirección Técnica de Planeación del IDU en el año 2008, elaboró el “Anexo Técnico para Distritos de Conservación” con el objeto de ser utilizado en cada uno de los contratos de obra e Interventoría que se adjudicarían para los seis (6) distritos de Conservación. Dicho documento contiene la metodología para determinar la condición existente del pavimento (superficial y estructural) y a partir de ahí determinar qué tipo de intervención se requiere, es decir, mantenimiento, rehabilitación y/o reconstrucción.

Mediante el Convenio Interadministrativo N° 20 de 2008 suscrito por el IDU y la Universidad Nacional de Colombia se emitió por parte de esta última un concepto técnico referente al tiempo de duración o vida útil de pavimentos flexibles ejecutados en contratos de mantenimiento de intervenciones de tipo superficial, para el cual se realizaron ensayos no destructivos como el FWD y el GEORRADAR y aplicaron métodos como el de la AASHTO 1993 y DEPAV-INPACO. En dicho estudio se estableció que las intervenciones realizadas se encuentran dentro de los rangos permitidos para el tipo de

---

intervención requerida, sin embargo se sugiere un análisis más detallado de las vías principales y secundarias de la Malla Vial y una actualización periódica de las bases de datos de tránsito que permitan reducir las limitaciones que se tuvieron para dicho estudio y ampliar la cobertura.

La Malla Vial de Bogotá D.C., a diciembre de 2012, alcanzaba los 15.559 kilómetros carril, de los cuales el 93.4% (14.529 km-carril) corresponden al Subsistema Vial y el 6.6% (1.030 km-carril) al Subsistema de Transporte (Troncales Transmilenio). El Subsistema Vial está compuesto por la malla vial arterial, intermedia y local, comprende el mayor porcentaje de la Malla Vial de la ciudad, y su mantenimiento fue realizado durante las vigencias 2009 a 2012 mediante los Distritos de Conservación; los recursos con los que dispone el Distrito para el mantenimiento de la Malla Vial no permiten cubrir el 100% las necesidades que tiene en esta área, por lo cual es indispensable optimizar los recursos disponibles y en consecuencia las intervenciones que se realizan con ellos. Por lo anterior, resulta importante evaluar las metodologías utilizadas para definir las, como es la contenida en el “Anexo Técnico para Distritos de Conservación”, estableciendo la efectividad de la misma y si requiere o no la realización de ajustes mediante actualizaciones sistemáticas y periódicas.

De igual manera, es oportuno recordar que actualmente los contratos de mantenimiento y rehabilitación vial, distintos de los del programa de Transmilenio manejan garantías de dos (2) años, que cubren exclusivamente eventuales deficiencias en materiales y procedimientos constructivos y que aun así son difícilmente exigibles cuando se llega el caso. Cómo dar entonces un salto cualitativo y cuantitativo como el que pretende o exige la Ley sin evaluar cuáles son las características del problema?, es por ello que con este trabajo se busca también generar un aporte, al menos de tipo conceptual, que contribuya a modificar los criterios con los cuales se exigen las pólizas de calidad a este tipo de intervenciones.

## **1.3 Objetivos de Trabajo**

### **1.3.1 Objetivo general**

Validar la metodología aplicada en los Distritos de Conservación del Instituto de Desarrollo Urbano- IDU, mediante la revisión de los resultados y comportamientos de algunas de las intervenciones de mantenimiento periódico y rehabilitación sobre pavimentos flexibles realizadas en el Distrito Occidente en Bogotá D.C.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar la información disponible en el IDU, sobre las Intervenciones realizadas en el Distrito de Conservación Occidente, definiendo un marco de referencia sobre los estados iniciales y las intervenciones realizadas.
- Evaluar la condición superficial y estructural de intervenciones tipo mantenimiento periódico y de rehabilitación de pavimentos, en el Distrito de Conservación Occidente estableciendo su condición actual, en tramos cuya longitud supere los 150 m.
- Comparar los resultados del diagnóstico actual de las intervenciones con los diseños iniciales proyectados y validar la efectividad de la metodología descrita en el Anexo Técnico.
- Plantear de manera conceptual un primer acercamiento a elementos de juicio que puedan contribuir a modificar y/o ajustar los criterios actuales con los que se exigen las pólizas de calidad para este tipo de intervenciones.

## **2. Capítulo II: Marco de referencia teórico conceptual**

Este trabajo se fundamenta en el desarrollo de los llamados Sistemas de Administración o Gestión de Pavimentos. A nivel mundial, los recursos que se asignan a la conservación de carreteras siempre son escasos e insuficientes; esto es válido tanto para países desarrollados con grandes longitudes de carreteras construidas, como para los calificados como en desarrollo.

En virtud de lo anterior, con el objeto de optimizar y hacer más eficiente tanto las acciones de conservación, como la priorización de los recursos económicos disponibles, la gestión de las redes viales requiere de dos grandes instrumentos: un sistema que evalúe las condiciones del pavimento, y un sistema que administre su conservación y que funcionen estrictamente en ese orden.

Por lo anterior, este capítulo aborda el estudio de algunos conceptos teóricos sobre los sistemas de evaluación de las condiciones funcionales y estructurales del pavimento, los programas de gestión y un breve recuento de los sistemas de gestión utilizados en algunos países de Latinoamérica con un grado de desarrollo tecnológico al menos similar a Colombia, de manera de poder hacer una rápida confrontación de los mismos con las aproximaciones que en este aspecto aplica el IDU.

### **2.1 Conceptos básicos<sup>1</sup>**

La conservación vial comprende una serie de actividades que establecen el tipo de intervención que requiere la estructura del pavimento y las cuales se describen a continuación:

---

<sup>1</sup> Grupo de Investigación y Desarrollo – Instituto de Desarrollo Urbano. Anexo Técnico para Distritos de Conservación. Versión 2.0, 2008. p. 61-62



**Mantenimiento rutinario:**

Se define como el conjunto de actividades tendientes a lograr el cumplimiento de la vida útil de la estructura, constituyéndose en una práctica preventiva. Entre las actividades principales se tienen las siguientes, sin limitarse a ellas:

- Limpieza de drenajes, pozos, alcantarillas.
- Sello de fisuras, en pavimentos flexibles.
- Limpieza y sello de juntas, para pavimentos rígidos.

**Mantenimiento periódico**

Se define como el conjunto de actividades superficiales que no comprometen las capas inferiores de la estructura del pavimento, tendientes a lograr que por lo menos se alcance el período de diseño o vida útil, manteniendo su condición de servicio. Constituyéndose así en una práctica preventiva o correctiva. Entre las actividades principales se tienen las siguientes, sin limitarse a ellas:

En pavimentos flexibles:

- Parcheo
- Bacheo
- Colocación de capas asfálticas no estructurales del tipo microaglomerado, o mezclas densas de restitución de carpeta.
- Lechada asfáltica o sello de arena-asfalto

Para pavimentos rígidos:

- Reconstrucción de losas.

**Rehabilitación:**

Esta actividad está definida como el conjunto de medidas que se aplican con el fin de recuperar la capacidad estructural del pavimento y hacerlo apto para un nuevo período de servicio. Algunas actividades asociadas a la necesidad de rehabilitar implican el retiro de parte de la estructura existente para colocar posteriormente el refuerzo, en tanto que con otras se busca aprovechar las condiciones superficiales existentes del pavimento.

Puede incluir el reciclado de las capas asfálticas, con o sin incorporación de material granular nuevo o existente, o la colocación de capas superiores de mejoramiento estructural. Normalmente, los procesos de rehabilitación van asociados a la ampliación de los períodos de vida útil y en consecuencia al estudio de tránsito, materiales y dimensionamiento estructural necesarios. Su intervención en profundidad será máximo hasta la primera capa granular de la estructura y se realizarán si se requiere mejoras en las condiciones hidráulicas, que no requieran renovación o diseño.

### **Reconstrucción:**

Se define como el retiro y reemplazo total de la estructura de un pavimento para generar una nueva estructura, la cual queda como una vía nueva. Es posible considerar la reutilización total o parcial de los materiales existentes. En su detalle, se debe hacer el estudio de tránsito, materiales, dimensionamiento estructural y si se requiere renovación o diseño de redes hidráulicas necesarias, para garantizar el período de vida útil previsto.

## **2.2 Sistemas de evaluación de la condición funcional y estructural del pavimento**

Los sistemas de evaluación de las condiciones y/o funcionalidad del pavimento establecen generalmente una evaluación funcional y una estructural, las cuales se exponen a continuación:

### **2.1.1 Evaluación funcional o superficial**

Se define como la caracterización de la calidad y del nivel de seguridad que ofrece el pavimento, concretamente la capa de rodadura, al usuario de la vía. La evaluación funcional consta de los siguientes parámetros como bien lo dice Higuera<sup>2</sup>:

---

<sup>2</sup> Higuera, Carlos. Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos. 1 ed. Colombia: UPTC, 2012. p. 27 – 29

- Irregularidad superficial: se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad de la rodadura, seguridad y costos de operación del vehículo, cuya medición se aproxima mediante el IRI (Índice de Regularidad Internacional). El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento, al igual que otros indicadores representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta,  $IRI = 0$ ) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida. Existen diferentes métodos para medir el IRI, entre los que se cuentan los siguientes: métodos de perfiles de precisión, métodos perfilométricos, estimación del IRI mediante correlaciones y valoraciones subjetivas y medidas sin calibrar.
- Resistencia al deslizamiento: es la fuerza desarrollada entre la superficie del pavimento y los neumáticos, que estando impedidos de rotar, deslizan a lo largo de la superficie. La resistencia al deslizamiento que presenta la carpeta de rodadura de un pavimento, está determinada por el coeficiente de fricción,  $\mu$ . Este coeficiente, en física, es calculado por la razón entre la fuerza de resistencia a la fricción y la fuerza normal a la superficie originada por el peso del vehículo. La resistencia al deslizamiento está influenciado por diferentes factores como son el clima, la lluvia y el efecto del tránsito acumulado y velocidad de los vehículos.

La regularidad superficial y la resistencia al deslizamiento pueden medirse mediante los siguientes equipos: El SCRIM, Quarter- Car (Norma INV E 794-07), Microperfilógrafo, Sistema de rayo láser, Método esterofotográfico, el Ensayo del círculo de arena (Norma INV E 791-07), Péndulo de la TRRL (Norma INV E 792-07) y el Rugosímetro de MERLIN.

- Ahuellamiento: el ahuellamiento es una depresión transversal en la zona de circulación. Las causas probables pueden ser: baja compacidad de las capas estructurales, mezclas asfálticas de baja estabilidad, bermas inestables, que no garanticen adecuado soporte lateral. El ahuellamiento se mide con una viga metálica fija y por medio de equipos como los perfilómetros.
- La inspección visual: consiste en la identificación de las fallas de un pavimento y en el análisis de sus causas y sus efectos. Las fallas de los pavimentos pueden dividirse en tres grupos fundamentales según Higuera<sup>2</sup>:

- 
- a) Fallas por insuficiencia estructural: se trata de pavimentos construidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesores insuficientes. En términos generales, esta falla se produce cuando las combinaciones de resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no conforman un sistema estructural con la resistencia apropiada.
- b) Fallas por defectos constructivos: se presentan en pavimentos quizá bien proporcionados y conformados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento del conjunto
- c) Fallas por fatiga: en pavimentos que originalmente estuvieron en condiciones apropiadas, pero por la continua repetición de las cargas de tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural, y en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada. En otras palabras cuando por los factores que correspondan se ha superado su vida útil efectiva del pavimento, que no necesariamente es la de diseño.

Para evaluar la condición superficial mediante la inspección visual en la que se identifican el tipo, la extensión y la severidad del daño, existen diferentes metodologías entre otras las que se mencionan a continuación:

1. Metodología VIZIR<sup>3</sup>: metodología desarrollada por el Laboratorio Central de Puentes y Calzadas – LCPC de Francia en 1972, establece claras distinciones entre fallas de tipo estructural y funcional. Aquí se establecen dos tipos de categorías A y B según el deterioro del pavimento. i) La categoría A caracteriza una condición estructural ligada a las condiciones de las diversas capas y al suelo de subrasante o simplemente a las capas asfálticas. Los daños asociados comprenden las deformaciones y los agrietamientos ligados a la fatiga del pavimento. ii) La categoría B caracterizada por daños que en su mayoría son de tipo funcional y dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la

---

<sup>3</sup> Ibid., p. 57 – 62

calzada. Entre ellos se encuentran los agrietamientos térmicos, los ojos de pescado, los desprendimientos y los afloramientos. Cada zona de análisis debe tener una longitud de 100 m. A partir de la categorización de los deterioros se calcula el Índice de deterioro superficial,  $I_s$ , cuyo valor oscila del 1 al 7, siendo 1 un pavimento en Buen Estado y 7 un pavimento Altamente Deteriorado.

2. Metodología PCI (Pavement Condition Index) o Sistema PAVER<sup>4</sup>: Fue desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en el año 1980. Esta aproximación busca proveer un índice que represente la integridad estructural y la condición de operación superficial. La información de daños obtenida como parte del estudio de la condición superficial, necesaria para el cálculo del PCI, provee una visión de las causas de los deterioros y permite determinar y diferenciar si las fallas de un segmento son producidas por las cargas o por el clima.

El tipo de deterioro de la estructura de pavimento se manifiesta en función de la clase de daño, su severidad y cantidad o extensión de los mismos. La metodología para calcular el PCI introduce los “valores deducidos” como un tipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y extensión tiene sobre la condición del pavimento. Los valores deducidos fueron desarrollados con base en el profundo entendimiento del comportamiento del pavimento, así como en el conocimiento de experimentados ingenieros de pavimentos, pruebas de campo, evaluación del procedimiento y descripciones precisas de los tipos y severidades de los daños.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en muy mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. El procedimiento para establecer el tipo, severidad y extensión de los daños de cada calzada, así como para el cálculo del PCI se realiza de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM D 6433-07 “Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys”

---

<sup>4</sup> Grupo de Investigación y Desarrollo – Instituto de Desarrollo Urbano. Op. cit., p. 15

3. Metodología SHRP (Strategic Highway Research Program): como lo señala Castillo<sup>5</sup> fue desarrollado en los Estados Unidos, se caracteriza por un alto nivel de detalle, siendo la recolección de datos del 100% de la longitud de los tramos testigos. Para su uso en proyectos o redes viales, se debe especificar el método de muestreo estadístico a utilizar. Utiliza croquis de inspección para mostrar la ubicación exacta de cada tipo de deterioro. Los tipos de falla y niveles de severidad deben identificarse usando la nomenclatura (N° y símbolo) especificada en el manual SHRP. Los parámetros evaluados corresponden a deformaciones permanentes, fisuramientos por fatiga y efectos térmicos

4. Metodología del MOP: tal como lo establece Solminihac<sup>6</sup> para evaluar el estado del pavimento, la Dirección de Vialidad del MOP (Chile) desarrolló un sistema de auscultación sistematizada por calzada. Para pavimentos asfálticos se define una unidad de muestreo igual a un kilómetro, en cada calzada, donde se tomarán datos cada 200 m. Para cada unidad de muestreo, se deben examinar 5 áreas locales cuadradas de lado igual al ancho del carril. Asume que el deterioro del pavimento es progresivo y que los síntomas aparecen en el orden que se indica a continuación, utilizado para efectos de la definición del estado superficial y que son a su vez excluyentes: desprendimiento, fisuramiento, agrietamiento y baches.

5. Metodología MINVU<sup>7</sup>: Metodología para la auscultación de pavimentos urbanos desarrollada por el MINVU (Chile), en ella se recopila información sobre la sección transversal de la calzada, lo que implica medir el ancho e identificar el número de calzada por las que efectivamente circulan los vehículos. La auscultación difiere entre pavimentos rígidos y flexibles, como se describe a continuación:

---

<sup>5</sup> Castillo, Cristian. Formulación de una metodología general para la elección de Programas de Conservación de Pavimentos Viales y su aplicación a la Región de Magallanes. Santiago de Chile, 2008, 207 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. p. 48

<sup>6</sup> Solminihac, Hernán. Gestión de Infraestructura Vial. 3 ed. Chile: Alfaomega, 2005. p. 125 - 126

<sup>7</sup> Ibid., p. 130-131

- Pavimento rígido: La auscultación visual se efectúa a partir de un muestreo sistemático cada 25 metros y debe abarcar la totalidad de las losas ubicadas a lo ancho de la sección transversal frente a la marca del balizado, si esta coincidiera con una junta se debe auscultar la losa posterior a la marca. Para cada una de las muestras seleccionadas deberán registrarse el número de losas auscultadas y sus dimensiones, el N° de grietas y fisuras, el coeficiente de rugosidad, las fallas típicas, el estado del sello de juntas y observaciones varias.
- Pavimento flexible: La metodología usada en pavimentos flexibles es similar a la anterior. Cabe destacar que el área muestreada difiere ya que en este caso se toma una franja de 6 m de largo por el ancho de la calzada, la cual debe quedar centrada en la marca del balizado. En la auscultación visual se toman deterioros específicos de este tipo de pavimentos, tales como desprendimiento superficial, exudación y ahuellamiento, junto con las típicas grietas y baches. La obtención de los datos se realiza a través de la medición del área afectada por baches, parches, desprendimiento y exudación, área afectada por grietas, ahuellamiento y coeficiente de rugosidad.

El estado del pavimento se obtiene a través del índice de serviciabilidad, el cual se calcula sobre la base de los datos obtenidos de la auscultación por medio de fórmulas empíricas que relacionan la cantidad y la severidad de los deterioros con la capacidad de servicio del pavimento.

### 2.1.2 Evaluación estructural

Mediante la evaluación estructural se busca establecer la capacidad de soporte de la subrasante y/o de la estructura, parámetros esfuerzo-deformación-resistencia de las diferentes capas y de esta manera precisar la condición de la estructura del pavimento. Como bien dice Solminihac<sup>8</sup> la función estructural depende de la propia capacidad resistente (materiales y espesores), así como del estado de envejecimiento del pavimento, por lo que la auscultación estructural debe incluir mediciones de deflexión y una inspección visual. De acuerdo a lo manifestado por el IDU<sup>9</sup> para determinar la

---

<sup>8</sup> Ibid., p. 138

<sup>9</sup> Grupo de Investigación y Desarrollo – Instituto de Desarrollo Urbano, Op. cit., p 28

condición estructural de un pavimento existente se emplean técnicas no destructivas, como el análisis de la deflexión bajo cargas determinadas. El estado mecánico es determinado por la respuesta, en términos de deflexiones elásticas de la estructura de pavimento. Por otro lado, mediante la comparación entre la capacidad estructural requerida y la existente, es posible establecer la necesidad de rehabilitación o de mantenimiento (rutinario y periódico).

Dentro de los equipos más usuales para medir la deflexión según Higuera<sup>10</sup> se tienen los siguientes:

- Viga Benkelman: ideada por A.C. Benkelman es un sencillo dispositivo mediante el cual se determinan las deformaciones elásticas (deflexión) en un punto de contacto de dicha viga con el pavimento, ubicado entre las llantas de un sistema doble bajo un eje estandarizado (8,175 kilogramos) y con una presión de inflado de neumáticos fija (5.6 kg/cm<sup>2</sup>).

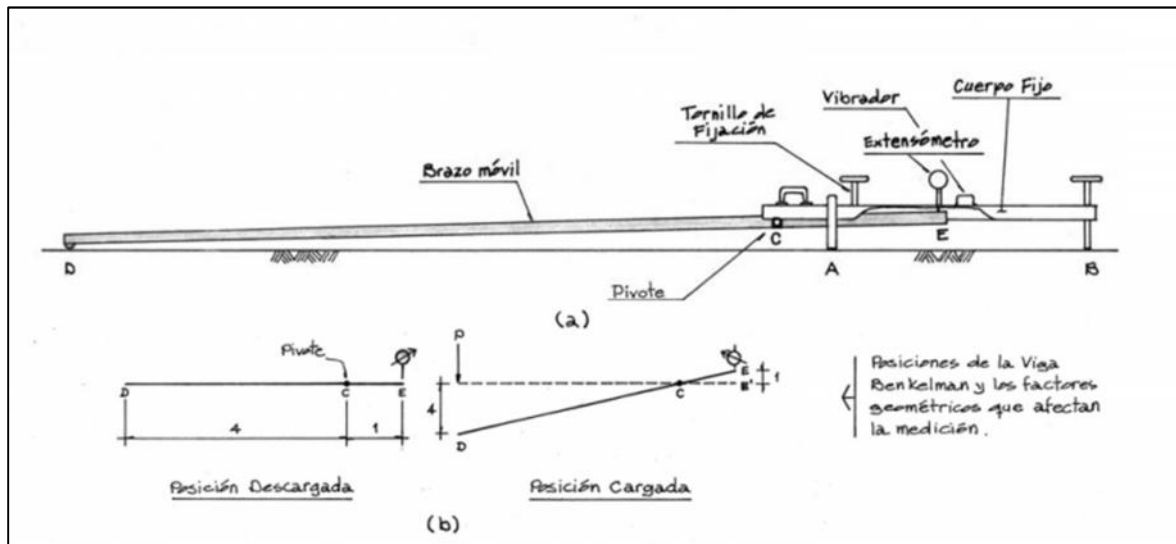
La viga Benkelman consta básicamente de una parte fija y una viga móvil. La parte fija o estructura portante, esta soportada por tres apoyos que descansan sobre la superficie del pavimento, mientras que la móvil, que constituye el brazo de medida, se encuentra unida a una parte fija por medio de un pivote de giro. Uno de los extremos del brazo de medida hace contacto con la superficie del pavimento en el sitio en el que se desea medir la deflexión y el otro hace contacto con el medidor de deformación montado sobre la parte fija y cuya lectura debe multiplicarse por la “constante de la viga” o relación entre los sectores en que el pivote divide el brazo, con el fin de obtener el valor real de la deflexión.

---

<sup>10</sup> Higuera, Op. cit. p. 97,113 - 116



Figura 2-1 Viga Benkelman



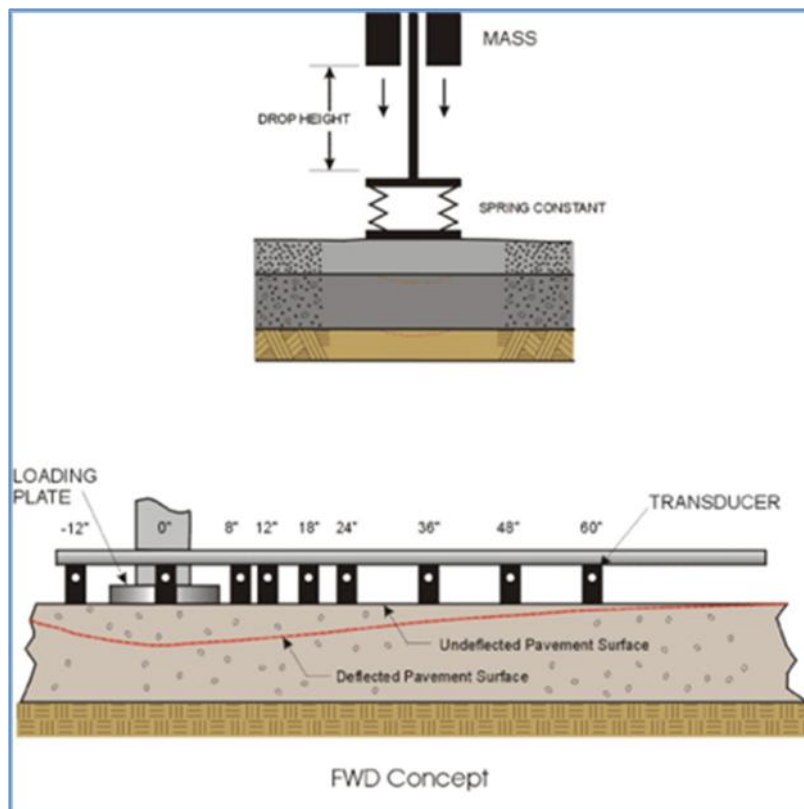
Fuente: Hoffman, M. 1985. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos basados en la interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos no Destructivos). Recuperado de <http://www.camineros.com/docs/cam039.pdf>

- Deflectógrafo Lacroix: ideado en Francia, es la automatización de la viga Benkelman y permite medir las deflexiones del pavimento sin detener la marcha del camión que la transporta. El equipo posee, además de la viga, un instrumental electrónico que registra la deformación del pavimento en ambas huellas bajo el peso transmitido por un par de ruedas dobles del eje trasero del camión.
- Deflectómetro de Impacto – FWD: El principio general de funcionamiento del FWD se basa en la generación de una onda de carga sobre el pavimento. Esto se consigue por medio del impacto provocado por la caída libre de una masa, impacto que es transmitido al pavimento mediante un sistema de amortiguamiento elástico montado sobre una placa de carga. La masa, el sistema de amortiguación y la altura de caída pueden regularse para obtener el impacto deseado sobre el pavimento.

Una serie de sensores miden las deflexiones verticales del pavimento bajo el centro de la placa de carga y en diversas posiciones a distintas distancias de este centro. Los deflectómetros de impacto deben disponer de un número de sensores de medida de deflexiones suficiente para proporcionar una buena descripción de la forma del cuenco de deflexiones, número tan amplio como requiera el objeto de las mediciones. Las deflexiones registradas por los sensores más alejados son debidas a la deformación de las capas más inferiores (la subrasante normalmente), mientras que la deflexión

registrada por el sensor central es debida a la deformación de todas las capas, y de esta manera es posible aproximar la capacidad estructural del pavimento en conjunto.

**Figura 2-2** Concepto FWD



Fuente: Bardasano, R. 2014. El Origen del Deflectómetro de Impacto. Recuperado de <http://paveing.blogspot.com.co/2014/01/el-origen-del-deflectometro-de-impacto.html>

Actualmente el FWD es un equipo ampliamente utilizado en el mundo para la evaluación del estado estructural de pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos. El principal aporte del FWD frente a los equipos clásicos de deflectometría es el análisis de la capacidad de soporte mediante el cálculo inverso de los módulos de rigidez de las capas de un pavimento a partir de los cuencos de deflexión registrados. También se usa el deflectómetro para aplicaciones específicas de pavimentos rígidos, tales como el análisis de transferencia de carga en juntas o la detección de huecos bajo las losas.

- **Curviómetro:** es un equipo de carga estática, cuyo eje trasero está lastrado con una carga de 13 t, siendo la distancia entre ejes de cinco metros. La adquisición de datos se realiza cada 5 metros a una velocidad de 5 m/s (18 km/h). Como parámetros principales se obtienen la deflexión en el punto de mayor deformada, el radio de curvatura en dicho punto y la anchura de la deformada, que se define como la distancia entre sus puntos de inflexión. El elemento mecánico principal está formado por una cadena en forma de oruga que gira a una velocidad sincronizada con el vehículo. Sobre esta cadena, que se coloca entre las ruedas gemelas derechas traseras, están instalados los tres sensores de medida.

Las deflexiones efectuadas con Viga Benkelman o Deflectógrafo Lacroix han sido tradicionalmente utilizadas como medida patrón de deflexión en numerosos países europeos; sin embargo, numerosos estudios, entre los que se encuentran los realizados en el Centro de Estudios de Carreteras (CEDEX) de España, muestran que el FWD registra de forma mucho más precisa la deformación real de la estructura, y se caracteriza además por una repetividad y reproducibilidad muy superior a los equipos tipo viga, proporcionando resultados menos dispersos.

### **2.2.2 Georadar y sondeos**

El uso del georadar en la determinación de los espesores de las estructuras de los pavimentos sirve como herramienta para determinar el deterioro vial y su período de mantenimiento. Los resultados de este equipo definen el perfil de la estructura que será un insumo para determinar el número estructural efectivo, la calidad de los materiales que conforman la estructura del pavimento y los sectores homogéneos en el tramo.

## **2.2. Programas para Gestión de Pavimentos**

Dentro de los avances tecnológicos y de sistemas computarizados existen diversos programas de gestión de pavimentos, encargados del procesamiento de la información de campo recopilada y de realizar la planificación y formulación de los planes de mantenimiento e intervenciones en los pavimentos evaluados. Dentro de ellos se tienen los siguientes, correspondientes a los de mayor uso a nivel mundial:

### 2.2.1 Programa de gestión HDM-4

De acuerdo a lo establecido por Kerali<sup>11</sup> el programa HDM-4 desarrollado por el Banco Mundial desde el año 1968, es una herramienta computacional para la simulación, evaluación y gestión de pavimentos de concreto hidráulico y de concreto asfáltico, para que inversionistas y administradores en infraestructura vial, puedan evaluar simultáneamente varios corredores viales; superando así, las evaluaciones tradicionales de los proyectos, proporcionando un potente sistema para el análisis de la gestión de carreteras y de las alternativas de inversión.

El modelo inicial se produjo como respuesta a los términos de referencia para un estudio de diseño de carreteras producido por el Banco Mundial conjuntamente con el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL, por sus siglas en inglés, Transport and Road Research Laboratory), con el objeto de examinar las interacciones entre costos de la obra y costos de operación de vehículos.

Posteriormente se fueron desarrollando versiones y mejoras al modelo de acuerdo a los requerimientos y solicitudes requeridas, pasando así por las diversas versiones del modelo (HDM II, HDM III) hasta llegar a la versión actual que corresponde al HDM-4.

Las principales funciones del HDM-4 son el análisis de los deterioros y los efectos de la conservación de carreteras, para formular una serie de alternativas de conservación especificadas por el usuario de la aplicación. Para ello, calcula los costos de operación de los vehículos en función del estado de cada carretera, determina los costos anuales de la administración de carreteras y de los usuarios para cada una de las alternativas de conservación definidas. Por último, se evalúan las alternativas de conservación, produciendo la comparación económica de las mismas. De esta manera el ingeniero dispone de una amplia información para determinar cuáles son las medidas de conservación más beneficiosas para la red estudiada.

---

<sup>11</sup> Kerali, Henry G. R. Visión General de HDM-4, Versión 1.0, [www.camineros.com/docs/cam031.pdf](http://www.camineros.com/docs/cam031.pdf). p. 3 - 6

Una de las características del HDM-4 es el número de parámetros de entrada, es decir, los modelos de deterioro son desarrollados con una base de datos empírica determinada y bajo condiciones específicas de clima, tipo y forma, materiales, etc., al ser estos utilizados bajo condiciones distintas, pueden presentarse diferencias considerables entre los deterioros que el modelo predice y los que se observan en la realidad, para reducir estos errores ó para verificar si el modelo es inadecuado o incompleto, detectando posibles debilidades y limitaciones, los procedimientos de calibración o ajuste resultan muy útiles.

La metodología HDM-4 es ampliamente utilizada a nivel mundial, y en el ámbito local (Colombia – Bogotá D.C.), es la de mayor uso para el cálculo de proyecciones de comportamiento de las estructuras de pavimento y de las intervenciones requeridas en ellos.

### **2.2.2 Programa de gestión dTIMS**

Tal como lo señala Álvarez<sup>13</sup> el programa de gestión de pavimentos Deighton's Total Infrastructure Management System (dTIMS), es una herramienta computacional creada por la compañía norteamericana Deighton Associates Limited desde el año 1987, que sirve para establecer planes de mantenimiento en las redes viales, creando modelos de deterioros que simulan la evolución de los parámetros funcionales y estructurales de un pavimento a lo largo del tiempo, permitiendo crear diferentes estrategias de mantenimiento y/o rehabilitación, de las cuales selecciona las alternativas que generen un plan de construcción óptimo desde el punto de vista técnico y económico, estableciendo prioridades en los tiempos de intervención para una mejor distribución de recursos, los cuales generalmente son limitados en la ejecución de obras de infraestructura vial.

Para la implementación de este sistema de gestión, es necesaria la determinación de algunos parámetros estructurales y funcionales, además, algunas características generales de la vía en estudio, que permitan establecer sectores de comportamiento

---

<sup>13</sup> Álvarez Rivas, Ignacio. Análisis y estudio de la red vial pavimentada de la I Región utilizando el sistema computacional dTIMS. Santiago de Chile, 2008. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil.

homogéneo, a los cuales se les pretende aplicar el plan de mantenimiento y/o rehabilitación arrojado por el dTIMS.

Para cualquier análisis en dTIMS se deben establecer en primer lugar, el conjunto de parámetros, variables y expresiones que permitan evaluar el estado de los pavimentos analizados para cada año de análisis. A continuación, se deben definir los tratamientos de mantenimiento y rehabilitación, y determinar bajo qué condiciones del estado del pavimento es conveniente que sean ejecutados. En seguida se debe precisar las diversas características que se le atribuirán al análisis como por ejemplo, el tiempo de duración, unidades, escenarios presupuestarios, tipo de vehículos, tasas de crecimiento, entre muchas otras.

Una vez realizado lo descrito en el párrafo anterior, se ha conseguido elaborar las bases de un análisis determinado para una red vial cualquiera. Por lo mismo, para hacer efectivo un análisis, es necesario ingresar la red vial a estudiar disgregada en sus tramos homogéneos, junto con las múltiples características que los describen. En este momento, el programa ya puede ser corrido con el fin de generar las estrategias para cada elemento. Una estrategia corresponde a una combinación de tratamientos aplicados en ciertos años del período de análisis, que satisface los requerimientos técnicos y restrictivos definidos anteriormente. Para cada elemento se generan varias estrategias, además, de sus costos de implementación.

Finalmente con los insumos suministrados al dTIMS este sistema establece un programa de intervenciones cada año dependiendo de los modelos de deterioro realizados y de los recursos disponibles para invertir año tras año. Una de las grandes ventajas, que presenta este sistema de gestión, es que permite optimizar los recursos y distribuirlos creando el mayor beneficio con la menor inversión.

Dicha metodología está siendo aplicada en países como Chile y Perú, en Colombia la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI, la está contemplando en sus proyectos de concesiones.

El sistema de gestión dTIMS, es equivalente al ya reconocido sistema de gestión HDM-4.

## 2.3 Sistemas de Gestión de Pavimentos utilizados en Latinoamérica

A continuación se realiza una descripción general de los Sistemas de Gestión de Pavimentos desarrollados en algunos países en Latinoamérica, como elemento de juicio para estimar las similitudes y elementos de complementación al sistema utilizado para nuestro país y para el caso del presente estudio el utilizado en la ciudad de Bogotá.

### 2.3.1 Sistemas de gestión de pavimentos utilizado en México

El Instituto Mexicano de Transporte desarrolló en el año 2004 el documento técnico Sistema de Evaluación de Pavimentos Versión 2.0<sup>14</sup>, dicha metodología involucra fundamentalmente lo siguiente:

- Segmentos o tramos de estudios con longitud de 1 km.
- Consideraciones de carga o daños al pavimento generado solo por vehículos pesados
- Obligatoriedad de la determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), midiendo con aparatos o equipos apropiados la rugosidad acumulada en 1 km, y considerando el valor máximo 3,5 m/km como límite para calificar un buen o mal pavimento.
- El sistema contempla también un módulo de fricción, que valora la resistencia al deslizamiento de los vehículos en operación sobre una carretera, en condiciones húmeda y seca. En principio, sugiere los siguientes valores límite: mínimo coeficiente de fricción para pavimento seco 0,8 y mínimo coeficiente de fricción para pavimento mojado 0,5.

En este sistema, el módulo o subsistema Capacidad Estructural considera dos tipos de deflexión: la permisible o tolerable y la real bajo carga. En los casos en que la medición real sea menor de la permisible, el segmento estudiado se considera adecuado en su desempeño y puede esperar al siguiente año para su próxima evaluación. En el caso contrario, si la deflexión real bajo carga medida en el campo excede la tolerable (que está en función de los espesores reales del pavimento al momento de la evaluación), el sistema sugerirá la necesidad de un refuerzo con base

---

<sup>14</sup> Instituto Mexicano de Transporte, Sistema de Evaluación de Pavimentos Versión 2.0, Publicación Técnica N° 245, 2004, San Fandila, Qro. p. ix - xi

en sobrecarpetas o, en ciertos casos extremos, llegar al reciclado o reconstrucción del tramo si la carpeta ya se encuentra agrietada. De igual manera, incorpora el uso del FWD, toda vez que previamente solo se venían midiendo las deflexiones con la Viga Benkelman o el Dynaflect.

Este Sistema de Evaluación de Pavimentos tiene por objetivo la conservación periódica o la reconstrucción, proponiendo a nivel de sugerencias ciertas estrategias o acciones de mantenimiento. Para tales acciones el sistema cuantifica a precios vigentes los costos involucrados, asignando factores de inflación o actualización de precios en función del período o años de diseño elegidos. En cuanto al mantenimiento rutinario y la modernización de carreteras se excluyen de este sistema.

Al alimentar con los resultados de este método un Sistema de Administración de la Conservación, por ejemplo, el SISTER o el HDM-4, los funcionarios responsables del mantenimiento en el Sector están en posibilidad de priorizar la conservación en la red federal de carreteras de México, aumentando la longitud de carreteras en buen estado, y minimizando los tramos de carreteras en malas condiciones.

### **2.3.2 Sistema de gestión de pavimentos utilizado en Chile**

El Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile desarrolló la Metodología Simplificada de Preparación y Evaluación de Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano – MANVUSIMP<sup>15</sup>. Los proyectos de mantenimiento vial urbano comprenden acciones sobre la red vial que van desde la conservación rutinaria y/o periódica hasta acciones de rehabilitación física y/u operacional de estas vías.

El método se fundamenta en un proceso por etapas, las cuales se mencionan en forma resumida a continuación:

- Recopilación de antecedentes de la situación actual. Consiste en la recopilación de la información existente. Dichos antecedentes son básicamente históricos, es decir son

---

<sup>15</sup> Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile. Metodología Simplificada para evaluar Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano – MANVUSIMP, Chile, 2008. p. 9



aquellos existentes antes de hacer el análisis para determinar las prioridades de mantenimiento vial para el año siguiente.

- Preselección de tramos. Se realiza a partir de aquellos tramos que requieren de conservación en forma prioritaria y cuya inclusión debe hacerse en el proceso presupuestal del año siguiente. En los casos que existan abundante información relacionada con la materia, dicha preselección será bastante precisa. Por el contrario, si la información es insuficiente, la preselección será más bien intuitiva.
- Recopilación de información en tramos preseleccionados. Esta labor está orientada a determinar ciertos parámetros tales como: a) Los niveles de tránsito: obteniendo el Tránsito Medio Diario Anual (T.M.D.A); b) El estado del pavimento: mediante la auscultación visual recopilando información referida al agrietamiento del pavimento, descripción de fallas típicas, coeficiente de rugosidad, etc. y c) Cálculo del índice de Servicialidad “P” para el año de estudio. En cuanto a la medición del coeficiente de rugosidad se establecen dos metodologías teniendo en cuenta si se utiliza o no el Rugosímetro MERLIN.
- Evaluación de tramos preseleccionados. En esta etapa corresponde evaluar las distintas políticas de conservación, con el objeto de seleccionar la alternativa óptima para cada uno de los tramos identificados. Se opta por utilizar la relación Beneficio/Costo como indicador de rentabilidad y principalmente por situaciones de restricción presupuestal.
- Formulación del programa de conservación para la Unidad de Análisis. Esta tarea se hace en función de los resultados obtenidos al evaluar cada proyecto (calle o tramo) de acuerdo a lo indicado. Es relevante además hacer un análisis de dichos resultados para compatibilizar las políticas entre tramos consecutivos y definir claramente las especificaciones técnicas del programa definitivo. De esta tarea surgen también proyectos de rehabilitación de pavimentos que deberán ser sometidos a un análisis para determinar la conveniencia de ser identificados como proyectos de “mejoramiento”.

### **2.3.3 Sistema de gestión de pavimentos utilizado en Bogotá D.C-Colombia (IDU)**

En la ciudad de Bogotá D.C., el Anexo Técnico para Distritos de Conservación desarrollado por el IDU es el resultado de un proceso de revisión bibliográfica del estado del arte para procesos de conservación vial, que adicionalmente pretende, mediante las

experiencias obtenidas de la ejecución de contratos de mantenimiento, mejorar las condiciones para la toma de decisiones correspondientes al diagnóstico y la definición del tipo de intervención.

La metodología desarrollada está soportada en el análisis de experiencias y condiciones locales, así como en la revisión y análisis de documentos internacionales, y de metodologías ampliamente probadas y aplicadas con éxito.

La determinación de los estados superficiales y estructurales del pavimento está apoyada en las metodologías PCI y AASHTO, las cuales deben ser aplicadas fielmente, para optimizar los resultados obtenidos y a su vez permitir establecer la efectividad de las mismas.

La validación de la metodología del Anexo Técnico aplicada en los Distritos de Conservación constituye el objeto principal de estudio del presente trabajo final por tanto a continuación se presentan los aspectos más relevantes de dicha metodología.

## **2.4 Anexo técnico para Distritos de Conservación<sup>16</sup>**

Las evaluaciones descritas a continuación se realizan a los pavimentos flexibles para determinar su estado, clasificación y tipo de intervención necesaria para que la estructura garantice una durabilidad acorde a los periodos de diseño de proyectados.

### **2.4.1 Evaluación superficial**

Para evaluar la condición superficial de cada segmento, se utiliza la metodología “Pavement Condition Index” (PCI).

En la Tabla 2-1 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

---

<sup>16</sup> Grupo de Investigación y Desarrollo – Instituto de Desarrollo Urbano, Op. cit., p 15 - 65

**Tabla 2-1:** Rangos PCI

PCI		
0 - 25	ROJO	MALO
26 - 55	NARANJA	REGULAR
56 - 85	AMARILLO	BUENO
86 - 100	VERDE	EXCELENTE

Fuente: Pavement Management for Airports, Roads And Parking Lots: Shahin M.Y.

El procedimiento para la toma del tipo, severidad y extensión de los daños de cada calzada, así como para el cálculo del PCI se realiza de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM D 6433-07 “Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys”, exceptuando lo referente a las unidades de muestreo, pues se tomara en todas y cada una de las calzadas.

## 2.4.2 Proyecciones del Transito

Se realizan mediante el proceso de modelación para el año base y los escenarios considerados a 3, 5, 7, 10, 15 y 20 años. Esta información es el insumo para determinar las solicitaciones de carga repetida del tránsito mediante el número de ejes equivalentes; y el número estructural (SN) para establecer la capacidad estructural del pavimento y para el análisis de capacidad y niveles de servicio que evaluará la sección transversal de los corredores viales y/o intersecciones.

Para diagnósticos el (SN req) se calcula para un periodo de tres (3) años.

En el Anexo 3-2 se presentan las modelaciones de transito efectuadas en el presente estudio.

### 2.4.3 Evaluación Estructural

Las actividades previas y los métodos para la toma de deflexiones son los indicados en la Norma INV E-797-07 “Medidas de Deflexión en Pavimentos.”

- Localización y frecuencia de las mediciones: las medidas de deflexión se realizan sobre la huella exterior (para pavimentos flexibles), la frecuencia de medidas o determinaciones a realizar estará de acuerdo a lo recomendado por la norma ASTM (D4694), en la Tabla 2-2 se indica la separación entre pruebas (frecuencia del ensayo):

**Tabla 2-2:** Separación máxima entre pruebas (ASTM D4694)

TIPO DE VÍA	SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE ENSAYOS	
	Longitud del segmento	Número de deflexiones (Por calzada)
Local, Intermedia y Arterial	SEGMENTO < 50 m	2
	50 m < SEGMENTO < 100 m	3
	100 m < SEGMENTO < 150 m	4
	150 m < SEGMENTO < 200 m	6
	200 m < SEGMENTO < 250 m	7
	SEGMENTO > 250 m	Cada 30 m
	La medida se deberá realizar en el carril más desfavorable en la huella externa, por sentido y por calzada.	

Fuente: IDU, 2008. Anexo Técnico para Distritos de Conservación

- Equipos. Independiente del tipo de malla vial de la ciudad (Arterial, intermedia o local), se empleará, para la toma de deflexiones y la determinación estructural del pavimento, mediante ensayos no destructivos, el Deflectómetro de impacto – Falling Weight Deflectometer (FWD).

- Medición de Deflexiones con FWD. El procedimiento de medida se realizará de acuerdo a lo indicado en la Norma INV E-798-07 “Método para medir Deflexiones mediante Deflectómetro de Impacto (FWD)”. Los factores que determinan la magnitud de las deflexiones y que deben ser tenidos en cuenta de manera cuidadosa son la temperatura y humedad, estado del pavimento, espesores de las capas de pavimento (capas delgadas) y los niveles carga.

La correcta evaluación de la capacidad estructural remanente del pavimento existente es uno de los aspectos críticos en el diagnóstico. Es así que para pavimentos flexibles se determina mediante el número estructural (SN).

#### **2.4.4 Condición del Pavimento**

Para la clasificación de la condición del pavimento, se deben tener en cuenta las dos variables descritas: estado estructural y estado superficial. La determinación de la condición del pavimento flexible estará definida por la combinación de las dos preclasificaciones; la superficial y la estructural.

- Preclasificación:

Preclasificación por Estado Superficial: mediante el cálculo del PCI, se determina la condición superficial del pavimento.

Preclasificación por Estado Estructural: esta preclasificación se encuentra apoyada en la determinación del número estructural (SN efectivo) del pavimento, de acuerdo a la metodología AASHTO-93 con base en el tránsito  $W_{18} = N$ , el MR de las capas, PSI y otras estadísticas.

En las actividades de diagnóstico, se presentan dos números estructurales, el Número estructural requerido (SN req) y el Número estructural efectivo (SN efec).

El número estructural efectivo (SN efec) corresponde a la capacidad estructural del pavimento en servicio al momento de ser evaluado, con condiciones de tránsito definidas y mediante análisis de deflexiones a través del cálculo inverso.

El número estructural requerido (SN req) corresponde a la capacidad estructural necesaria para que una estructura de pavimento pueda soportar las sollicitaciones de

carga, en términos de número de ejes equivalentes para un periodo de tiempo determinado.

La relación entre el (SN req) y el (SN efec) denominada Índice Estructural ( $I_e$ ) es una manera de estimar la vida remanente del pavimento y permite identificar dos grandes grupos:

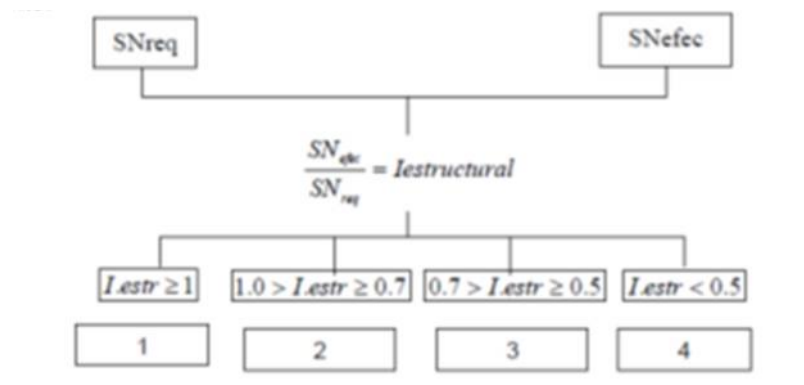
- i.  $I_e \geq 1$
- ii.  $I_e < 1$

Cuando  $I_e \geq 1$ , la estructura de pavimento existente tiene un (SN efec) igual o mayor que él (SN req) y por tanto no requiere de ningún refuerzo para cumplir con las solicitaciones requeridas para el periodo de vida útil definido, siendo estructuralmente competente. En tal caso, bastará con ejecutar actividades de mantenimiento rutinario y/o periódico, según corresponda al estado superficial que tenga el pavimento.

Pero si  $I_e < 1$ , quiere decir que la estructura de pavimento necesita reforzarse.

Dentro de este grupo, se pueden identificar dos extremos; el primer caso, cuando el Índice estructural  $I_e$  se acerca a cero (0), y el segundo cuando está cerca de uno (1). Para las dos situaciones la necesidad de refuerzo son diferentes, siendo la más crítica aquella en la que  $I_e$  se acerca a cero (0), queriendo decir que la estructura necesita reconstruirse.

El análisis anterior permite establecer una preclasificación estructural, de la misma manera como se hace con la preclasificación superficial, por lo cual se tiene lo siguiente:

**Figura 2-3** Preclasificación del Índice Estructural  $I_e$ 

Fuente: IDU, 2008. Anexo Técnico para Distritos de Conservación

Para diagnósticos el ( $SN_{req}$ ) se deberá calcular para un periodo de tres (3) años.

- Determinación de la condición del pavimento:

Partiendo de las preclasificaciones establecidas anteriormente; (por superficie y por capacidad estructural), se define la condición del pavimento, como el resultado de la combinación de la condición estructural y la condición superficial, de tal manera que, conociendo los valores de PCI y del Índice estructural  $I_e$ , se llega a la clasificación de la condición del pavimento. A esta combinación se denomina CLASE, identificada mediante colores que se relacionarán con los tipos de intervención que podrían ser adelantados, ya sea mantenimiento (periódico o rutinario), rehabilitación o reconstrucción.

Finalmente, las combinaciones por color y por código permiten establecer los siguientes códigos de CLASE:

**Tabla 2-3:** Calificación condición del pavimento

CALIFICACIÓN CONDICIÓN DEL PAVIMENTO			
CÓDIGO DEL ÍNDICE	OPI	CLASE	COLOR DE LA CLASE
$I_e$			
4	D	4 D	ROJO
	C	4 C	ROJO
	B	4 B*	ROJO
	A	4 A*	ROJO
3	D	3 D	NARANJA
	C	3 C	NARANJA
	B	3 B*	NARANJA
	A	3 A*	NARANJA
2	D	2 D	NARANJA
	C	2 C	NARANJA
	B	2 B	NARANJA
	A	2 A	NARANJA
1	D	1 D	AMARILLO
	C	1 C	AMARILLO
	B	1 B	AMARILLO
	A	1 A	VERDE

Fuente: IDU, 2008. Anexo Técnico para Distritos de Conservación

Se aclara que en la Tabla 2-3 y 2-4 siguiente la columna OPI corresponde es al PCI.

Indicando que para códigos entre 4A y 4D se realizarán actividades de reconstrucción; para códigos entre 2A y 3D, actividades de rehabilitación, y para códigos entre 1A y 1D se programarán actividades de mantenimiento.

- Intervenciones para pavimentos flexibles

De acuerdo a los códigos de CLASE definidos en la determinación de la condición del pavimento, es posible establecer los tipos posibles de intervención, como una ayuda en el proceso de la toma de decisiones y poder establecer el momento y necesidad específica de intervención.



**Tabla 2-4:** Intervenciones para la condición del pavimento

INTERVENCIONES PARA LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO			
CÓDIGO DEL ÍNDICE $I_i$	OPI	CLASE	TIPO DE INTERVENCIÓN
4	D	4 D	Reconstrucción
	C	4 C	
	B	4 B*	
	A	4 A*	
3	D	3 D	Rehabilitación
	C	3 C	
	B	3 B*	
	A	3 A*	
2	D	2 D	Rehabilitación
	C	2 C	
	B	2 B	
	A	2 A	
1	D	1 D	Mantenimiento Periódico
	C	1 C	Mantenimiento Periódico
	B	1 B	Mantenimiento Periódico
	A	1 A	Mantenimiento Rutinario

Fuente: IDU, 2008. Anexo Técnico para Distritos de Conservación

- Segmentos testigo

En el marco de la administración de pavimentos y con el fin de predecir el deterioro que pueden sufrir dichos pavimentos a lo largo de su vida útil, se utilizan distintos tipos de modelos de comportamiento (o deterioro).

Existen dos ámbitos en los cuales se calibran los modelos de deterioro, a saber: ámbito de red y ámbito de segmentos testigo. La calibración que se lleva a cabo como producto de los contratos de distritos correspondió a la calibración en el ámbito de segmentos testigo.

La metodología se basa en la selección de segmentos que hayan sido intervenidos, y en la posterior toma de datos de diagnóstico sobre estos segmentos durante varios años, de manera que se pueda registrar la evolución de los diferentes deterioros en un conjunto de segmentos testigo. Con base en los datos recopilados, se ajustan los modelos de deterioro para cada segmento testigo por separado, utilizando las

---

ecuaciones provistas en el modelo HDM-4, lo que permitirá obtener factores de calibración para el segmento testigo. Por último, se obtienen los factores de calibración de aquellos segmentos restantes de la red, asignándole a cada segmento de la red el factor de calibración correspondiente a un segmento testigo que tenga las mismas características estructurales y de tipo de superficie.

Para que se pueda utilizar un segmento como testigo, se deben conocer todos los aspectos relacionados con su construcción, las propiedades de los materiales que conforman la estructura, así como las sollicitaciones de tráfico. Por lo tanto, los segmentos testigo serán escogidos entre aquellos a los cuales se les lleve a cabo intervenciones de reconstrucción o construcción. Sin embargo, eventualmente, se podrán escoger segmentos a los cuales se les haya llevado a cabo actividades de mantenimiento.

Finalmente se tiene la matriz sugerida de clasificación y tipo de intervención para pavimentos flexibles y la cual se muestra a continuación:

**Tabla 2-5:** Matriz de clasificación y tipo de intervención

CÓDIGO DE CLASE	MANTENIMIENTO										REHABILITACIÓN	RECONSTRUCCIÓN
	RUTINARIO		PERIODICO									
	Mantenimiento de tuberías, box culvert, y estructuras de alcantarillado	Sello de Grietas en Pavimentos Asfálticos	Lechadas asfálticas. (Mezcla no estructural)	Sello de Arena Asfalto. (Mezcla no estructural)	Tratamiento Superficial Simple. (Mezcla no estructural)	Micro aglomerado en Calle. (Mezcla no estructural)	Reparación superficial de pavimento asfáltico (parcheo)	Reparación profunda de pavimento asfáltico (bacheo)	Fresado de Pavimentos Asfálticos.	Mezcla Densa en Calle (Para restitución de Carpeta de Rodadura) y cuando aplique previo sello de fisuras e intervenciones de Parcheo y Bacheo.		
1A	X	X										
1B	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
1C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
1D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2A	X									X	X	
2B	X									X	X	
2C	X									X	X	
2D	X									X	X	
3A	X										X	
3B	X										X	
3C	X										X	
3D	X										X	
4A	X											X
4B	X											X
4C	X											X
4D	X											X

Fuente: IDU, 2008. Anexo Técnico para Distritos de Conservación

## 2.5 Análisis comparativo entre países

A continuación se presenta en la Tabla 2-6 un análisis comparativo de las metodologías utilizadas en México y Chile y las utilizadas en Colombia, especialmente en la ciudad de Bogotá D.C.

**Tabla 2-6:** Comparativo metodologías en Latinoamérica.

PAIS	Inspección Visual	Evaluación Estructural	IRI	Coefficiente de Fricción	HDM4
MEXICO	✓	✓	✓	✓	✓
CHILE	✓		✓		✓
COLOMBIA(Bogotá)	✓	✓			✓

Puede observarse que el uso de la inspección visual como elemento de valoración del estado superficial de los pavimentos, independiente de la metodología utilizada (PCI, MOP, MANVUSIMP, etc.), es común en todos los países analizados, lo cual muestra la pertinencia de su uso en la evaluación de los pavimentos. Al punto, que países como Chile lo utiliza como único elemento de evaluación para el diagnóstico de sus estructuras de pavimento, complementado con la valoración del IRI, que también corresponde a una evaluación superficial.

De igual manera, revisada la experiencia de países como México y Chile, quienes en el ámbito de la gestión de pavimentos se encuentran dentro de los países de Latinoamérica con mayores avances y estudios al respecto, se observa la utilización recurrente y bastante defendida del Índice de Regularidad Internacional (IRI), toda vez que el misma constituye el parámetro por excelencia de medición de la comodidad y seguridad que percibe el usuario sobre el estado del pavimento de una carretera.

Medido mediante equipos especializados, definido a partir de inspección visual y/o deducido por correlaciones como las establecidas con el Índice de Servicialidad "P", el IRI representa una medida de la calidad de los pavimentos desde el momento mismo en que son construidos, así como cuando debe realizarse alguna intervención.

El IRI se puede calcular sobre cualquier longitud de carretera, sin embargo es importante notar que el cálculo del mismo depende de manera significativa de la longitud auscultada por ser un parámetro acumulado. En vista de la importancia que reviste la longitud para la determinación del IRI, es necesario establecer intervalos de longitud, ya que intervalos de longitud mayores ocultan niveles altos de regularidad superficial en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de IRI satisfactorios. Por otra parte, la utilización de intervalos de longitud menores para la determinación del IRI, puede detectar niveles altos de irregularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

En la actualidad en Colombia para vías urbanas la medición del IRI se efectúa en la etapa de recibo de las obras, mas no en las de diagnóstico, por lo cual valdría la pena poner en consideración de las entidades competentes a nivel regional y/o distrital la posibilidad y pertinencia de evaluar este parámetro en esta etapa de la gestión de los pavimentos. Aunque en principio son claras las limitaciones que pueden tenerse a la hora de su medición ya que las longitudes de las vías urbanas suelen ser cortas, en la actualidad las tecnologías desarrolladas a nivel mundial están permitiendo mediciones en tramos cortos y con pausas, lo que permite la medición acumulada necesaria de este parámetro. Lo anterior, teniendo en cuenta que por las limitaciones propias en el alcance del presente trabajo final, no es posible la realización de dichas mediciones en los tramos seleccionados.

En el presente trabajo se evaluarán las metodologías existentes en el Distrito Capital para el diagnóstico y definición del tipo de intervención requerida en las estructuras de pavimentos flexibles las cuales corresponden a las descritas en el Anexo Técnico para Distritos de Conservación.

## **2.6 Pólizas de estabilidad de obra**

Las garantías de estabilidad de las obras de infraestructura respaldadas a través de pólizas emitidas por compañías aseguradoras ha sido parte de las exigencias de la contratación pública en Colombia desde hace muchos años, incluso hoy en día la Ley permite otras formas a los contratistas para otorgar dichos respaldos.

---

Dichas garantías consecuentemente han sido parte integral de la contratación de las obras de mantenimiento, rehabilitación y construcción de pavimentos que ha adelantado el IDU en la ciudad, quien además y en su propósito de lograr los objetivos perseguidos con las mismas, en más de una ocasión ha recurrido a la academia para su manejo y gestión. Sin embargo, es evidente que esa experiencia hoy todavía no es clara para mostrar la eficacia real de la política de garantías en una mejor calidad de las obras, como al parecer tampoco el de las intervenciones de la academia en la gestión y manejo de las mismas.

A esta situación habría que agregar en el momento actual, la exigencia contenida en la Ley 1150 de 2007, modificatoria de la Ley 80 de 1993, que a partir de su vigencia establece que las pólizas de garantía o mejor que la garantía de la estabilidad de las obras públicas deberá ser de mínimo cinco (5) años.

Es oportuno recordar que actualmente los contratos de mantenimiento y rehabilitación vial, distintos de los del programa de Transmilenio manejan garantías de dos (2) años, que cubren exclusivamente eventuales deficiencias en materiales y procedimientos constructivos y que aun así son difícilmente exigibles cuando se llega el caso.

El Decreto nacional 4828 de 2008, reglamenta el régimen de garantías en la Contratación de la Administración Pública, en cuanto a la suficiencia de las garantías el Decreto dice:

“Artículo 7° (Modificado por el art. 1 del Decreto 2493 de 2009). Suficiencia de la garantía. Para evaluar la suficiencia de la garantía se aplicarán las siguientes reglas: ...7.6 Estabilidad y calidad de obra. El valor de esta garantía se determinará en cada caso de acuerdo con el objeto, el valor, la naturaleza y las obligaciones contenidas en cada contrato. Su vigencia se iniciará a partir del recibo a satisfacción de la obra por parte de la entidad y no será inferior a cinco (5) años, salvo que la entidad contratante justifique técnicamente la necesidad de una vigencia menor.” Subrayado fuera del texto.

Es precisamente aquí donde a través del presente trabajo se busca generar un primer acercamiento conceptual desde el componente técnico a la determinación de la

pertinencia de exigir garantías inferiores a las cinco (5) años, en los tramos de vías con intervenciones de tipo mantenimiento periódico basados en la estimación de la durabilidad que los mismos presentan a la hora de ser evaluados.

## **3. Capítulo III: Evaluación funcional y estructural de los de pavimentos analizados en el presente estudio**

### **3.1 Generalidades**

Los Distritos de Conservación en la ciudad de Bogotá corresponden a zonas geográficas en las cuales el IDU distribuyó la capital del país para realizar las actividades de construcción, mantenimiento y rehabilitación de la malla vial arterial, intermedia y local, con características técnicas, económicas y poblacionales similares.

El Distrito de Conservación Occidente seleccionado de acuerdo a los criterios que seguidamente serán descritos, abarca las localidades de Engativá y Fontibón, y tal como dice Ríos<sup>17</sup> presentaba las siguientes características en la vigencia 2008:

- Población (habitantes): 1'198.786 de un total de 7'609.424, correspondiendo así al 15%.
- Área (Hectáreas): 6488 de un total de 38.310, correspondiendo así al 17%.
- Malla vial (km-carril): 2,227 de un total de 14.759, correspondiendo así al 15%.
- Estado de la malla: 35% Bueno, 19% Regular y 46% Malo

Las obras de mantenimiento y rehabilitación del Distrito de Conservación Occidente fueron ejecutadas bajo el contrato IDU-074-2008. Los informes de diagnóstico y diseños elaborados en la etapa previa durante los años 2009 y 2012 (Actualización), corresponden a la fuente principal de información de los tramos seleccionados para el desarrollo del presente trabajo final.

---

<sup>17</sup> Ríos Marín, José, et al. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS SOBRE LA CIUDAD DE BOGOTÁ. [www.umng.edu.co/documents/10162/745281/V3N2\\_28.pdf](http://www.umng.edu.co/documents/10162/745281/V3N2_28.pdf) . p. 12



Las actividades de mantenimiento y rehabilitación que se ejecutan en las estructuras de pavimento flexible sufren a lo largo de su vida útil un proceso de deterioro. Dicho proceso es objeto en el presente trabajo de un análisis y evaluación que permita establecer a través de un comparativo, la efectividad de la metodología utilizada para definir la intervención que era requerida. El comparativo consiste en la determinación de los parámetros iniciales, el diagnóstico y diseño efectuado por el consultor y las obras que fueron ejecutadas en los tramos seleccionados y compararla con la valoración actual de los mismos parámetros a partir de la aplicación detallada de la metodología descrita en el Anexo Técnico en dichos tramos.

Como parte del proceso se analizó y revisó la información del Sistema de Información SCAD GIS del IDU, sobre las Intervenciones realizadas en el Distrito de Conservación Occidente, estableciendo el marco de referencia sobre los estados iniciales y las intervenciones realizadas, posteriormente se procedió a la identificación y selección de cinco (5) tramos cuya longitud mínima fue de 180 m., bajo ciertos criterios de preclasificación, de los cuales cuatro (4) de ellos corresponden a intervenciones de tipo mantenimiento periódico y uno (1) a rehabilitación. Para dicha selección fue importante tener en cuenta que la información disponible fuera representativa, y cumpliera con condiciones mínimas que permitan establecer una confiabilidad de la información recolectada, tales como las condiciones el tránsito, tipo de vía, el drenaje, tipo de intervención, entre otros. Es importante resaltar que en principio no se busca una representatividad estadística de la ciudad en la muestra tomada para el desarrollo del trabajo final, en efecto si bien el propósito del trabajo es empezar a evaluar críticamente la efectividad de las medidas de conservación vial adoptadas en esos tramos, es evidente que por numerosos factores entre ellos el tamaño de la muestra y otras variables que habrían de tenerse en cuenta para darle valor estadístico a la misma, tales como: las características de los materiales, los contratistas mismos, los diferentes suelos de subrasante a lo largo y ancho de la ciudad e incluso los diferentes microclimas que caracterizan la ciudad, no son valorados en el presente trabajo. De igual manera, el alcance propio que tiene el desarrollo de un trabajo académico como el presente, el cual limita de acuerdo a los recursos financieros, de tiempo y disponibilidad la ampliación de la muestra a ser evaluada.

En los tramos seleccionados se evaluó la condición general del pavimento para la vigencia 2015, a partir de la medición de la condición superficial con la metodología PCI (ASTM D-6433-07) y procesada en el software Unal-PCIA desarrollado por el Ingeniero Luis Ricardo Vázquez; y la condición estructural mediante el cálculo del Índice estructural  $I_e$  a través de ensayos con el Deflectómetro de Impacto (FWD) (INVIAS E-798-07), la determinación de las proyecciones del tránsito y la corroboración de los espesores de las estructuras de pavimentos a partir de las mediciones con el Georadar. Mediante las mediciones descritas y la aplicación de la metodología del Anexo Técnico, se logró la determinación del estado actual de las estructuras de pavimento evaluadas, estableciendo de igual manera la presencia o no de vida residual en ellos y el tipo de intervención requerida.

Finalmente se compararon los resultados obtenidos del diagnóstico de los tramos seleccionados con los comportamientos proyectados de acuerdo a los diseños e intervenciones efectuados bajo el contrato IDU-074-2008, estableciendo de esta manera la efectividad y pertinencia del uso de la metodología descrita en el Anexo Técnico.

### 3.1.1 Criterios de Selección

Los tramos de vías seleccionados en el presente trabajo final fueron establecidos a partir de los criterios de selección que se listan a continuación.

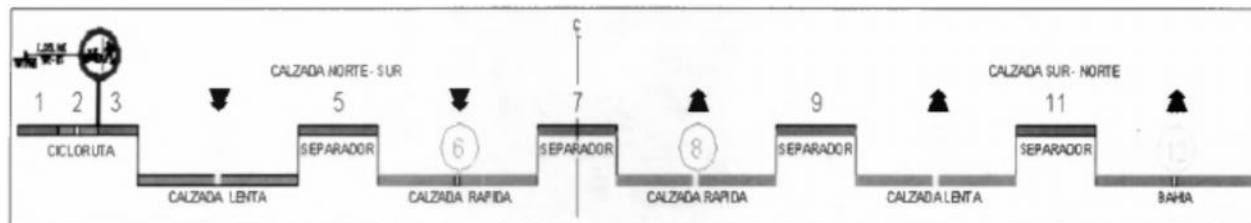
- a. Disponibilidad de la información: al inicio del presente trabajo final (vigencia 2012), se determinó que el Distrito Occidente contaba con los insumos necesarios para el desarrollo del mismo, toda vez que era indispensable contar con información veraz y efectiva de los tramos potencialmente evaluables. Este distrito contaba con las bases de datos SCAD GIS actualizada y completa de los tramos intervenidos, por lo cual la calidad de la información disponible se consideró adecuada
- b. Homogeneidad: los tramos corresponden a un mismo contrato (IDU-074-2008) y son ejecutados por el mismo contratista, de esta manera se busca cierta homogeneidad en algunas de las variables que pueden incidir en las respuestas

- como son: la obtención y tipo de materiales utilizados, los procesos constructivos, los controles de calidad efectuados, entre otros.
- c. Características y Tipo de Trafico: se seleccionaron vías arteriales, el tránsito que sobre ellas circula y la afectación que el mismo les genera, pues suelen manejar tráfico que con el pasar de los años no presentan cambios sustanciales o con muchas variaciones, situación que para el caso particular de nuestra ciudad si ocurre con las vías intermedias y locales que con la implementación del Sistema Integrado de Transporte se han visto afectadas al respecto. De igual manera en las vías arteriales la Secretaria Distrital de Movilidad realiza procesos de recolección de información del Trafico Automotor que circula sobre ellas. Revisado este criterio en los tramos intervenidos en el Distritos Occidente todos los tramos seleccionados se ubicaron en la Av. Boyacá sentido Norte – Sur
  - d. Tipo de intervención realizada: Mantenimiento Periódico y/o Rehabilitación. Se seleccionaron cuatro (4) tramos con Mantenimiento Periódico y uno (1) con Rehabilitación
  - e. Longitud de los segmentos: Segmentos viales que superen los 150 m de intervención, buscando con ello obtener información representativa, requerida en las mediciones de PCI y FWD.
  - f. Tiempo de la intervención: Se escogieron tramos con periodos de intervención entre tres (3) y cinco (5) años. Para contrastar en los de tres (3) años las proyecciones del diagnóstico y en los de cinco (5) el tema de durabilidad para las garantías.

### **3.1.2 Tramos seleccionados**

Con el fin de contextualizar la codificación empleada en el desarrollo del presente documento, se muestra en la Figura 3-1 un corte transversal sobre la Avenida Boyacá, indicando los elementos que la conforman.

Figura 3-1 Corte Transversal – Av. Boyacá



Fuente: Consorcio Vías para la Movilidad, 2008. Informe de Diagnóstico y Diseño.

Recuperado en <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/handle/123456789/108083>

Los tramos seleccionados corresponden a estructuras de pavimento flexibles que se encuentran ubicados en la Av. Boyacá sentido Norte Sur, en la calzada rápida el tramo 1 y en la calzada lenta los tramos 2 al 5.

En cuanto al año de intervención se tiene que el tramo 1 fue intervenido en el año 2012 y los tramos 2 al 5 en el año 2009.

Teniendo en cuenta los criterios descritos, a continuación se presentan los segmentos viales seleccionados:

**Tabla 3-1:** Segmentos a Intervenir

TRAMO	CIV	ELEM	NOMEN	DESDE	HASTA	L (m)	LT (m)	Trafico N	Año de Int.	TIPO DE INTERVENCIÓN REALIZADA
1	10007526	6	AK 72	AC 72	CL 72B	93	947	745.708	2012	MANTENIMIENTO
	10007477	6	AK 72	CL 72B	CL 73	70		745.708		
	10007434	6	AK 72	CL 73	DG74	70		745.708		
	10007387	6	AK 72	DG 74	CL 74	81		745.708		
	10007207	6	AK 72	CL 74	DG 76	174		745.708		
	10007085	4	AK 72	DG 76	CL 76	197		745.708		
	10006902	4	AK 72	CL 76	CL 77A	102		745.708		
	10006857	4	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	84		745.708		
	10006772	4	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	76		745.708		
2	9003935	4	AK 72	CL 18	CL 19	300	690	11.247.452	2009	MANTENIMIENTO
	9003885	4	AK 72	CL 19	CL 19A	90		11.247.452		
	9003852	4	AK 72	CL 19A	CL 21	240		11.247.452		
	9003794	4	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	60		11.247.452		

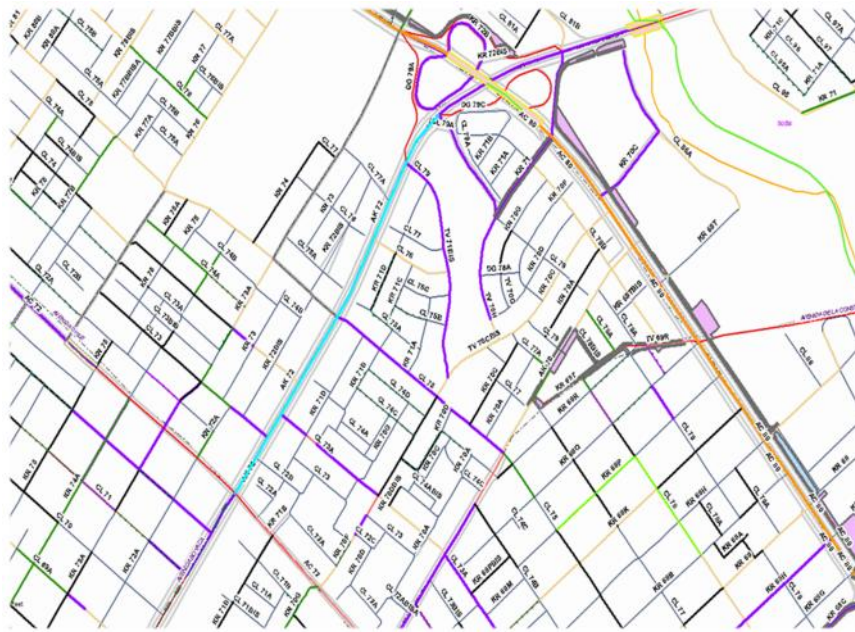
**Tabla 3-1:** Segmentos a Intervenir (Continuación)

TRAMO	CIV	ELEM	NOMEN	DESDE	HASTA	L (m)	LT (m)	Trafico N	Año de Int.	TIPO DE INTERVENCION REALIZADA
3	9003518	4	AK 72	CL 24B	CL 24C	83	110	11.247.452	2009	MANTENIMIENTO
	9003482	4	AK 72	CL 24C	SE	27		11.247.452		
4	9003395	4	AK 72	CL 25B	CL 25D	180	180	11.247.452	2009	MANTENIMIENTO
5	10007798	4	AK 72	CL 71	CL 71ª	120	694	11.954.358	2009	REHABILITACION
	10007678	4	AK 72	CL 71A	AC 72	114		11.954.358		
	10007526	4	AK 72	AC 72	CL 72B	93		11.954.358		
	10007477	4	AK 72	CL 72B	CL 73	42		11.954.358		
	10007434	4	AK 72	CL 73	DG 74	70		11.954.358		
	10007387	4	AK 72	DG 74	CL 74	81		11.954.358		
10007207	4	AK 72	CL 74	DG 76	174	11.954.358				

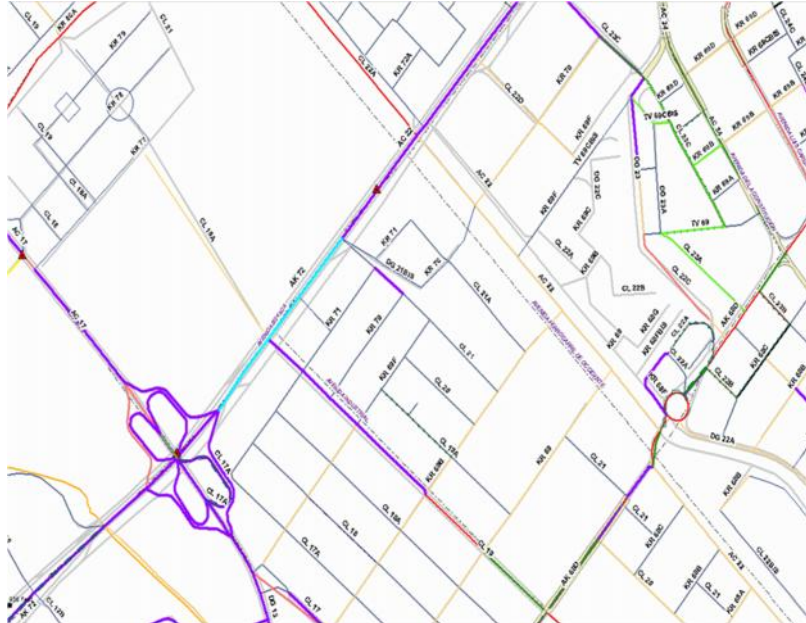
### 3.1.3 Localización

En las Figuras 3-2 a 3-6 se presenta la localización de los corredores viales seleccionados

**Figura 3-2** Tramo Av. Boyacá entre CL 72 y DG 77ª Calzada Rápida Sentido N-S



Fuente: IDU, 2015. Servidor de Mapas. Tomado de: <http://Intranet/web/intranet/servicios/servidor-de-mapas>

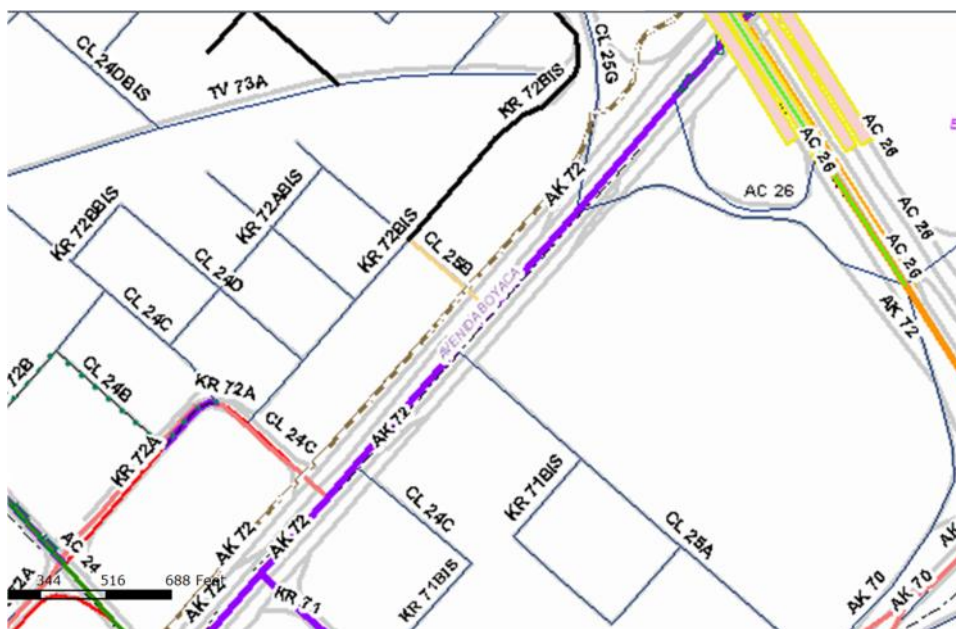
**Figura 3-3** Tramo Av. Boyacá entre CL 18 y CL 21Bis Calzada Lenta Sentido N-S

Fuente: IDU, 2015. Servidor de Mapas. Tomado de: <http://Intranet/web/intranet/servicios/servidor-de-mapas>

**Figura 3-4** Tramo Av. Boyacá entre CL 24B y el SE Calzada Lenta Sentido N-S

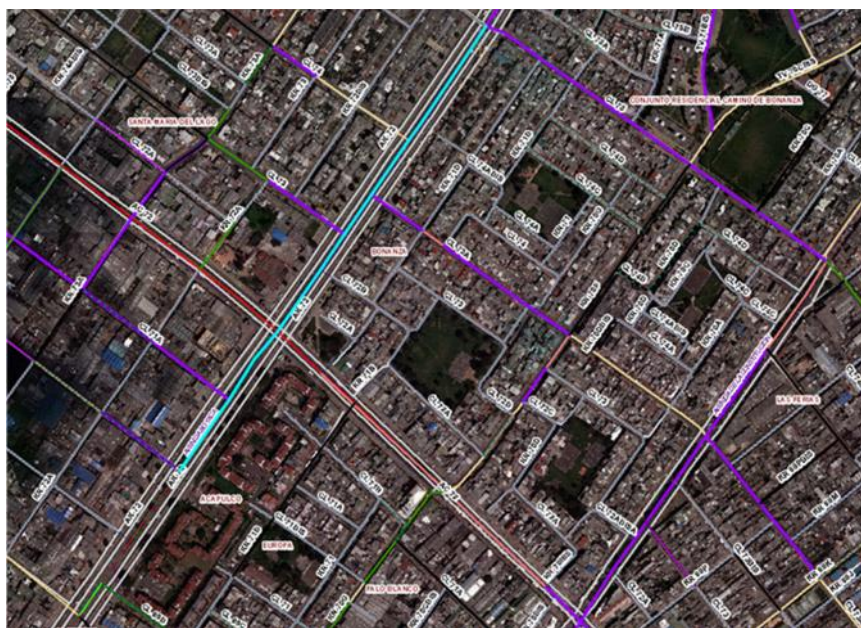
Fuente: IDU, 2015. Servidor de Mapas. Tomado de: <http://Intranet/web/intranet/servicios/servidor-de-mapas>

**Figura 3-5** Tramo Av. Boyacá entre CL 24B y el SE Calzada Lenta Sentido N-S



Fuente: IDU, 2015. Servidor de Mapas. Tomado de: <http://Intranet/web/intranet/servicios/servidor-de-mapas>

**Figura 3-6** Tramo Av. Boyacá entre CL 71 y CL 75(DG 76) Calzada Lenta Sentido N-S



Fuente: IDU, 2015. Servidor de Mapas. Tomado de: <http://Intranet/web/intranet/servicios/servidor-de-mapas>

## 3.2 Diagnósticos y diseños de los tramos seleccionados en el Contrato IDU-074-2008.

En el desarrollo del estudio técnico del contrato IDU-074-2008, se realizó un diagnóstico del corredor vial, definiendo el estado de la rodadura mediante inspección visual, toma de deflexiones, medición de espesores con georadar y la caracterización del perfil estratigráfico por medio de la ejecución de sondeos. Dichas actividades tuvieron como finalidad definir el estado superficial y estructural del pavimento, información base para determinar las propuestas de intervención a ejecutar, en búsqueda de mejorar el nivel de servicio existente en la vía.

A continuación se presenta el diagnóstico, diseño y tipo de intervención realizada en cada uno de los tramos seleccionados.

### 3.2.1 Auscultación visual vigencias 2009 y 2012

La primera etapa en el diagnóstico de las vías fue la ejecución de la auscultación del estado superficial de las vías, para lo cual se utilizó la metodología de los índices de condición del pavimento – PCI, los tipos de fallas evaluados bajo esta metodología para pavimentos flexibles corresponden a los siguientes:

**Tabla 3-2:** Tipo de Falla – PCI ( Pavimentos Flexibles)

No.	Daño	No	Daño
1	Piel de cocodrilo	11	Parqueo
2	Exudación.	12	Pulimiento de agregados
3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos
4	Abultamientos y hundimientos	14	Cruce de via ferrea
5	Corrugacion	15	Ahuellamiento
6	Depresion	16	Desplazamiento
7	Grieta de borde	17	Grieta Parabolica
8	Grieta de reflexion de junta	18	Hinchamiento
9	Desnivel carril/berma	19	Desprendimiento de agregados
10	Grietas long y transv		



Los resultados de las mediciones efectuadas en las vigencias 2009 y 2012 se muestran a continuación:

**Tabla 3-3:** PCI – Contrato IDU-074-2008

TRAMO	CIV	ORDEN	NOM	DESDE	HASTA	L DIS (m)	L EJE (m)	TIPO DE FALLA	PCI	CLASIFICACION PCI	CODIGO COLOR SEGÚN PCI
1	10007526	6	AK 72	AC 72	CL 72B	93	97	11	99	VERDE	A
	10007477	6	AK 72	CL 72B	CL 73	70	55	8,13	92	VERDE	A
	10007434	6	AK 72	CL 73	DG74	70	61	3,8,10,13	80	AMARILLO	B
	10007387	6	AK 72	DG 74	CL 74	81	61	1,8,11,13	72	AMARILLO	B
	10007207	6	AK 72	CL 74	DG 76	174	61	1,3,8,10	75	AMARILLO	B
	10007085	4	AK 72	DG 76	CL 76	197	61	2,3,8,10,13	81	AMARILLO	B
	10006902	4	AK 72	CL 76	CL 77A	102	61	8,13,19	64	AMARILLO	B
	10006857	4	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	84	96	1,3,8,10,11,19	78	AMARILLO	B
	10006772	4	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	76	96	10,11	92	VERDE	A
2	9003935	4	AK 72	CL 18	CL 19	300	155	4,7,10,11,13	79	AMARILLO	B
	9003885	4	AK 72	CL 19	CL 19A	90	80	4,7,10,11	94	VERDE	A
	9003852	4	AK 72	CL 19A	CL 21	240	110	1,4,7,10,11,13	60	AMARILLO	B
	9003794	4	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	60	90	1,10,11	69	AMARILLO	B
3	9003518	4	AK 72	CL 24B	CL 24C	83	60	1,10,11,13	79	AMARILLO	B
	9003482	4	AK 72	CL 24C	SE	27	155	10,11	56	AMARILLO	B
4	9003395	4	AK 72	CL 25B	CL 25D	180	95	1,10,11,13	62	AMARILLO	B
5	10007798	4	AK 72	CL 71	CL 71ª	120	122	1,10,11,19	29	NARANJA	C
	10007678	4	AK 72	CL 71A	AC 72	114	104	1,10,11,13,19	28	NARANJA	C
	10007526	4	AK 72	AC 72	CL 72B	93	94	1,4,10,11,13	29	NARANJA	C
	10007477	4	AK 72	CL 72B	CL 73	42	55	1,3,10,11,19	39	NARANJA	C
	10007434	4	AK 72	CL 73	DG 74	70	61	1,4,10,11	33	NARANJA	C
	10007387	4	AK 72	DG 74	CL 74	81	84	1,14,10,11,19	36	NARANJA	C
	10007207	4	AK 72	CL 74	DG 76	174	177	1,3,10,11,13	20	NARANJA	C

L DIS: Longitud del CIV en etapa de diseño o diagnostico en m.

L EJE: Longitud del CIV ejecutada o intervenida en m.

### 3.2.2 Deflexiones vigencias 2009 y 2012

La evaluación estructural de los pavimentos en el marco del contrato mencionado consistió, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento - subrasante de la estructura vial existente; para lo cual se realizaron ensayos con el deflectómetro de impacto FWD. Los resultados de dicha mediciones se presentan a continuación:

Tabla 3-4: FWD – Contrato IDU-074-2008

TRAMO	CIV	ORDEN	NOM	DESDE	HASTA	L DIS (m)	L EJE (m)	D10	D16	TH 1(m)	TH 2(m)	N	SN ef	SN req	le	COD NUM le
1	10007526	6	AK 72	AC 72	CL 72B	93	97	399.93	51.98	0.05	0.56	745,708	5.74	4.04	1,42	1
	10007477	6	AK 72	CL 72B	CL 73	70	55	294.5	47.95	0.09	0.53	745,708	5.03	4.2	1.2	1
	10007434	6	AK 72	CL 73	DG74	70	61	380.65	53.46	0.08	0.51	745,708	4.55	4.41	1.03	1
	10007387	6	AK 72	DG 74	CL 74	81	61	399.61	49.3	0.08	0.5	745,708	4.76	4.65	1.02	1
	10007207	6	AK 72	CL 74	DG 76	174	61	405.79	50.39	0.09	0.51	745,708	4.78	4.66	1.03	1
	10007085	4	AK 72	DG 76	CL 76	197	61	335.77	46.96	0.1	0.52	745,708	4,68	3.32	1.41	1
	10006902	4	AK 72	CL 76	CL 77A	102	61	249.29	34.07	0.09	0.52	745,708	4.84	3.14	1.54	1
	10006857	4	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	84	96	386.29	40.49	0.07	0.51	745,708	4.63	3.28	1.41	1
	10006772	4	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	76	96	393.31	30.14	0.04	0.55	745,708	4.47	3.58	1.25	1
2	9003935	4	AK 72	CL 18	CL 19	300	155	77.77	16.71	0.44	0.11	11,247,452	7.7	4	1.93	1
	9003885	4	AK 72	CL 19	CL 19A	90	80	73.23	18.1	0.44	0.16	11,247,452	8.7	4.1	2.12	1
	9003852	4	AK 72	CL 19A	CL 21	240	110	75.75	19.39	0.45	0.15	11,247,452	8.9	4.21	2.11	1
	9003794	4	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	60	90	171.1	24.07	0.25	0.35	11,247,452	6.3	4.53	1.39	1
3	9003518	4	AK 72	CL 24B	CL 24C	83	60	102.02	39.68	0.2	0.2	11,247,452	7.5	5.37	1.39	1
	9003482	4	AK 72	CL 24C	SE	27	155	188.6	58.66	0.22	0.48	11,247,452	6.7	6.08	1.1	1
4	9003395	4	AK 72	CL 25B	CL 25D	180	95	104.96	41.28	0.25	0.35	11,247,452	9	5.26	1.72	1
5	10007798	4	AK 72	CL 71	CL 71 <sup>a</sup>	120	122	630	47.2	0.18	0.54	11,954,358	3.44	5.73	0.6	3
	10007678	4	AK 72	CL 71A	AC 72	114	104	635.9	41.9	0.06	0.54	11,954,358	3.51	5.46	0.64	3
	10007526	4	AK 72	AC 72	CL 72B	93	94	370.1	50.3	0.15	0.45	11,954,358	4.44	5.79	0.77	2
	10007477	4	AK 72	CL 72B	CL 73	42	55	389.1	57.5	0.07	0.53	11,954,358	4.42	6.1	0.73	2
	10007434	4	AK 72	CL 73	DG 74	70	61	630.4	78.5	0.16	0.44	11,954,358	3.68	6.69	0.55	3
	10007387	4	AK 72	DG 74	CL 74	81	84	616.1	74	0.13	0.47	11,954,358	3.69	6.57	0.56	3
	10007207	4	AK 72	CL 74	DG 76	174	177	375.9	50	0.11	0.49	11,954,358	5.15	5	0.86	2

## Nomenclatura:

- CIV: Segmento vial codificado por IDU
- Orden: Elemento de la sección transversal de la vía, ver Figura 3-1
- D10: Corresponde al  $D_0$ , deflexión en el centro de aplicación de la carga
- D16: Corresponde al  $D_6$ , deflexión en el punto más alejado medido con el FWD, es decir a 1,80 m.
- TH1: Espesor de las carpetas asfálticas, en m
- TH2: Espesor de las capas granulares, en m.
- N: Numero de ejes equivalentes de 8,2 ton.

### **3.2.3 Georadar y sondeos**

En la Tabla 3-4 en las columnas TH1 y TH2 se muestran los espesores de las carpetas asfálticas y capas granulares respectivamente, estructuras de pavimentos indicadas a partir de las lecturas del georadar y corroborados con la ejecución de sondeos manuales.

### **3.2.4 Clasificación definitiva de la condición del pavimento**

Teniendo en cuenta las mediciones y evaluaciones descritas en los numerales 3.2.1 a 3.2.3, se elaboraron fichas técnicas por cada segmento-CIV (ver Figuras 3-7 a 3-11) correspondientes a cada tramo seleccionado; de igual manera en las Tablas 3-5 y 3-6 se presenta el consolidado de la clasificación definitiva de la condición del pavimento, así como también la determinación del tipo de actividad de conservación requerida, la intervención diseñada por el consultor y la efectivamente construida.

Tabla 3-5: Clasificación definitiva del pavimento Tramo 1

TRAMO	CIV	NOM	DESDE	HASTA	CLAS COND DEL PAV	ACTIV. DE CONSER.	TIPO DE INTERVENCION DISEÑADA	TIPO DE INTERVENCION CONSTRUIDA	FECHA DE INTER.	N (3 años)
1	10007526	AK 72	AC 72	CL 72B	1A	MANT. RUT.	Sello de fisuras y en caso de presentarse, parcheos puntuales para la recuperación de zonas afectadas con piel de cocodrilo	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,12	mar-12	745,708
	10007477	AK 72	CL 72B	CL 73	1A	MANT. RUT.	Sello de fisuras y en caso de presentarse, parcheos puntuales para la recuperación de zonas afectadas con piel de cocodrilo	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,12	mar-12	745,708
	10007434	AK 72	CL 73	DG74	1B	MANT. PER.	Como el deterioro es menor al 20%, se recomienda hacer un parcheo de ancho mínimo de un carril, manteniendo el espesor recomendado (restituir el material existente por 15 cm de mezcla (MD-12))	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,24	mar-12	745,708
	10007387	AK 72	DG 74	CL 74	1B	MANT. PER.	Como el deterioro es menor al 20%, se recomienda hacer un parcheo de ancho mínimo de un carril, manteniendo el espesor recomendado (restituir el material existente por 15 cm de mezcla (MD-12))	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,24	mar-12	745,708
	10007207	AK 72	CL 74	DG 76	1B	MANT. PER.	Como el deterioro es menor al 20%, se recomienda hacer un parcheo de ancho mínimo de un carril, manteniendo el espesor recomendado (restituir el material existente por 15 cm de mezcla (MD-12))	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,25	mar-12	745,708
	10007085	AK 72	DG 76	CL 76	1B	MANT. PER.	Como el deterioro es menor al 20%, se recomienda hacer un parcheo de ancho mínimo de un carril, manteniendo el espesor recomendado (restituir el material existente por 15 cm de mezcla (MD-12))	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,06	mar-12	745,708
	10006902	AK 72	CL 76	CL 77A	1B	MANT. PER.	La estrategia de intervención corresponde a un fresado de la carpeta existente (retiro total) y su remplazo por una MDC (MD-12) espesor de 15 cm., previa a la adecuación de la plataforma de trabajo. En caso de evidenciar perdidas de consistencia se debera restituir el material existente por 15 cm. de mezcla (MD-12) y la plataforma de trabajo por 30 cm de rajon y 20 cm de sello de subbase	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,24	mar-12	745,708
	10006857	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	1B	MANT. PER.	Como el deterioro es menor al 20%, se recomienda hacer un parcheo de ancho mínimo de un carril, manteniendo el espesor recomendado (restituir el material existente por 15 cm de mezcla (MD-12))	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,14	mar-12	745,708
	10006772	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	1A	MANT. RUT.	Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,24	mar-12	745,708

**Tabla 3-6:** Clasificación definitiva del pavimento Tramos 2 al 5

TRAMO	CIV	NOM	DESDE	HASTA	CLAS COND DEL PAV	ACTIV. DE CONSER.	TIPO DE INTERVENCION DISEÑADA	TIPO DE INTERVENCION CONSTRUIDA	FECHA DE INTER.	N (3 años)
2	9003935	AK 72	CL 18	CL 19	1B	MANT. PER.	Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,10	nov-09	11,247,452
	9003885	AK 72	CL 19	CL 19A	1A	MANT. RUT.	Sello de fisuras y parcheo	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,10	nov-09	11,247,452
	9003852	AK 72	CL 19A	CL 21	1B	MANT. PER.	Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,20	nov-09	11,247,452
	9003794	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	1B	MANT. PER.	Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,40	nov-09	11,247,452
3	9003518	AK 72	CL 24B	CL 24C	1B	MANT. PER.	Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda	Reemplazo de estructura con MD-12= 0,30 y MG-20= 0,20	nov-09	11,247,452
	9003482	AK 72	CL 24C	SE	1B	MANT. PER.	Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda	Reemplazo de estructura con MD-12= 0,30 y MG-20= 0,20	nov-09	11,247,452
4	9003395	AK 72	CL 25B	CL 25D	1B	MANT. PER.	Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,40	nov-09	11,247,452
5	10007798	AK 72	CL 71	CL 71 <sup>a</sup>	3C	REHAB.	ESTUDIOS Y DISEÑOS (EYD)	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,20	nov-09	11,954,358
	10007678	AK 72	CL 71A	AC 72	3C	REHAB.	ESTUDIOS Y DISEÑOS (EYD)	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,20	nov-09	11,954,358
	10007526	AK 72	AC 72	CL 72B	2C	REHAB.	ESTUDIOS Y DISEÑOS (EYD)	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,14	nov-09	11,954,358
	10007477	AK 72	CL 72B	CL 73	2C	REHAB.	ESTUDIOS Y DISEÑOS (EYD)	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,12	nov-09	11,954,358
	10007434	AK 72	CL 73	DG 74	3C	REHAB.	ESTUDIOS Y DISEÑOS (EYD)	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,12	nov-09	11,954,358
	10007387	AK 72	DG 74	CL 74	3C	REHAB.	ESTUDIOS Y DISEÑOS (EYD)	Reemplazo de carpeta con MD-12= 0,10; MD-20 = 0,10	nov-09	11,954,358
	10007207	AK 72	CL 74	DG 76	2C	REHAB.	ESTUDIOS Y DISEÑOS (EYD)	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,13	nov-09	11,954,358

Como puede evidenciarse, en algunos tramos seleccionados la intervención efectuada por el Consorcio difiere de la definida por el diagnóstico siguiendo el Anexo Técnico, casos puntuales se encuentran los referidos a segmentos donde el diagnóstico arrojaba efectuar mantenimientos rutinarios como sellos de fisuras, parcheos y bacheos puntuales, sin embargo se efectuaron reemplazos de carpetas con MD-12 del orden de 5 a 20 cm, dichas actividades se ejecutaron atendiendo el limitante que representa por proceso constructivo la ejecución de las actividades de mantenimiento rutinario especialmente cuando el área afectada que va a ser intervenida es grande y abarca gran parte de la sección transversal, así como también la garantía mínima de dos (2) años que debe darle el contratista a las mismas por materiales y procesos constructivos.

En algunos casos también se observa que se efectuó mantenimiento periódico con espesores inferiores a los definidos en el diagnóstico así como también actividades de mantenimiento periódico en vez de actividades de rehabilitación, esto puede deberse a que en el proceso propio de la construcción se haya observado que la estructura del pavimento contaba con mejores condiciones de las arrojadas por el diagnóstico, lo cual permitió una intervención de menor escala, esto puede obedecer también a las mediciones no destructivas ni invasivas que se efectúan bajo la metodología del Anexo Técnico que en ocasiones no permiten conocer con mayor detalle las estructuras de los pavimentos.

Por lo anterior, se recomienda en futuros estudios la selección de segmentos cuya intervención realizada haya sido la definida por el diagnóstico efectuado con el Anexo Técnico.

### **3.3 Diagnóstico del estado al año 2015 de los tramos del presente estudio**

Para lograr el cumplimiento del objeto principal del presente estudio, consistente en la validación de la metodología descrita en el Anexo Técnico, fue necesario la ejecución de mediciones en campo de la condición del pavimento tanto superficial como estructural en los tramos seleccionados.

Dentro de las pruebas ejecutadas se tiene: la inspección visual mediante el PCI, la determinación de los espesores de las capas de pavimento mediante el uso del georadar y la medición de la capacidad estructural del pavimento con el FWD.

En el desarrollo del presente trabajo se elaboró la ficha técnica por cada segmento (CIV) la cual contiene el diagnóstico inicial efectuado por el consultor del contrato IDU-074-2008, así como su diseño y obra ejecutada. De igual manera, el diagnóstico efectuado en la vigencia 2015 por la autora del presente trabajo. Esta ficha técnica permite observar y comparar el comportamiento de la estructura de pavimento una vez transcurrido el periodo evaluado y corresponde al elemento base para la valoración del objeto del presente estudio.

A continuación en las Figuras 3-7 a 3-11 se presentan las fichas técnicas correspondientes al primer CIV de cada tramo evaluado, las fichas restantes están contenidas en el Anexo 3-5.

Figura 3-7 Ficha Técnica CIV 10007477 – Tramo 1







Validación de la metodología aplicada en las intervenciones tipo mantenimiento periódico y de rehabilitación sobre pavimentos flexibles realizadas en el distrito occidente del IDU en Bogotá D.C.						 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
<b>DATOS GENERALES</b>							
LOCALIDAD	ENGATIVA	ELEMENTO	6	CIV	10007477		
LONGITUD	55	ANCHO	10	NOMENCLATURA	AV 72 (Av. Boyacá)		
TIPO DE SUPERFICIE	FLEXIBLE	DESDE	CL 72B	HASTA	CL 73		
<b>DIAGNOSTICO INICIAL</b>							
Fecha de Diagnostico	Mar-12			Fecha de Intervención	Mar-12		
TIPO DE FALLAS	PCI			FWD			
PCI	8, 13			D10	D16	N	
CLASIFICACION PCI	92			295	48	745, 708	
	VERDE			TH1 (m)	TH2 (m)	S <sub>Nef</sub>	S <sub>Nreq</sub>
	CODIGO COLOR PCI			0,09	0,53	5,03	4,2
	A			le		CODIGO le	
	CLASIFICACION CONDICION DEL PAVIMENTO			1,2		1	
	1A			ACTIVIDAD DE CONSERVACION			
	INTERVENCION DISEÑADA			MANTENIMIENTO RUTINARIO			
	Sello de fisuras y en caso de presentarse, parcheos puntuales para la recuperación de zonas afectadas con piel de cocodrilo			ESTRUCTURA DE PAVIMENTO			
	INTERVENCION REALIZADA			MD-12  0,12			
	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,12						
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>							
ANTES				DESPUES			
							
<b>DIAGNOSTICO MAYO 2015</b>							
TIPO DE FALLAS	PCI			FWD			
PCI	1, 10			D10	D16	N	
CLASIFICACION PCI	75			363	74	1.236.870	
	AMARILLO			TH1 (m)	TH2 (m)	S <sub>Nef</sub>	S <sub>Nreq</sub>
	CODIGO COLOR PCI			0,12	0,93	5,2	4,5
	B			le		CODIGO le	
	CLASIFICACION CONDICION DEL PAVIMENTO			1,2		1	
	1B			ACTIVIDAD DE CONSERVACION			
	INTERVENCION REALIZADA			MANTENIMIENTO PERIODICO			
	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,12						
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>							
							



Figura 3-8 Ficha Técnica CIV 9003935 – Tramo 2






Validación de la metodología aplicada en las intervenciones tipo mantenimiento periódico y de rehabilitación sobre pavimentos flexibles realizadas en el distrito occidental de Bogotá D.C.						 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
<b>DATOS GENERALES</b>							
LOCALIDAD	ENGATIVA	ELEMENTO	4	CIV	9003935		
LONGITUD	155	ANCHO	7,07	NOMENCLATURA	AV 72 (Av. Boyacá)		
TIPO DE SUPERFICIE	FLEXIBLE	DESDE	CL.18	HASTA	CL.19		
<b>DIAGNOSTICO INICIAL</b>							
Fecha de Diagnostico	May-09			Fecha de Intervención	Nov-09		
	PCI				FWD		
TIPO DE FALLAS	4, 7, 10, 11, 13			D10	D16	N	
PCI	79			78	17	11.247.452	
CLASIFICACION PCI	AMARILLO			TH1 (m)	TH2 (m)	SNeF	SNreq
				0,44	0,11	7,7	4
CODIGO COLOR PCI				Ie		CODIGO Ie	
B				1,93		1	
CLASIFICACION CONDICION DEL PAVIMENTO				ACTIVIDAD DE CONSERVACION			
1B				MANTENIMIENTO PERIODICO			
INTERVENCION DISEÑADA				ESTRUCTURA DE PAVIMENTO			
Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda				MD-12			
INTERVENCION REALIZADA				0,10			
Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,10							
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>							
ANTES				DESPUES			
							
<b>DIAGNOSTICO MAYO 2015</b>							
	PCI				FWD		
TIPO DE FALLAS	1, 3, 10, 11, 13			D10	D16	N	
PCI	72			83	23	28.431.471	
CLASIFICACION PCI	AMARILLO			TH1 (m)	TH2 (m)	SNeF	SNreq
				0,1	0,45	6,6	4,5
CODIGO COLOR PCI				Ie		CODIGO Ie	
B				1,5		1	
CLASIFICACION CONDICION DEL PAVIMENTO				ACTIVIDAD DE CONSERVACION			
1B				MANTENIMIENTO PERIODICO			
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>							
							

Figura 3-9 Ficha Técnica CIV 9003518 – Tramo 3

Validación de la metodología aplicada en las intervenciones tipo mantenimiento periódico y de rehabilitación sobre pavimentos flexibles realizadas en el distrito occidente del IDU en Bogotá D.C.						UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA					
<b>DATOS GENERALES</b>											
LOCALIDAD	ENGATIVA	ELEMENTO	4	CIV	9003518						
LONGITUD	60	ANCHO	7,01	NOMENCLATURA	AV 72 (Av. Boyacá)						
TIPO DE SUPERFICIE	FLEXIBLE	DESDE	CL 24B	HASTA	CL 24C						
<b>DIAGNOSTICO INICIAL</b>											
Fecha de Diagnostico	May-09			Fecha de Intervención	Nov-09						
TIPO DE FALLAS	PCI 1, 10, 11, 13			FWD							
PCI	79			D10	D16	N					
CLASIFICACION PCI	AMARILLO			102	40	11.247.452					
CODIGO COLOR PCI				TH1 (m)	TH2 (m)	SNeF	SNreq				
				0,2	0,2	7,5	5,37				
B				Ie		CODIGO Ie					
				1,39		1					
CLASIFICACION CONDICION DEL PAVIMENTO				ACTIVIDAD DE CONSERVACION							
1B				MANTENIMIENTO PERIODICO							
INTERVENCION DISEÑADA				ESTRUCTURA DE PAVIMENTO							
Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda				<table border="1"> <tr> <td>MD-12</td> <td>0,30</td> </tr> <tr> <td>MG-20</td> <td>0,20</td> </tr> </table>				MD-12	0,30	MG-20	0,20
MD-12	0,30										
MG-20	0,20										
INTERVENCION REALIZADA											
Reemplazo de estructura con MD-12=0,30 y MG-20=0,20											
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>											
ANTES				DESPUES							
											
<b>DIAGNOSTICO MAYO 2015</b>											
TIPO DE FALLAS	PCI 3, 10			FWD							
PCI	70			D10	D16	N					
CLASIFICACION PCI	AMARILLO			181	62	28.431.471					
CODIGO COLOR PCI				TH1 (m)	TH2 (m)	SNeF	SNreq				
				0,5	0	6,1	6,6				
B				Ie		CODIGO Ie					
				0,9		2					
CLASIFICACION CONDICION DEL PAVIMENTO				ACTIVIDAD DE CONSERVACION							
2B				REHABILITACION							
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>											
											

Figura 3-10 Ficha Técnica CIV 9003395 – Tramo 4




Validación de la metodología aplicada en las intervenciones tipo mantenimiento periódico y de rehabilitación sobre pavimentos flexibles realizadas en el distrito occidente del IDU en Bogotá D.C.						 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
<b>DATOS GENERALES</b>							
LOCALIDAD	ENGATIVA	ELEMENTO	4	CIV	9003395		
LONGITUD	95	ANCHO	7,14	NOMENCLATURA	AV 72 (Av. Boyacá)		
TIPO DE SUPERFICIE	FLEXIBLE	DESDE	CL 25B	HASTA	CL25D		
<b>DIAGNOSTICO INICIAL</b>							
Fecha de Diagnostico				Fecha de Intervención			
May-09				Nov-09			
PCI				FWD			
TIPO DE FALLAS	1, 10, 11, 13			D10	D16	N	
PCI	62			105	41	11.247.452	
CLASIFICACION PCI	AMARILLO			TH1 (m)	TH2 (m)	SNeF	SNreq
				0,25	0,35	9	5,26
CODIGO COLOR PCI				le		CODIGO le	
B				1,72		1	
CLASIFICACION CONDICION DEL PAVIMENTO				ACTIVIDAD DE CONSERVACION			
1B				MANTENIMIENTO PERIODICO			
INTERVENCION DISEÑADA				ESTRUCTURA DE PAVIMENTO			
Sello de fisuras, parcheo y bacheo según corresponda				MD-12  0,40			
INTERVENCION REALIZADA							
Reemplazo de estructura con MD-12= 0,40							
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>							
ANTES				DESPUES			
							
<b>DIAGNOSTICO MAYO 2015</b>							
PCI				FWD			
TIPO DE FALLAS	1, 3, 10, 11			D10	D16	N	
PCI	66			157	52	28.431.471	
CLASIFICACION PCI	AMARILLO			TH1 (m)	TH2 (m)	SNeF	SNreq
				0,4	1,1	6,6	6,3
CODIGO COLOR PCI				le		CODIGO le	
B				1,1		1	
CLASIFICACION CONDICION DEL PAVIMENTO				ACTIVIDAD DE CONSERVACION			
1B				MANTENIMIENTO PERIODICO			
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>							
							

Figura 3-11 Ficha Técnica CIV 10007798 – Tramo 5

Validación de la metodología aplicada en las intervenciones tipo mantenimiento periódico y de rehabilitación sobre pavimentos flexibles realizadas en el distrito occidente del IDU en Bogotá D.C.					 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		
<b>DATOS GENERALES</b>							
LOCALIDAD	ENGATIVA	ELEMENTO	4	CIV	10007798		
LONGITUD	122	ANCHO	7.28	NOMENCLATURA	AV 72 (Av. Boyacá)		
TIPO DE SUPERFICIE	FLEXIBLE	DESDE	CL 71	HASTA	CL 71A		
<b>DIAGNOSTICO INICIAL</b>							
Fecha de Diagnostico	may-09			Fecha de Intervención	nov-09		
TIPO DE FALLAS	PCI			FWD			
PCI	1, 10, 11, 19			D10	D16	N	
CLASIFICACION PCI	29			630	47	11,954,358	
	NARANJA			TH1 (m)	TH2 (m)	SNef	SNreq
	CODIGO COLOR PCI			0.18	0.54	3.44	5.73
	C			le	CODIGO le		
	3C			6	3		
	INTERVENCION DISEÑADA			ACTIVIDAD DE CONSERVACION			
	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,20			REHABILITACION			
	INTERVENCION REALIZADA			ESTRUCTURA DE PAVIMENTO			
	Reemplazo de Carpeta con MD-12= 0,20			MD-12			0,20
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>							
<b>ANTES</b>				<b>DESPUES</b>			
							
<b>DIAGNOSTICO MAYO 2015</b>							
TIPO DE FALLAS	PCI			FWD			
PCI	1, 3, 10, 12			D10	D16	N	
CLASIFICACION PCI	83			222	62	30,525,495	
	AMARILLO			TH1 (m)	TH2 (m)	SNef	SNreq
	CODIGO COLOR PCI			0.2	0.9	6.5	6.5
	B			le	CODIGO le		
	1B			1	1		
	ACTIVIDAD DE CONSERVACION			MANTENIMIENTO PERIODICO			
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>							
							

A continuación se listan cada una de las variables que se evaluaron tomadas en campo, secuencialmente, hasta definir la clasificación de cada segmento, según lo estipulado en el Anexo Técnico para Distritos de Conservación - Versión 2.

### 3.3.1 Auscultación visual - 2015

La inspección visual se realizó por medio de una cuadrilla conformada por dos (2) Ingenieros Especialistas en Pavimentos y dos (2) ayudantes. Los datos arrojados en esta actividad sirvieron de insumo para el método del índice de Condición de Pavimento (PCI) en el cual se basa la metodología del Anexo Técnico. Las memorias de campo del inventario de fallas y las memorias de cálculo se encuentran contenidas en el Anexo 3-1.

#### Fotografía 3-1: Inspección Visual



La información recolectada fue procesada en el software Unal-PCIA desarrollado por el Ingeniero Luis Ricardo Vázquez, con él se determinó el índice de estado (PCI) de cada segmento estableciendo su estado superficial. En la Figura 3-12 se muestra un esquema típico de la inspección realizada con las fallas encontradas; de igual manera en la Tabla 3-6 se indican los resultados obtenidos para cada segmento.

Figura 3-12 Esquema Inventario de Fallas CIV 9003935

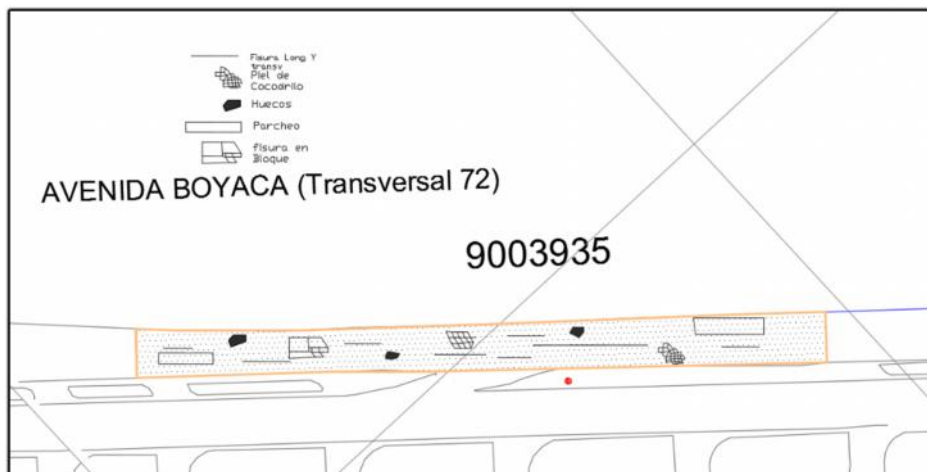


Tabla 3-7: PCI actual

TRAMO	CIV	ORDEN	NOM	DESDE	HASTA	L DIS (m)	L EJE (m)	TIPO DE FALLA	PCI	CLASIFICACION PCI	CODIGO COLOR SEGÚN PCI
1	10007526	6	AK 72	AC 72	CL 72B	93	97	1,10,11	74	AMARILLO	B
	10007477	6	AK 72	CL 72B	CL 73	70	55	1,10	75	AMARILLO	B
	10007434	6	AK 72	CL 73	DG74	70	61	10,11	95	VERDE	A
	10007387	6	AK 72	DG 74	CL 74	81	61	1	91	VERDE	A
	10007207	6	AK 72	CL 74	DG 76	174	61	10,11	89	VERDE	A
	10007085	4	AK 72	DG 76	CL 76	197	61	1,8,10,11,19	91	VERDE	A
	10006902	4	AK 72	CL 76	CL 77A	102	61	10,11,19	90	VERDE	A
	10006857	4	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	84	96	1,10,11,13	90	VERDE	A
10006772	4	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	76	96	1,10,11	96	VERDE	A	
2	9003935	4	AK 72	CL 18	CL 19	300	155	1,3,10,11,13	72	AMARILLO	B
	9003885	4	AK 72	CL 19	CL 19A	90	80	1,8	77	AMARILLO	B
	9003852	4	AK 72	CL 19A	CL 21	240	110	1,3,10,11,14,19	71	AMARILLO	B
	9003794	4	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	60	90	1,10	79	AMARILLO	B
3	9003518	4	AK 72	CL 24B	CL 24C	83	60	3,10	70	AMARILLO	B
	9003482	4	AK 72	CL 24C	SE	27	155	1,10,11	53	NARANJA	C
4	9003395	4	AK 72	CL 25B	CL 25D	180	95	1,3,10,11	66	AMARILLO	B
5	10007798	4	AK 72	CL 71	CL 71 <sup>a</sup>	120	122	1,3,10,12	83	AMARILLO	B
	10007678	4	AK 72	CL 71A	AC 72	114	104	1,3,10,11,12	74	AMARILLO	B
	10007526	4	AK 72	AC 72	CL 72B	93	94	10,11,12	70	AMARILLO	B
	10007477	4	AK 72	CL 72B	CL 73	42	55	3,11,12	61	AMARILLO	B
	10007434	4	AK 72	CL 73	DG 74	70	61	3,11,19	69	AMARILLO	B
	10007387	4	AK 72	DG 74	CL 74	81	84	3,10,11	83	AMARILLO	B
	10007207	4	AK 72	CL 74	DG 76	174	177	3,10,11	72	AMARILLO	B

### 3.3.2 Variable Transito - 2015

Para la definición de las estrategias de intervención y la aplicación de la metodología de diseño AASHTO/93, fue necesario contar con el número de ejes equivalentes de 80kN que se estima circularán sobre el tramo en estudio durante el período de análisis, es por esta razón que el Tránsito Promedio Diario (TPD), fue calculado a partir de las tasas de crecimiento proyectadas y definidas por el consultor del contrato IDU-074-2008 en el estudio de tránsito para los diagnósticos ejecutados en el año 2009 como sigue:

**Tabla 3-8:** Tasas de Crecimiento Proyectadas<sup>18</sup>

TRAMO	AÑO	TASA DE CRECIMIENTO	N
1	2015	3.58	1,236,870
2	2015	3.40	28,431,471
3	2015	3.40	28,431,471
4	2015	3.40	28,431,471
5	2015	3.58	30,525,495

En el Anexo 3-2, se encuentran las memorias de cálculo de las proyecciones de tránsito para cada tramo objeto de estudio, calculadas para el año 2015.

El período de análisis para el diagnóstico de las estructuras de pavimento es de 3 años para la intervención realizada en 2012 (tramo 1) y de 5 años para las intervenciones de 2009 (tramos 2 al 5).

### 3.3.3 Deflexiones - 2015

Las mediciones de deflexiones se ejecutaron con el deflectómetro de impacto FWD KUAB 50 modelo 2002 de la firma Itineris Ltda. El FWD aplica una carga dinámica en el pavimento (simulando el paso de la rueda de un vehículo pesado) causada por la caída de dos masas sobre un plato circular (diámetro 0.30m). Las deflexiones producidas son medidas por medio de un grupo de sismómetros espaciados entre sí permitiendo la obtención de la curva completa de la cuenca de deflexiones.

---

<sup>18</sup> Consorcio Metrovías Malla Vial, Informes de Diagnostico Grupo 6 vigencia 2009, <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/handle/123456789/108081>

**Fotografía 3-2:** Equipo FWD KUAB 50

El equipo utilizado cuenta con los certificados de calibración y se encuentra patronado conforme a las exigencias del IDU, la toma de deflexiones se hizo conforme a las indicaciones Anexo Técnico, teniendo en cuenta la longitud de los segmentos evaluados como se indicó en la Tabla 2-2.

### 3.3.3.1 Evaluación Deflectométrica

La información tomada mediante el Deflectómetro de Impacto - KUAB 50 - arroja como datos crudos la localización del tramo analizado, la fecha de toma de deflexiones, el radio del plato de carga, las cargas de impacto, el número y localización de los sensores de medición, las respectivas lecturas, la temperatura del aire y del pavimento y la hora de ejecución del ensayo. Estos resultados son presentados en el Anexo 3-3 del presente documento, registrándose los valores de deflexión a una distancia de 0 cm, 30 cm, 60 cm, 90 cm 120 cm, 150 cm y 180 cm y para cada una de las mediciones realizadas (se efectuaron dos por cada punto de análisis).

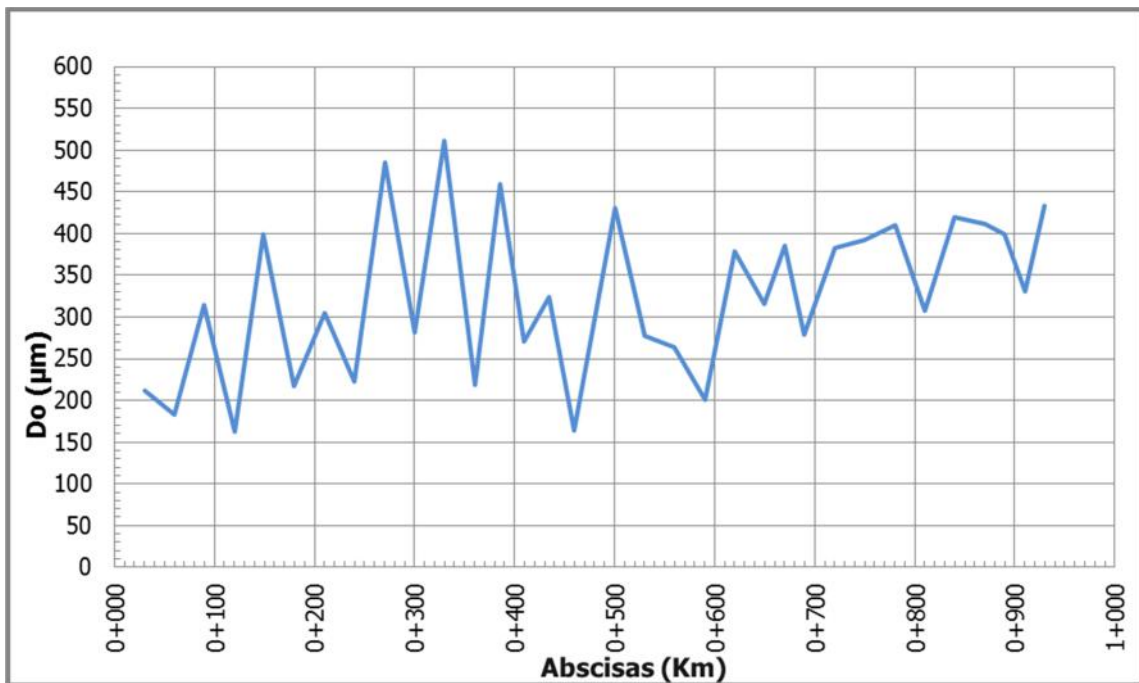
El procesamiento de esta información consistió inicialmente en realizar una corrección por carga de cada una de las lecturas (ya que la carga aplicada no es constante), buscando convertir cada lectura a un valor estándar de carga de 40KN, aplicando una regla de tres simple. Posteriormente y aplicando la metodología AASHTO/93, se corrige la deflexión máxima medida ( $D_0$ ) en función de la temperatura de la carpeta asfáltica y su



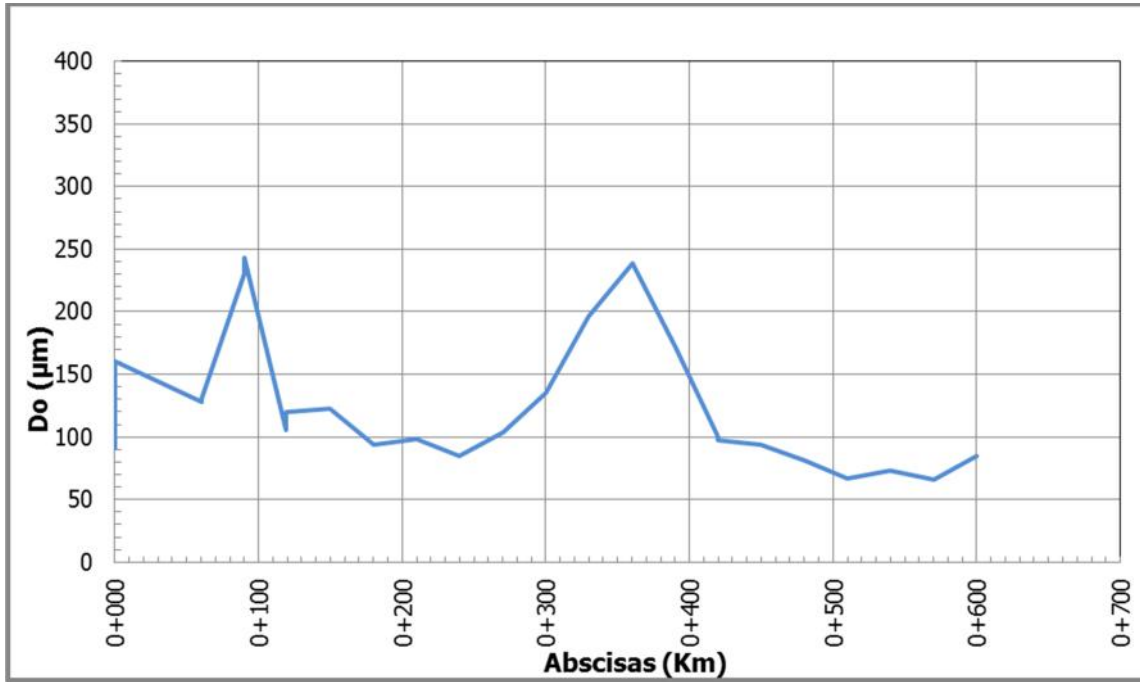
espesor, acudiendo a los ábacos proporcionados por la metodología ya se trate de una mezcla asfáltica sobre una capa estabilizada o sobre una capa granular; este valor de corrección varía de 0.4 a 1.4.

Las mediciones de las deflexiones corregidas por carga o por temperatura según aplique, se presentan en la Tabla 3-9. En las Figuras 3-7 a 3-11 se muestra la variación de la deflexión máxima promedio ( $D_o$ ) por cada punto medido en el tramo correspondiente registrando así su comportamiento.

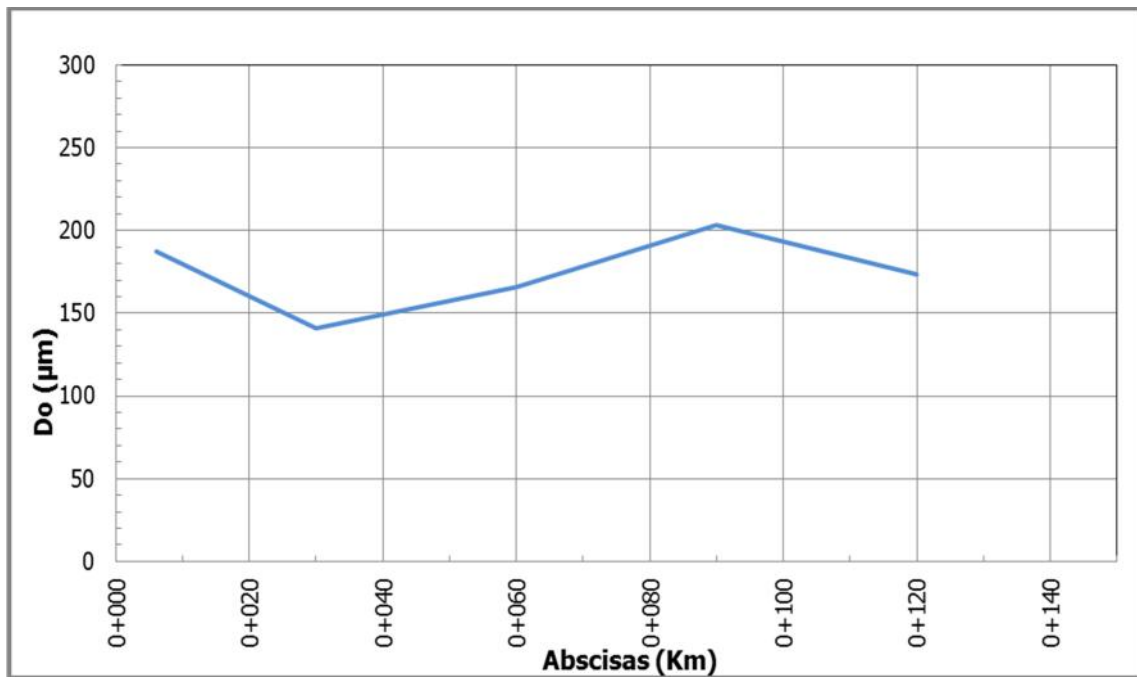
**Figura 3-13**  $D_o$  ( $\mu\text{m}$ ) Tramo 1



Carpetas Asfálticas: 12 – 24 cm

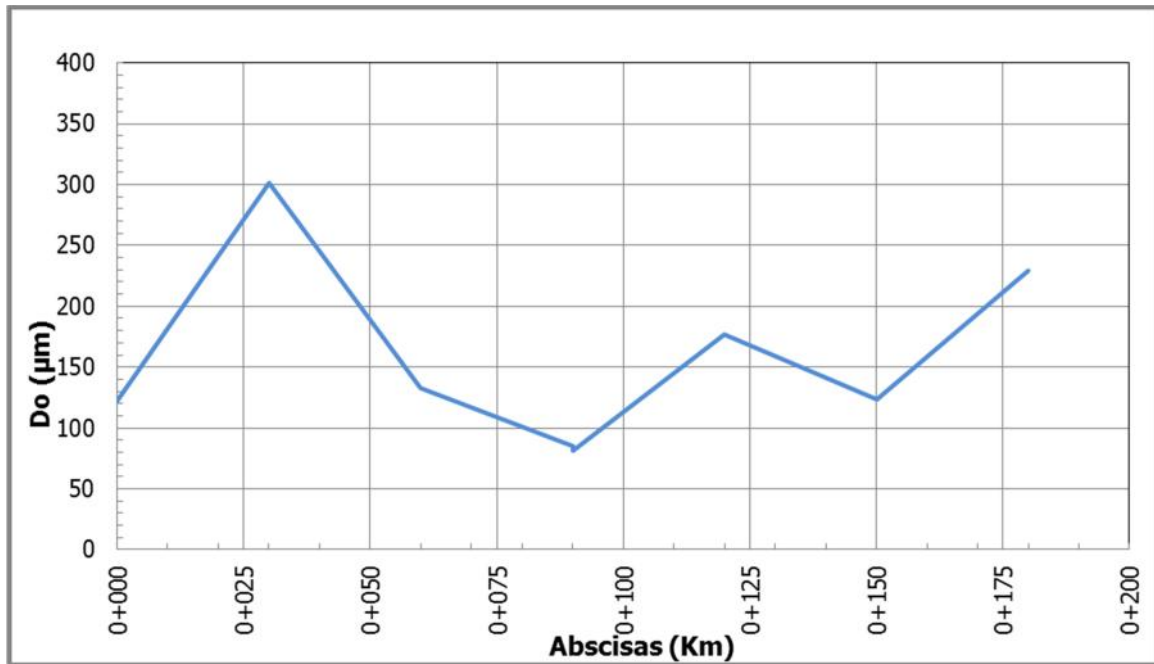
Figura 3-14 Do ( $\mu\text{m}$ ) Tramo 2

Carpeta Asfáltica: 10 – 40 cm

Figura 3-15 Do ( $\mu\text{m}$ ) Tramo 3

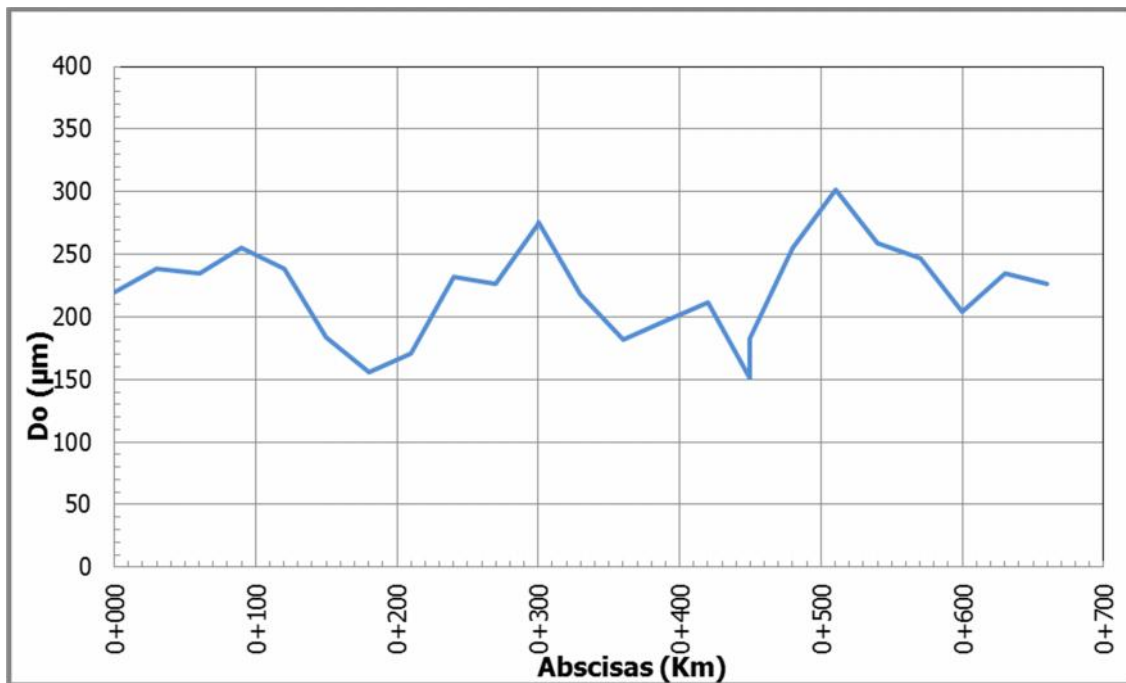
Carpeta Asfáltica: 50 cm

**Figura 3-16** Do ( $\mu\text{m}$ ) Tramo 4



Carpeta Asfáltica: 40 cm

**Figura 3-17** Do ( $\mu\text{m}$ ) Tramo 5



Carpeta Asfáltica: 10 - 20 cm

### 3.3.3.2 Procesamiento de los resultados de Deflectometría

En el Anexo 3-3 se indica el procedimiento efectuado para analizar la toma de deflexiones mediante el Deflectómetro de Impacto, teniendo en cuenta las variables consideradas por las particularidades que presentan los tramos en estudio. En él se muestra el cálculo del Módulo Resiliente de la subrasante ( $M_R$ ), el Numero Estructural Efectivo ( $SN_{eff.}$ ), el Numero Estructural Requerido ( $SN_{req.}$ ) y el Índice Estructural ( $I_e$ ), los cuales se resumen y presentan en la Tabla 3-8 que se presenta a continuación:

**Tabla 3-9:** Evaluación Estructural – FWD actual

TRAMO	CIV	ORDEN	NOM	DESDE	HASTA	L DIS (m)	L EJE (m)	D10	D16	TH 1 (cm)	TH 2 (cm)	N	SN <sub>ef</sub>	SN <sub>req</sub>	I <sub>e</sub>	COD NUM I <sub>e</sub>
1	10007526	6	AK 72	AC 72	CL 72B	93	97	393	79	12	57	1,236,870	5.1	4.5	1,1	1
	10007477	6	AK 72	CL 72B	CL 73	70	55	363	74	12	93	1,236,870	5.2	4.5	1,2	1
	10007434	6	AK 72	CL 73	DG 74	70	61	395	93	24	56	1,236,870	5.3	4.7	1,1	1
	10007387	6	AK 72	DG 74	CL 74	81	61	327	82	24	106	1,236,870	5.7	4.5	1,3	1
	10007207	6	AK 72	CL 74	DG 76	174	61	310	79	25	115	1,236,870	5.4	4.2	1,3	1
	10007085	4	AK 72	DG 76	CL 76	197	61	339	65	6	129	1,236,870	4.5	4	1,1	1
	10006902	4	AK 72	CL 76	CL 77A	102	61	248	44	24	51	1,236,870	5.8	3.7	1,6	1
	10006857	4	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	84	96	292	53	14	73	1,236,870	5.2	3.8	1,3	1
	10006772	4	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	76	96	198	45	24	96	1,236,870	6.5	3.7	1,8	1
2	9003935	4	AK 72	CL 18	CL 19	300	155	83	23	10	45	28,431,471	6,6	4,5	1,5	1
	9003885	4	AK 72	CL 19	CL 19A	90	80	186	27	10	140	28,431,471	5,9	4,9	1,3	1
	9003852	4	AK 72	CL 19A	CL 21	240	110	134	26	20	90	28,431,471	6,1	4,5	1,2	1
	9003794	4	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	60	90	127	24	40	75	28,431,471	6,9	4,7	1,5	1
3	9003518	4	AK 72	CL 24B	CL 24C	83	60	181	62	50	0	28,431,471	6,1	6,6	0,9	2
	9003482	4	AK 72	CL 24C	SE	27	155	164	65	50	20	28,431,471	8	6,6	1,2	1
4	9003395	4	AK 72	CL 25B	CL 25D	180	95	157	52	40	110	28,431,471	6,6	6,3	1,1	1
5	10007798	4	AK 72	CL 71	CL 71 <sup>a</sup>	120	122	222	62	20	90	30,525,495	6,5	6,5	1	1
	10007678	4	AK 72	CL 71A	AC 72	114	104	266	83	20	90	30,525,495	6,4	7,3	0,9	2
	10007526	4	AK 72	AC 72	CL 72B	93	94	186	74	14	116	30,525,495	7,5	6,8	1,1	1
	10007477	4	AK 72	CL 72B	CL 73	42	55	200	67	12	78	30,525,495	7,3	6,5	1	1
	10007434	4	AK 72	CL 73	DG 74	70	61	259	91	12	98	30,525,495	6,6	7,5	0,9	2
	10007387	4	AK 72	DG 74	CL 74	81	84	186	75	10	82	30,525,495	7,5	7,0	1,1	1
10007207	4	AK 72	CL 74	DG 76	174	177	228	77	13	97	30,525,495	6,7	6,9	1,0	1	

Mediante el uso de la herramienta computacional EqAASTHO93 desarrollado por el Ing. Luis Ricardo Vásquez en el año 2004, fueron calculados los  $SN_{req.}$ , en cada segmento para la vigencia 2015, al igual que el número de ejes equivalentes (N residual) de vida residual que estarían aun en capacidad de soportar la estructura con el SN actual, estos

se calculan a partir del  $SN_{eff.}$ , y los Módulos Resilientes de cada CIV. En la Tabla 3-10 se muestran los resultados obtenidos, se resaltan en rojo, los segmentos que no presentan vida residual, toda vez que comparadas las solicitudes de tránsito requeridas vs las existentes, estas últimas son inferiores.

**Tabla 3-10:** Vida residual en cada segmento

TRAMO	CIV	ORDEN	NOM	DESDE	HASTA	N (actual)	SN ef	SN req	MR(psi)	N (residual)	Años (residual)
1	10007526	6	AK 72	AC 72	CL 72B	1,236,870	5.1	4.5	3266	2,280,000	2
	10007477	6	AK 72	CL 72B	CL 73	1,236,870	5.2	4.5	3476	3,020,000	2
	10007434	6	AK 72	CL 73	DG74	1,236,870	5.3	4.7	2808	2,110,000	2
	10007387	6	AK 72	DG 74	CL 74	1,236,870	5.7	4.5	3196	4,850,000	2
	10007207	6	AK 72	CL 74	DG 76	1,236,870	5.4	4.2	3377	2,140,000	2
	10007085	4	AK 72	DG 76	CL 76	1,236,870	4.5	4	4217	1,750,000	2
	10006902	4	AK 72	CL 76	CL 77A	1,236,870	5.8	3.7	5855	22,500,000	2
	10006857	4	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	1,236,870	5.2	3.8	4962	6,910,000	2
	10006772	4	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	1,236,870	6.5	3.7	5838	53,200,000	2
2	9003935	4	AK 72	CL 18	CL 19	28,431,471	6,6	4,5	10972	259,000,000	10
	9003885	4	AK 72	CL 19	CL 19A	28,431,471	5,9	4,9	9717	94,000,000	10
	9003852	4	AK 72	CL 19A	CL 21	28,431,471	6,1	4,5	11140	129,000,000	10
	9003794	4	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	28,431,471	6,9	4,7	9775	103,000,000	10
3	9003518	4	AK 72	CL 24B	CL 24C	28,431,471	6,1	6,6	4083	14,300,000	0
	9003482	4	AK 72	CL 24C	SE	28,431,471	8	6,6	3957	113,000,000	10
4	9003395	4	AK 72	CL 25B	CL 25D	28,431,471	6,6	6,3	4973	41,300,000	3
5	10007798	4	AK 72	CL 71	CL 71 <sup>a</sup>	30,525,495	6,5	6,5	4177	33,700,000	1
	10007678	4	AK 72	CL 71A	AC 72	30,525,495	6,4	7,3	3046	10,400,000	0
	10007526	4	AK 72	AC 72	CL 72B	30,525,495	7,5	6,8	3501	50,400,000	4
	10007477	4	AK 72	CL 72B	CL 73	30,525,495	7,3	6,5	4024	56,100,000	5
	10007434	4	AK 72	CL 73	DG 74	30,525,495	6,6	7,5	2805	10,900,000	0
	10007387	4	AK 72	DG 74	CL 74	30,525,495	7,5	7,0	3378	46,400,000	3
	10007207	4	AK 72	CL 74	DG 76	30,525,495	6,7	6,9	3346	18,500,000	0

Los segmentos viales 9003518, 10007678, 10007434 y 10007207 sombreados en rojo, de acuerdo a los cálculos efectuados no cuentan con vida residual para soportar las solicitudes de tránsito en la vigencia 2015 de acuerdo a las proyecciones realizadas, sin embargo, revisando los daños encontrados en la valoración del PCI efectuada sobre ellos (agrietamiento en bloque, grietas longitudinales y transversales, parcheo, pulimiento de agregados) arrojan condición BUENA, seguramente aunado a la densidad de los mismos sobre el área del segmento, dichos daños pueden ser manifestaciones de fatiga de las capas estructurales del pavimento.

Los espesores utilizados para la evaluación Deflectométrica fueron extraídos del Informe Final Técnico de Interventoría para la Vigencia 2012, elaborado por el Consorcio Vías para la Movilidad bajo el contrato IDU-095-2008 y corroborado con las mediciones del Georadar que se presentan en el siguiente numeral.

### 3.3.4 Georadar

Tal como lo definen el Anexo Técnico, la toma de información con Georadar permite establecer los tramos homogéneos, definiendo si hay cambios en los espesores de las capas de la estructura de pavimento a lo largo de todo un segmento, indicando que un sector es homogéneo si la diferencia entre medidas es menor a cinco (5) cm y si esta situación es continúa por lo menos en la mitad de segmento.

Las mediciones con georadar fueron efectuadas por la empresa Itineris Ltda., su equipo modelo 2009, está calibrado de acuerdo a la norma ASTM 04748-06 y está integrado por una antena de 800 Mhz de frecuencia y, con la cual se obtuvo un alto grado de precisión y resolución en las mediciones de hasta 3.5m de profundidad. Los resultados de medición de los espesores obtenidos para cada uno de los tramos seleccionados son presentados en el Anexo 3-5, y los perfiles son mostrados a continuación.

Figura 3-18 Espesores Tramo 1

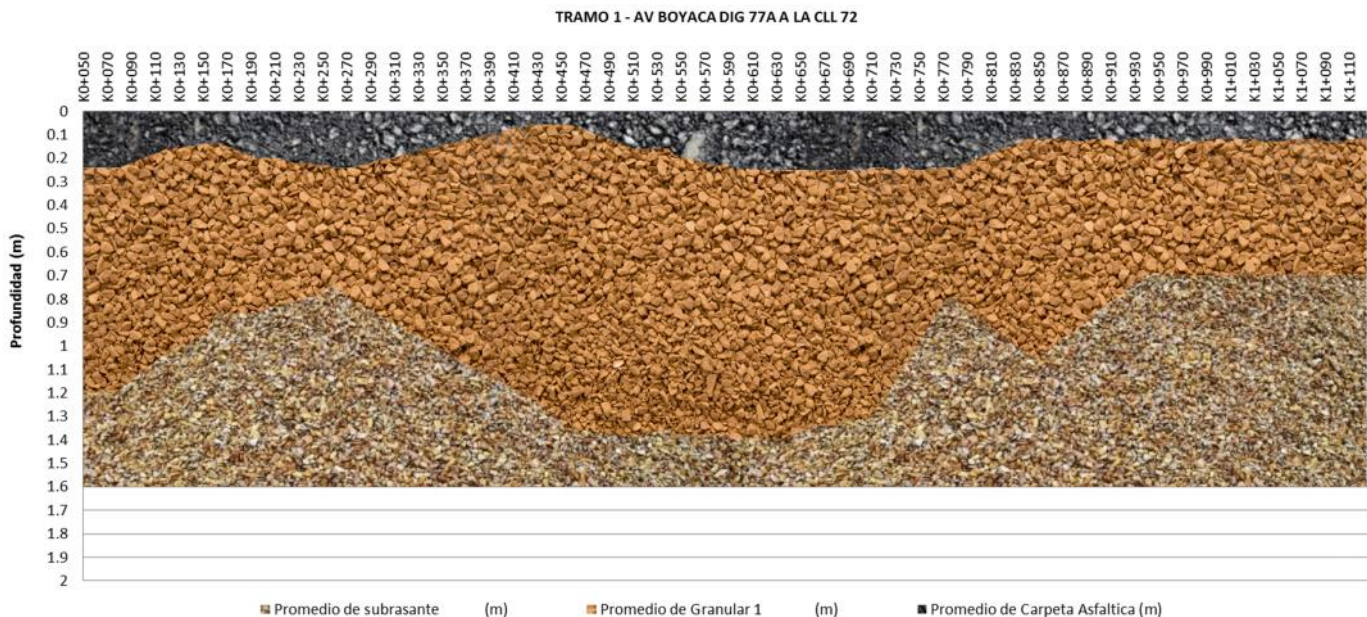


Figura 3-19 Espesores Tramo 2

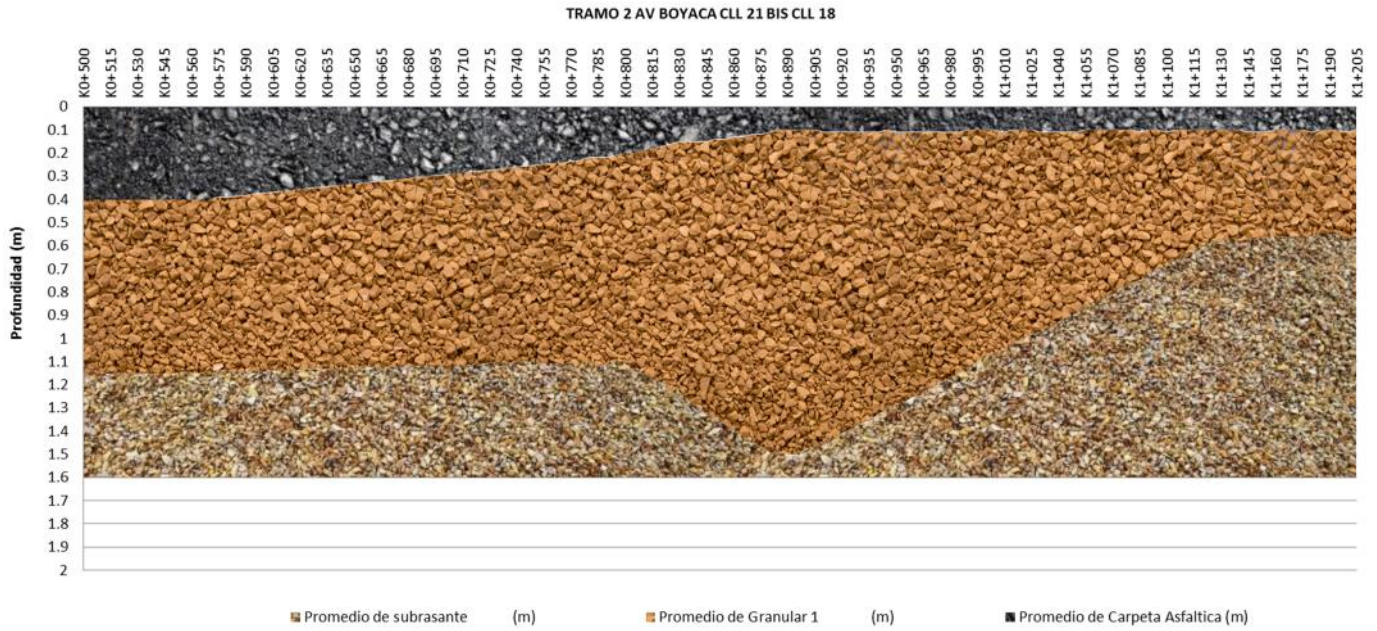


Figura 3-20 Espesores Tramo 3

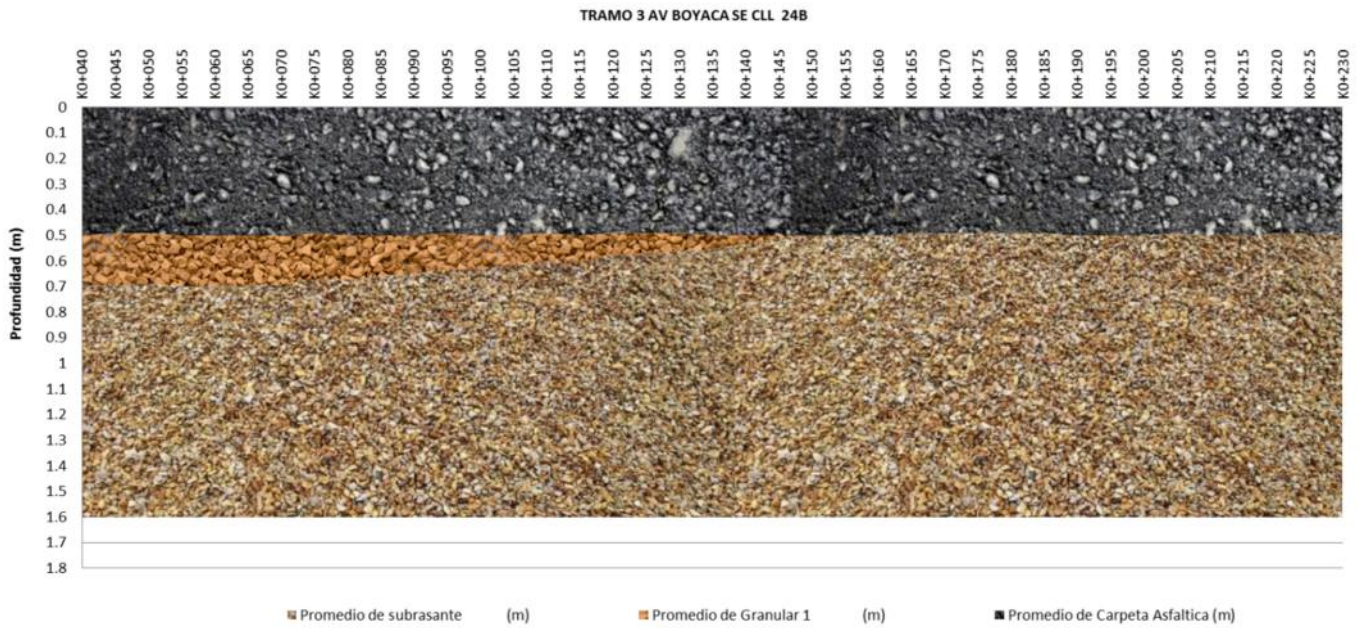


Figura 3-21 Espesores Tramo 4

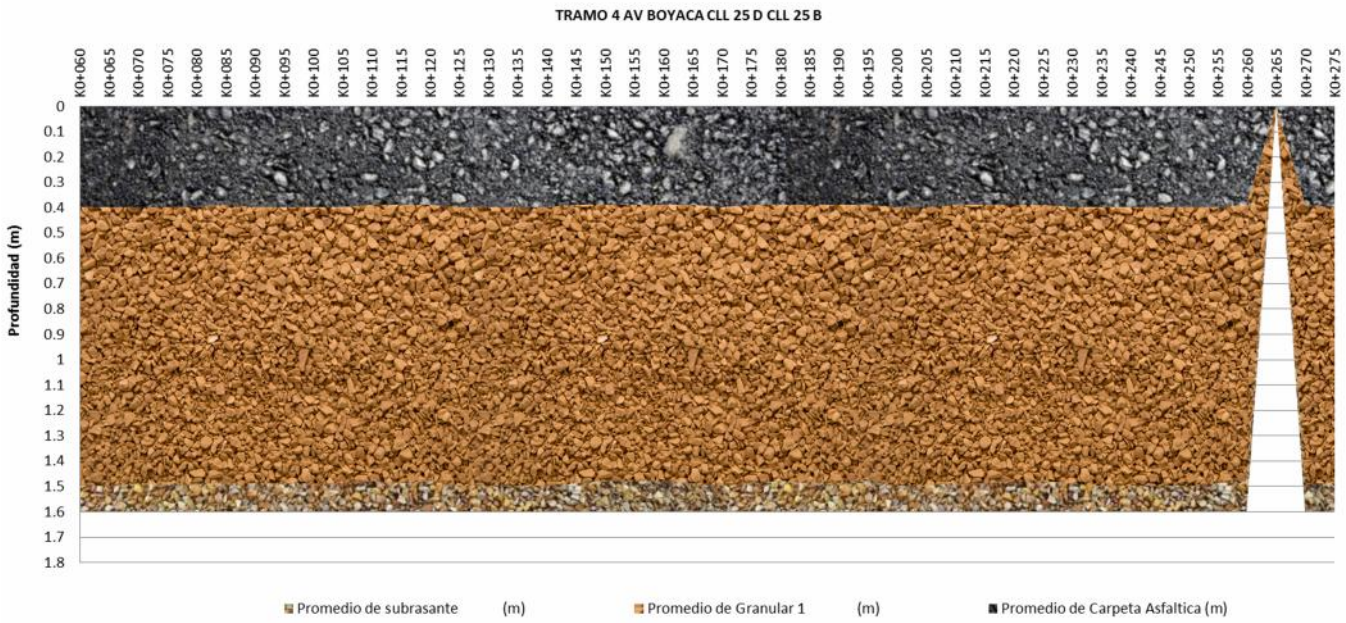
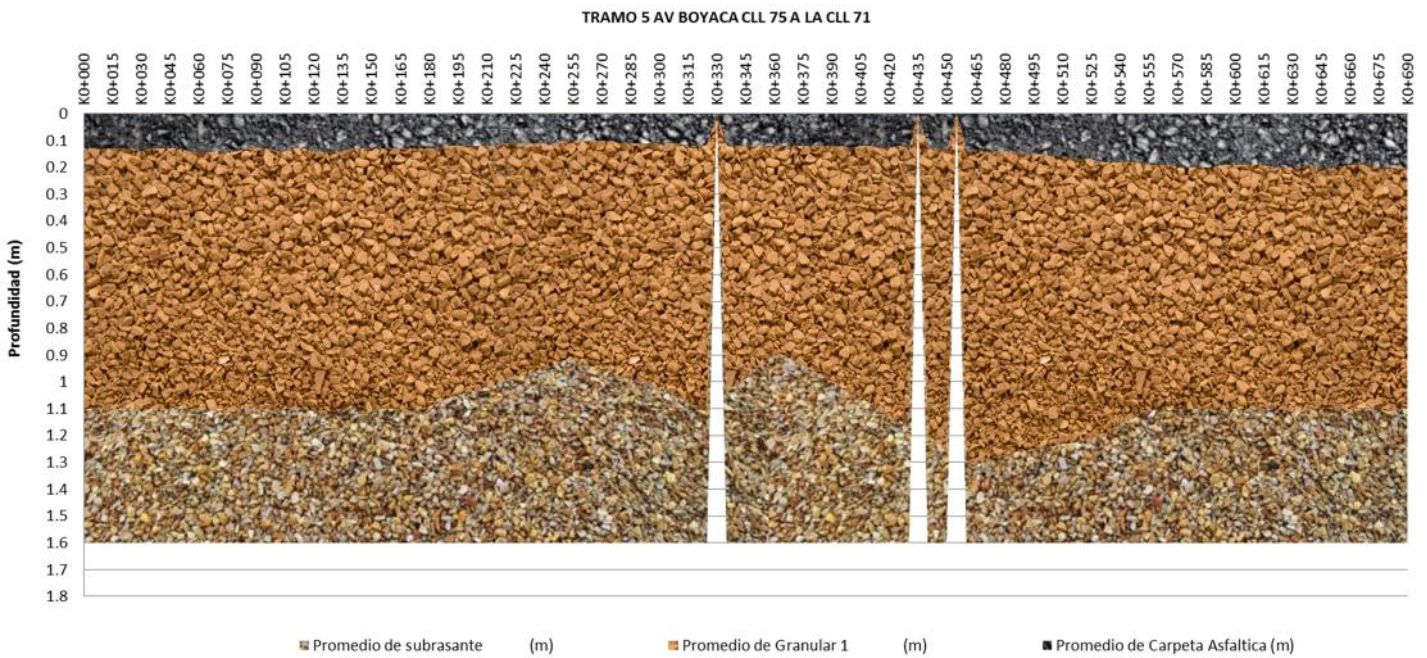


Figura 3-22 Espesores Tramo 5





### 3.3.5 Clasificación definitiva de la condición del pavimento

Teniendo en cuenta las mediciones y evaluaciones ejecutadas en el presente estudio y descritas en los numerales 3.3.1 a 3.3.4, se presenta en la Tabla 3-10 la clasificación definitiva de la condición del pavimento, así como también la determinación del tipo de actividad de conservación requerida en la vigencia 2015 de acuerdo a lo establecido en el Anexo Técnico.

**Tabla 3-11:** Clasificación definitiva

TRAMO	CIV	NOM	DESDE	HASTA	CLASI COND DEL PAV	ACTIVIDADES DE CONSERVACION	ACTIVIDAD DE CONSERVACION (COLOR)	FECHA DE INTER.
1	10007526	AK 72	AC 72	CL 72B	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	mar-12
	10007477	AK 72	CL 72B	CL 73	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	mar-12
	10007434	AK 72	CL 73	DG74	1A	MANT. RUTINARIO	VERDE	mar-12
	10007387	AK 72	DG 74	CL 74	1A	MANT. RUTINARIO	VERDE	mar-12
	10007207	AK 72	CL 74	DG 76	1A	MANT. RUTINARIO	VERDE	mar-12
	10007085	AK 72	DG 76	CL 76	1A	MANT. RUTINARIO	VERDE	mar-12
	10006902	AK 72	CL 76	CL 77A	1A	MANT. RUTINARIO	VERDE	mar-12
	10006857	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	1A	MANT. RUTINARIO	VERDE	mar-12
	10006772	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	1A	MANT. RUTINARIO	VERDE	mar-12
2	9003935	AK 72	CL 18	CL 19	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
	9003885	AK 72	CL 19	CL 19A	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
	9003852	AK 72	CL 19A	CL 21	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
	9003794	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
3	9003518	AK 72	CL 24B	CL 24C	2B	REHABILITACION	NARANJA	nov-09
	9003482	AK 72	CL 24C	SE	1C	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
4	9003395	AK 72	CL 25B	CL 25D	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
5	10007798	AK 72	CL 71	CL 71 <sup>a</sup>	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
	10007678	AK 72	CL 71A	AC 72	2B	REHABILITACION	NARANJA	nov-09
	10007526	AK 72	AC 72	CL 72B	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
	10007477	AK 72	CL 72B	CL 73	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
	10007434	AK 72	CL 73	DG 74	2B	REHABILITACION	NARANJA	nov-09
	10007387	AK 72	DG 74	CL 74	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09
	10007207	AK 72	CL 74	DG 76	1B	MANT. PERIODICO	AMARILLO	nov-09

### 3.4 Análisis de Resultados

Una vez efectuadas las mediciones descritas en el numeral anterior y con base en los resultados obtenidos los cuales se ilustran en las fichas técnicas elaboradas para cada

segmento, se realiza a continuación el análisis comparativo entre el comportamiento esperado de los diseños e intervenciones realizadas por el contratista del Distrito de Conservación Occidente y los resultados obtenidos en las mediciones realizadas bajo el presente estudio.

### 3.4.1 Evaluación Superficial

El inventario de fallas es el insumo principal para definir el PCI (Pavement Condition Index), identificando la tipología y magnitud de cada una de las fallas presentes en el pavimento. Las tipologías más frecuentes en la Avenida Boyacá en cada uno de los tramos seleccionados corresponden a las siguientes:

- Tramo 1 - Calzada Rápida Sentido N-S entre CL 72 y DG 77<sup>a</sup>: piel de cocodrilo (1), grietas de reflexión de juntas (8), parcheo (11), grietas transversales y longitudinales (10), y desprendimiento de agregados (19). El tramo presenta valores de PCI entre 74 a 96, lo cual muestra un bajo deterioro de la superficie del pavimento, consecuente con el tiempo que ha transcurrido desde la intervención el cual corresponde a tres (3) años.
- Tramo 2 - Calzada Lenta Sentido N-S entre CL 18 y CL 21Bis: piel de cocodrilo (1), agrietamiento en bloque (3), parcheo (11), grietas transversales y longitudinales (10), pulimento de agregados (12), huecos (13), cruce de vías férreas (14) y desprendimiento de agregados (19). El tramo presenta valores de PCI entre 71 a 77, lo cual muestra un deterioro medio de la superficie del pavimento, consecuente con el tiempo que ha transcurrido desde la intervención el cual corresponde a cinco (5) años.
- Tramo 3 - Calzada Lenta Sentido N-S entre CL 24C y SE: piel de cocodrilo (1), agrietamiento en bloque (3), parcheo (11), grietas transversales y longitudinales (10). El tramo presenta valores de PCI 53 y 70, lo cual muestra un deterioro medio de la superficie del pavimento, consecuente con el tiempo que ha transcurrido desde la intervención el cual corresponde a cinco (5) años.

- Tramo 4 - Calzada Lenta Sentido N-S entre CL 25B y CL 25D: piel de cocodrilo (1), agrietamiento en bloque (3), parcheo (11), grietas transversales y longitudinales (10). El tramo presenta un valor de PCI de 66, lo cual muestra un deterioro medio de la superficie del pavimento, consecuente con el tiempo que ha transcurrido desde la intervención el cual corresponde a cinco (5) años
- Tramo 5 - Calzada Lenta Sentido N-S entre CL 71 y CL 75(DG 76): piel de cocodrilo (1), agrietamiento en bloque (3), parcheo (11), grietas transversales y longitudinales (10), pulimento de agregados (12) y desprendimiento de agregados (19). El tramo presenta valores de PCI entre 83 a 61, lo cual muestra un deterioro medio de la superficie del pavimento, consecuente con el tiempo que ha transcurrido desde la intervención el cual corresponde a cinco (5) años.

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa un buen comportamiento de las estructuras de pavimento las cuales reflejan un deterioro progresivo; acorde a las solicitaciones de tráfico a las cuales han estado sometidas y al periodo que ha transcurrido desde que fueron intervenidos que en algunos casos supera los tres (3) años. El PCI refleja una condición superficial buena, presentado rangos de valores entre 53 a 96 para los tramos seleccionados., condición consecuente con las deflexiones medidas en ellos que no reflejan en su mayoría problemas estructurales.

### 3.4.2 Evaluación Estructural

En el proceso de la evaluación estructural se busca comparar la capacidad estructural que requiere un pavimento para soportar un determinado número de solicitaciones (tráfico) y la que efectivamente tiene. A continuación se evidencia el comportamiento de las estructuras de pavimento de los tramos evaluados ante las proyecciones de tránsito estimadas.

Intervenciones Tipo Mantenimiento Periódico:

- Tramo 1 - Calzada Rápida Sentido N-S entre CL 72 y DG 77<sup>a</sup>: El tramo requiere para las solicitaciones de tránsito calculadas a 2015  $SN_{req}$  entre 3.7 y 4.7 y presentan bajo la medición efectuada  $SN_{eff}$  entre 4,5 y 6.5 junto a módulos resiliente que

oscilan entre 2442 psi y 5481 psi, esto indica que la estructura existente tiene buena capacidad de soporte superando inclusive lo esperado; deduciendo así que el pavimento existente ha soportado las solicitaciones estimadas y que tiene vida residual en sus segmentos, esto se refleja en el número de ejes equivalentes que aún tienen la posibilidad de soportar (ver Tabla 3-10), los cuales comparados con las proyecciones de tránsito calculadas (ver Anexo 3-2), permite deducir una duración de la estructura por un periodo mínimo de dos (2) años, por capacidad portante.

- Tramo 2 - Calzada Lenta Sentido N-S entre CL 18 y CL 21Bis: El tramo requiere para las solicitaciones de tránsito calculadas a 2015  $SN_{req}$  entre 4.5 y 4.9 y presenta  $SN_{eff}$  entre 6.0 y 7.0 junto a módulos resiliente que oscilan entre 6867 psi y 9220 psi., esto indica que la estructura existente tiene buena capacidad de soporte superando lo esperado; deduciendo así que el pavimento existente ha soportado las solicitaciones estimadas y que tiene vida residual en sus segmentos, esto se refleja en el número de ejes equivalentes que aún tienen la posibilidad de soportar (ver Tabla 3-10), los cuales comparados con las proyecciones de tránsito calculadas (ver Anexo 3-2), permite deducir una duración de las estructuras por un periodo mínimo de diez (10) años, por capacidad portante.
  
- Tramo 3 - Calzada Lenta Sentido N-S entre CL 24C y SE: El tramo requiere para las solicitaciones de tránsito calculadas a 2015 un  $SN_{req}$  de 6.6 para los dos CIV y presenta  $SN_{eff}$  de 6.1 y 8.0 junto a módulos resiliente de 3659 psi y 3968 psi respectivamente, esto indica para el primer CIV que requerirá actividades de reforzamiento a la estructura de pavimento, toda que el mismo no cuenta con capas granulares que contribuyan estructuralmente y para el segundo que tiene buena capacidad de soporte superando lo esperado; deduciendo así que dicho segmento ha soportado las solicitaciones estimadas y que tiene vida residual, esto se refleja en el número de ejes equivalentes que aún tiene la posibilidad de soportar (ver Tabla 3-10), los cuales comparados con las proyecciones de tránsito calculadas (ver Anexo 3-2), permite deducir una duración de la estructura por un periodo mínimo de diez (10) años, por capacidad portante.

- Tramo 4 - Calzada Lenta Sentido N-S entre CL 25B y CL 25D: El tramo requiere para las solicitaciones de tránsito calculadas a 2015 un  $SN_{req}$  de 6.0 y presenta  $SN_{eff}$  de 6.6 junto a un módulo resiliente de 4387 psi, esto indica que la estructura existente tiene buena capacidad de soporte superando lo esperado; deduciendo así que el pavimento existente ha soportado las solicitaciones estimadas y que tiene vida residual, esto se refleja en el número de ejes equivalentes que aún tienen la posibilidad de soportar (ver Tabla 3-10), los cuales comparados con las proyecciones de tránsito calculadas (ver Anexo 3-3), permite deducir una duración de la estructura por un periodo mínimo de dos (2) a tres (3) años, por capacidad portante.

#### Intervención Tipo Rehabilitación

- Tramo 5 - Calzada Lenta Sentido N-S entre CL 71 y CL 75: El tramo requiere para las solicitaciones de tránsito calculadas a 2015 un  $SN_{req}$  entre 6.5 y 7.5 y presenta  $SN_{eff}$  entre 6.4 y 7.5 junto a módulos resiliente que oscilan entre 2761 psi y 3773 psi, aproximadamente la mitad de los segmentos viales presentan  $I_e$  superior a 1, lo cual indica para ellos que la estructura existente tiene buena capacidad de soporte la cual supera o iguala lo esperado; deduciendo así que dichos segmentos han soportado las solicitaciones estimadas y que tienen vida residual, esto se refleja en el número de ejes equivalentes que aún tienen la posibilidad de soportar (ver Tabla 3-10), los cuales comparados con las proyecciones de tránsito calculadas (ver Anexo 3-2), permite deducir una duración de la estructura por un periodo mínimo de uno (1) a cinco (5) años, por capacidad portante. Por otra parte, para los CIV restantes, el  $I_e$  fue inferior a 1, por tanto requerirán actividades de reforzamiento a la estructura de pavimento. Pese a presentar todos los CIV de este tramo espesores de carpeta asfáltica y capas granulares similares, la presencia de  $I_e$  inferiores a 1 puede deberse a la diferencia en magnitudes de los módulos resilientes (más bajos que los segmentos contiguos) sumados a los daños en superficie que si bien muestran una condición buena, la misma esta sobre el borde inferior de su rango.

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que en cuanto a capacidad estructural de manera general y en la mayoría de los tramos evaluados soportan las solicitaciones proyectadas y cuentan aún con vida residual para las solicitaciones

venideras, esto evidencia la pertinencia en las intervenciones diseñadas y construidas por el contratista a partir del Anexo Técnico en estudio.

### 3.5 Análisis Comparativo

En la tabla 3-11 se muestra los datos más representativos a ser comparados del diagnóstico inicial y la evaluación efectuada en el presente estudio.

**Tabla 3-12:** Diagnostico vs Evaluación

TRAMOS	CIV	ORDEN	NOM	DESDE	HASTA	L DIS.	L EJE.	AÑO DIAGNOSTICO	AÑO PROYECTADO	PCI (año diagnostico)	PCI (2015)	SN req (año proyectado)	SN ef (2015)
1	10007526	6	AK 72	AC 72	CL 72B	93	97	2012	2015	99	74	4.0	5.1
	10007477	6	AK 72	CL 72B	CL 73	70	55	2012	2015	92	75	4.2	5.2
	10007434	6	AK 72	CL 73	DG74	70	61	2012	2015	80	95	4.4	5.3
	10007387	6	AK 72	DG 74	CL 74	81	61	2012	2015	72	91	4.7	5.7
	10007207	6	AK 72	CL 74	DG 76	174	61	2012	2015	75	89	4.7	5.4
	10007085	4	AK 72	DG 76	CL 76	197	61	2012	2015	81	91	3.3	4.5
	10006902	4	AK 72	CL 76	CL 77A	102	61	2012	2015	64	90	3.1	5.8
	10006857	4	AK 72	CL 77A	TV 69BIS	84	96	2012	2015	78	90	3.3	5.2
	10006772	4	AK 72	TV 69BIS	DG 77A	76	96	2012	2015	92	96	3.6	6.5
2	9003935	4	AK 72	CL 18	CL 19	300	155	2009	2012	79	72	4.0	6.6
	9003885	4	AK 72	CL 19	CL 19A	90	80	2009	2012	94	77	4.1	5.9
	9003852	4	AK 72	CL 19A	CL 21	240	110	2009	2012	60	71	4.2	6.1
	9003794	4	AK 72	CL 21	CL 21 Bis	60	90	2009	2012	69	79	4.5	6.9
3	9003518	4	AK 72	CL 24B	CL 24C	83	60	2009	2012	79	70	5.4	6.1
	9003482	4	AK 72	CL 24C	SE	27	155	2009	2012	56	53	6.1	8
4	9003395	4	AK 72	CL 25B	CL 25D	180	95	2009	2012	62	66	5.3	6.6
5	10007798	4	AK 72	CL 71	CL 71 <sup>a</sup>	120	122	2009	2012	29	83	5.7	6.5
	10007678	4	AK 72	CL 71A	AC 72	114	104	2009	2012	28	74	5.5	6.4
	10007526	4	AK 72	AC 72	CL 72B	93	94	2009	2012	29	70	5.8	7.5
	10007477	4	AK 72	CL 72B	CL 73	42	55	2009	2012	39	61	6.1	7.3
	10007434	4	AK 72	CL 73	DG 74	70	61	2009	2012	33	69	6.7	6.6
	10007387	4	AK 72	DG 74	CL 74	81	84	2009	2012	36	83	6.6	7.5
	10007207	4	AK 72	CL 74	DG 76	174	177	2009	2012	20	72	5.0	6.7

En el proceso de validación de la metodología descrita en el Anexo Técnico para Distritos de Conservación que se adelanta en el presente estudio, se procede a realizar las siguientes precisiones y apreciaciones:

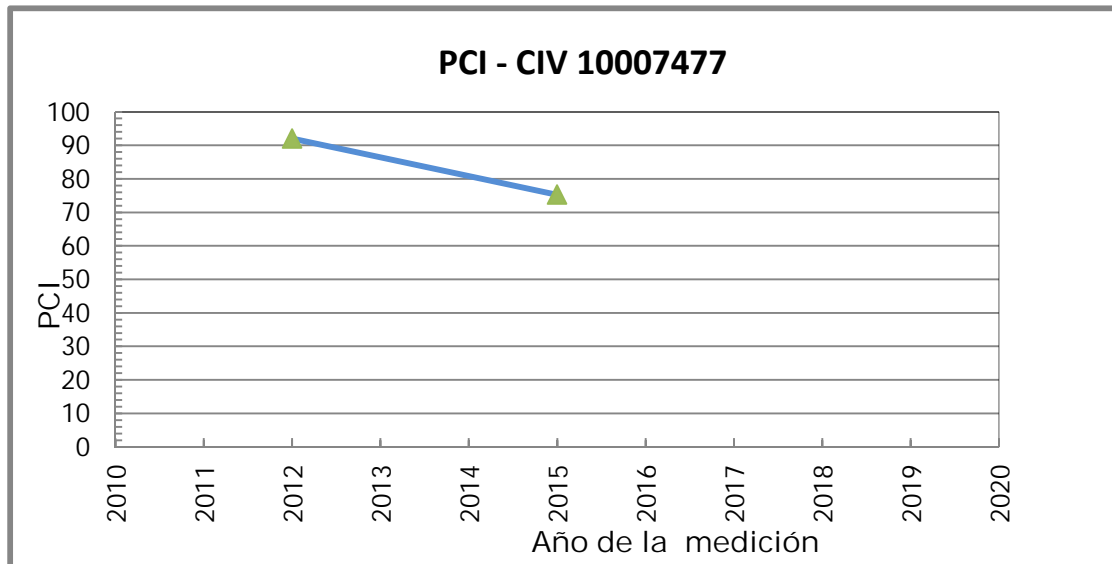
- El diagnóstico y proyección de los diseños de mantenimiento periódico y rehabilitación realizados por el consultor del contrato IDU-074-2008 corresponde a un periodo de tres (3) años, el cual es coincidente para la evaluación en estudio para el tramo 1; en el caso de los tramos 2 a 5 el periodo de evaluación actual (5 años) supera los inicialmente proyectados, sin embargo, los cálculos de capacidad estructural fueron realizados a vigencia 2015, es decir, bajo las solicitudes del tránsito actuantes a la fecha buscado de esta manera consistencia en las comparaciones ejecutadas.
  
- En cuanto al comportamiento superficial de la estructura del pavimento el PCI permite evidenciar lo siguiente: a) en las intervención tipo mantenimiento periódico se observa en la mayoría de los casos que se mantiene o mejora a partir de la intervención ejecutada, por ejemplo, en el Tramo 1 se parte de unos PCI del orden de 72 a 99 en 2012 antes de la intervención y se miden a vigencia 2015 PCI del orden de 74 a 96 manteniéndose así una buena condición superficial del pavimento; se presenta un deterioro progresivo pero consistente con el periodo para el cual fueron diseñados, y más aún en el caso de los tramos intervenidos durante la vigencia 2009 (Tramos 2 a 4) donde ese periodo ya ha sido superado y reflejan un comportamiento entre regular y bueno según las mediciones del PCI efectuadas en dichos tramos; b) en las intervenciones tipo rehabilitación evidentemente su comportamiento es de mejoría, consecuente con la intervención realizada, pese a que en algunos casos correspondió a intervenciones de tipo mantenimiento periódico tales como el reemplazo de carpetas asfálticas con espesores variables, dicha intervención pudo obedecer a verificaciones in situ, una vez iniciada la misma y donde pudo observarse que el segmento requería una intervención menor.
  
- En cuanto a la capacidad estructural se presentaron dos situaciones: a) En el tramo 1, se compararon en el mismo año de proyección (2015), lo diseñado vs la medición de lo ejecutado, observándose que el mismo cuenta con la capacidad requerida y presentando adicionalmente una vida residual importante para las solicitudes venideras; b) En los tramos 2 al 5, el año de evaluación no corresponde exactamente al de proyectado, sin embargo, los resultados muestran un buen comportamiento de las estructuras, su capacidad de soporte a las

solicitaciones que hasta la fecha han trascendido sobre ellas y en algunos casos la vida remanente que tiene para las solicitudes a futuro, que le permitirían soportarlas por unos periodos mínimos entre uno (1) a diez (10) años, dependiendo el segmento (CIV) y de que se efectúen mantenimientos rutinarios de manera continuada y permanente.

### 3.5.1 Curvas de deterioro

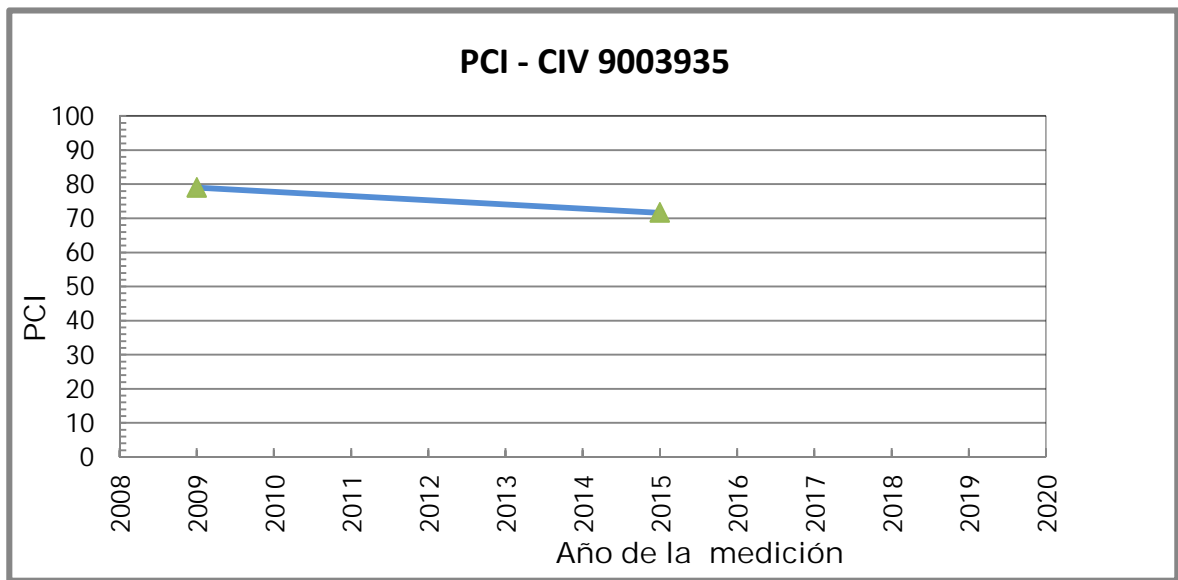
A continuación se presentan las curvas de deterioro para cada uno de los tramos seleccionados evidenciando la variación en el tiempo de resultados obtenidos en la evaluación del PCI y de las deflexiones D10 y D16.

**Figura 3-23** Variación PCI - Tramo 1





**Figura 3-24** Variación PCI - Tramo 2



**Figura 3-25** Variación PCI - Tramo 3

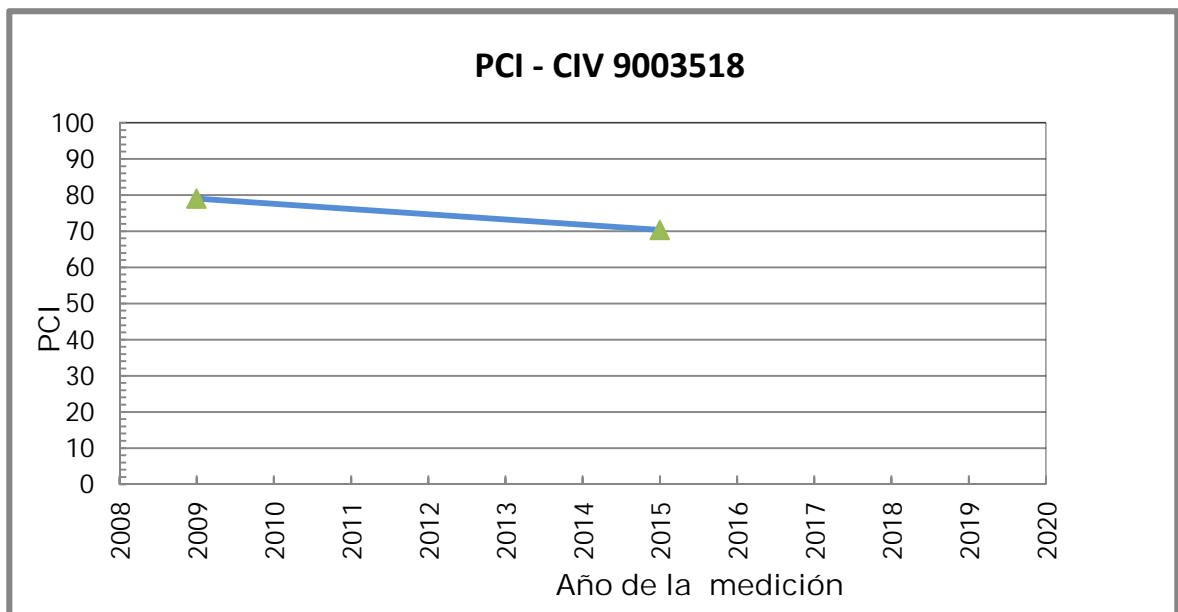


Figura 3-26 Variación PCI - Tramo 4

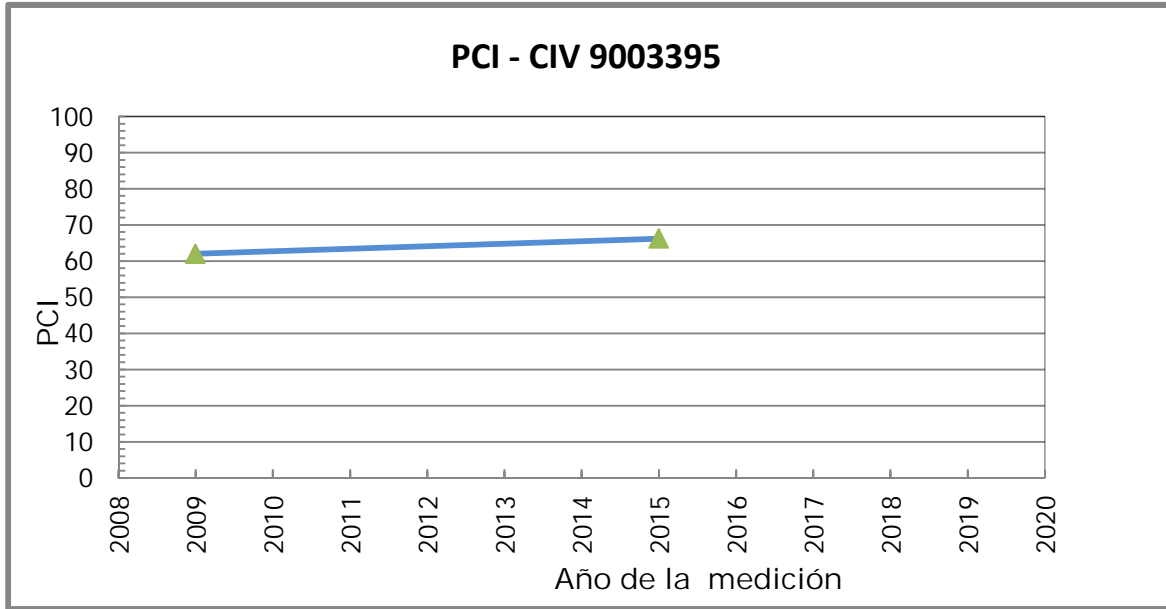
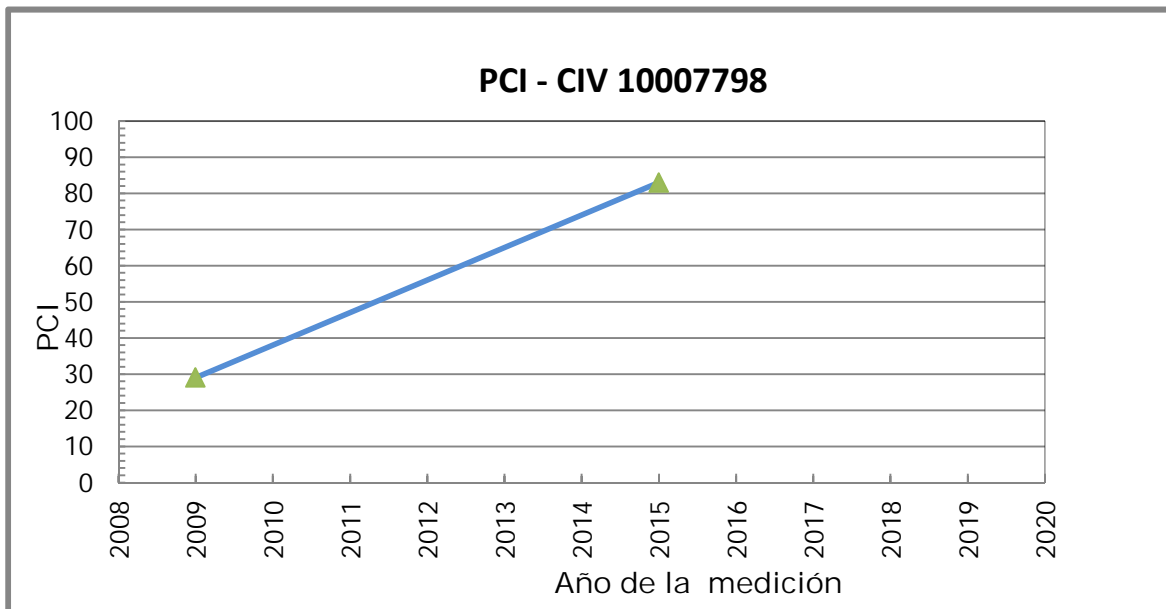
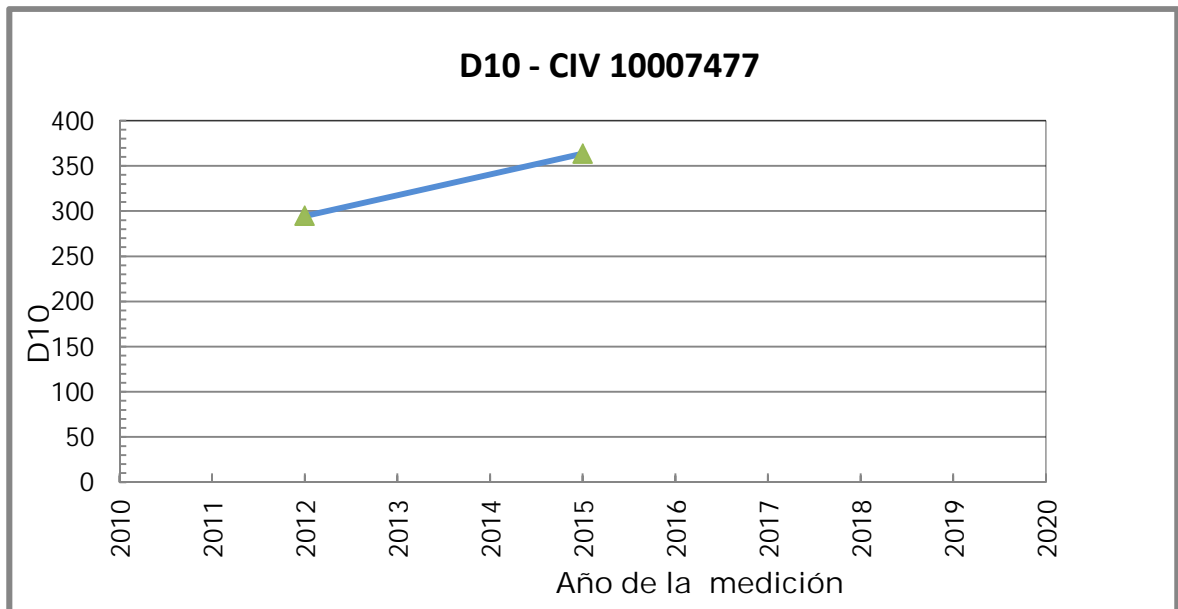


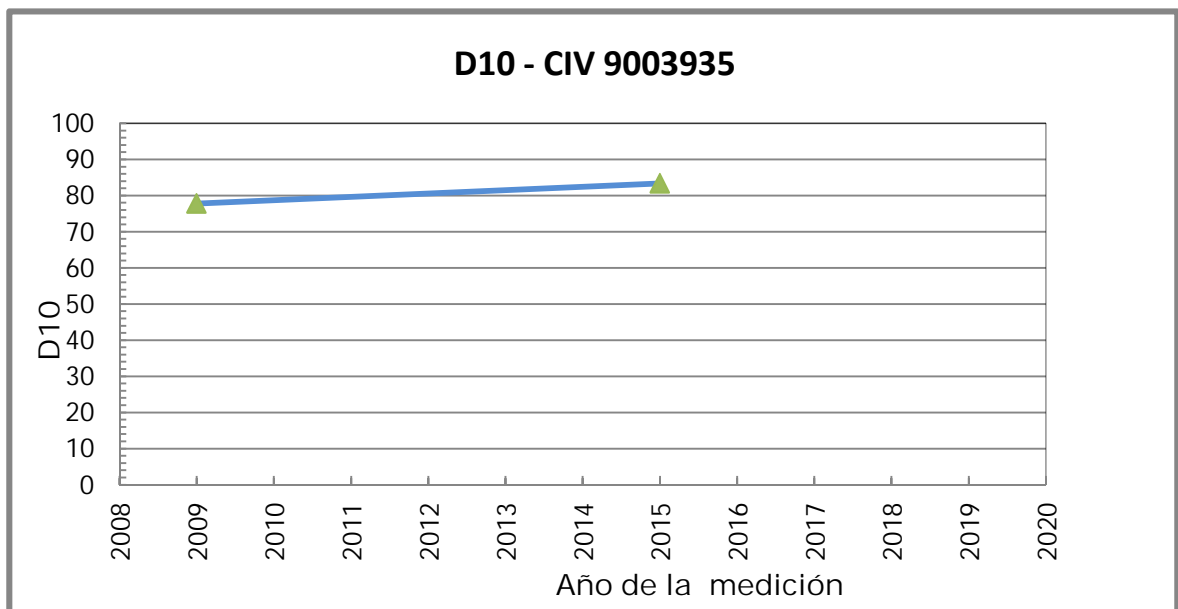
Figura 3-27 Variación PCI - Tramo 5



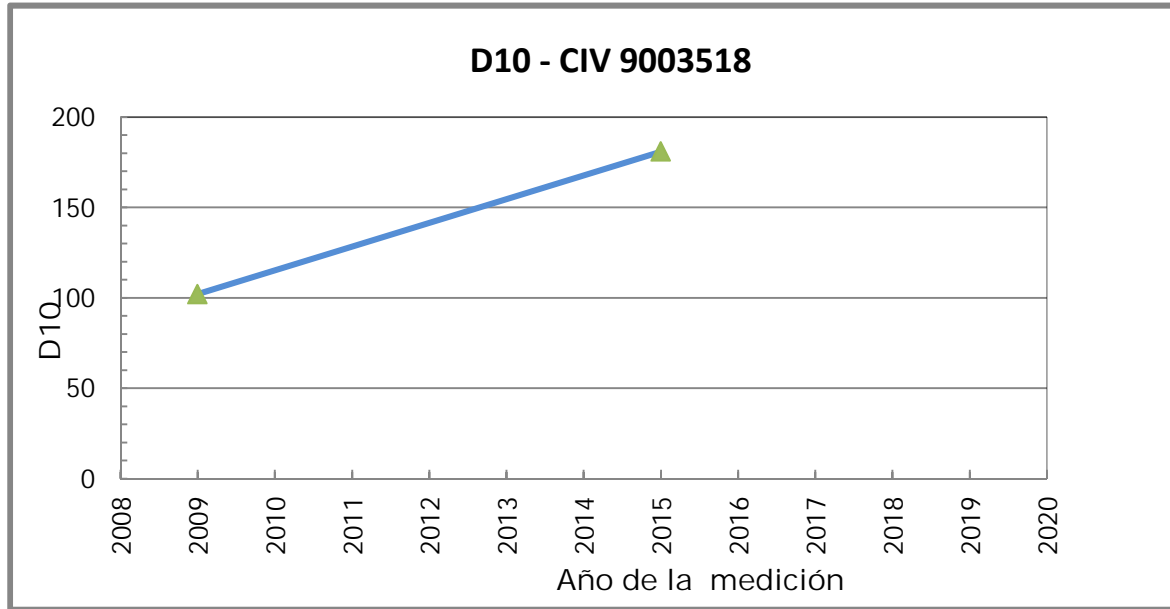
**Figura 3-28** Variación D10 - Tramo 1



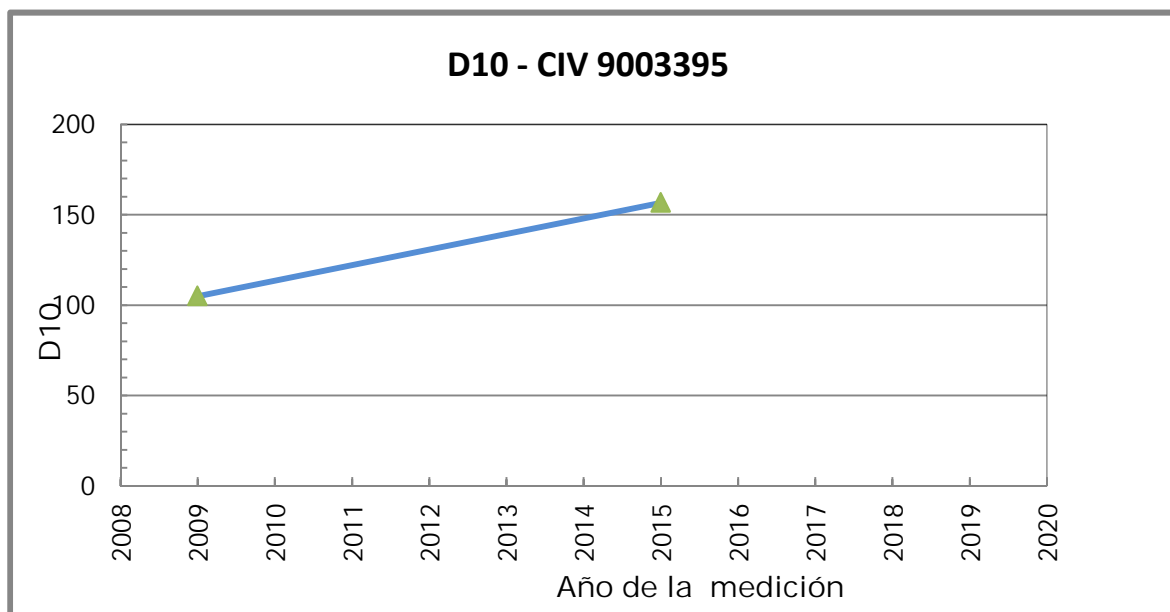
**Figura 3-29** Variación D10 - Tramo 2



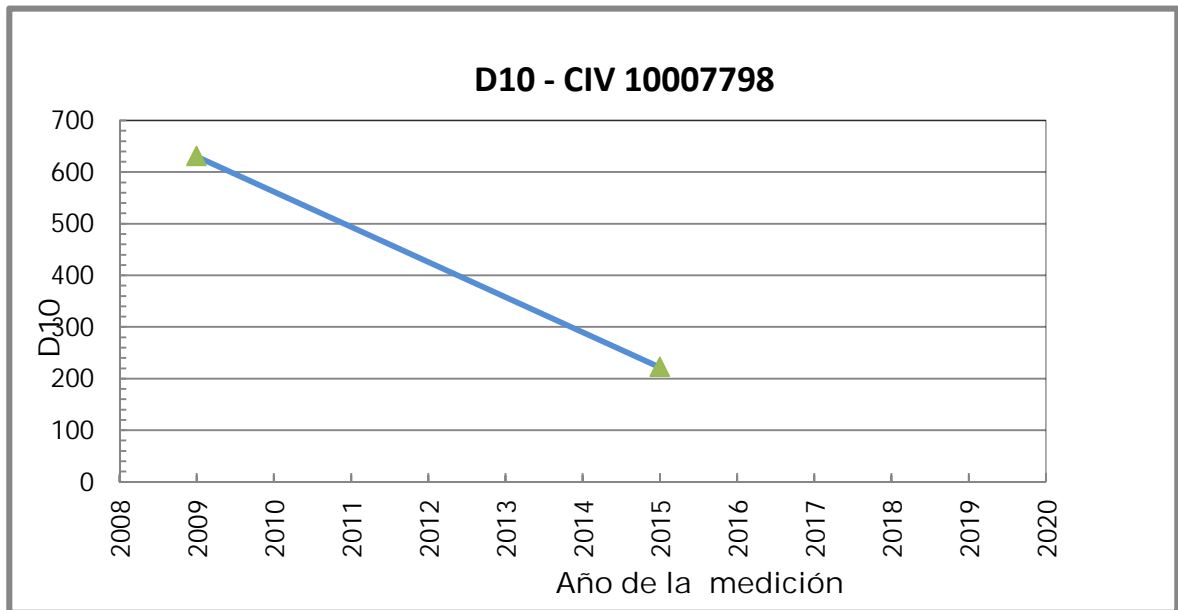
**Figura 3-30** Variación D10 - Tramo 3



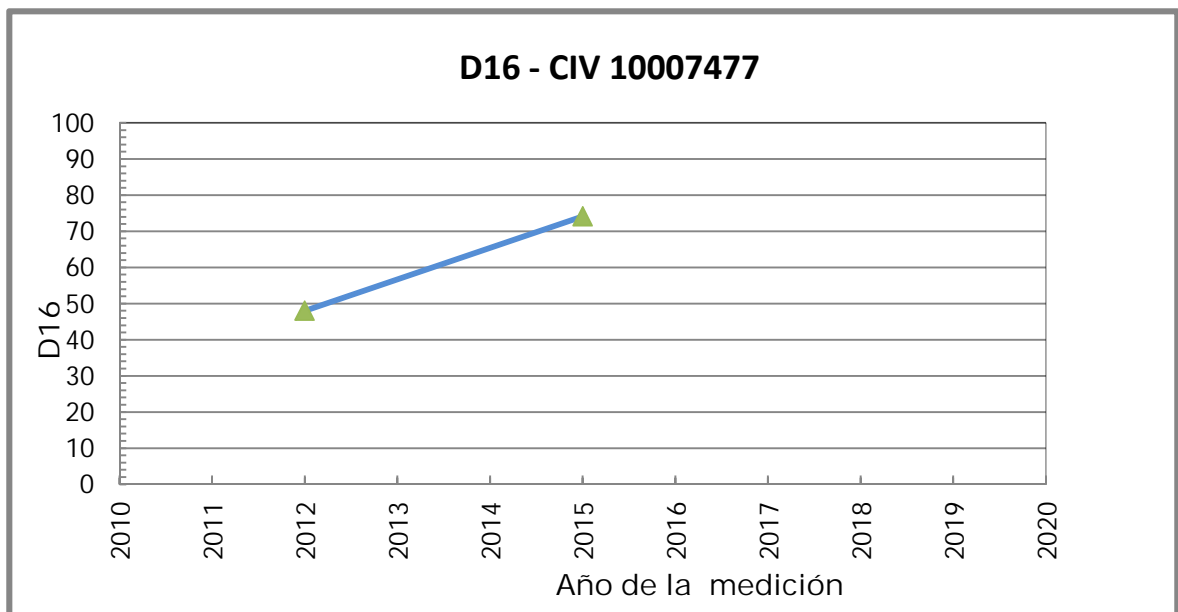
**Figura 3-31** Variación D10 - Tramo 4



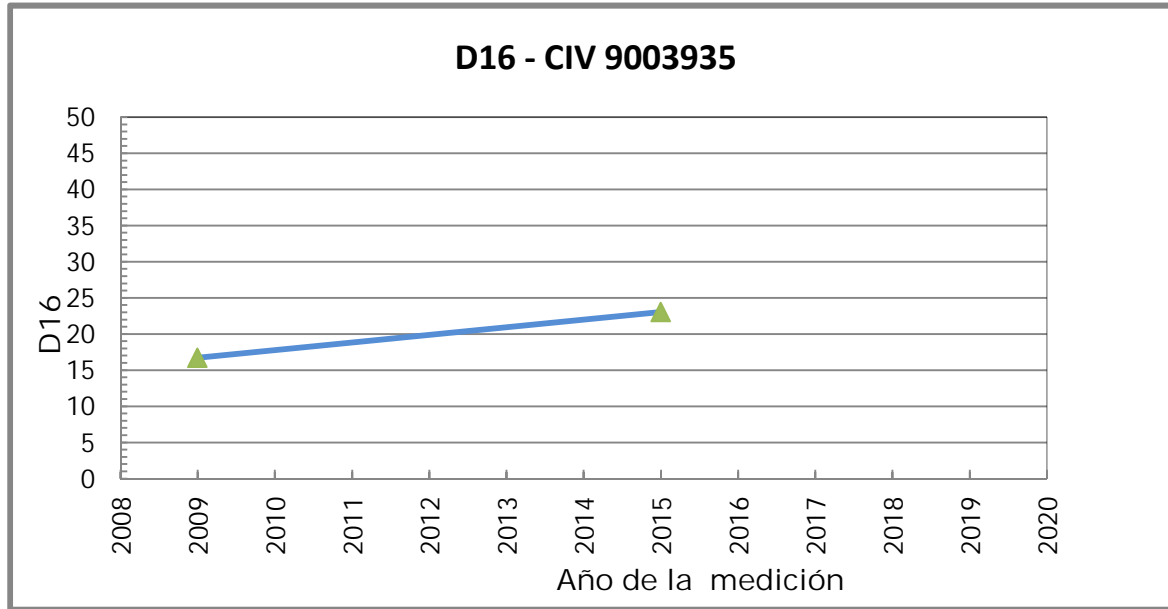
**Figura 3-32** Variación D10 - Tramo 5



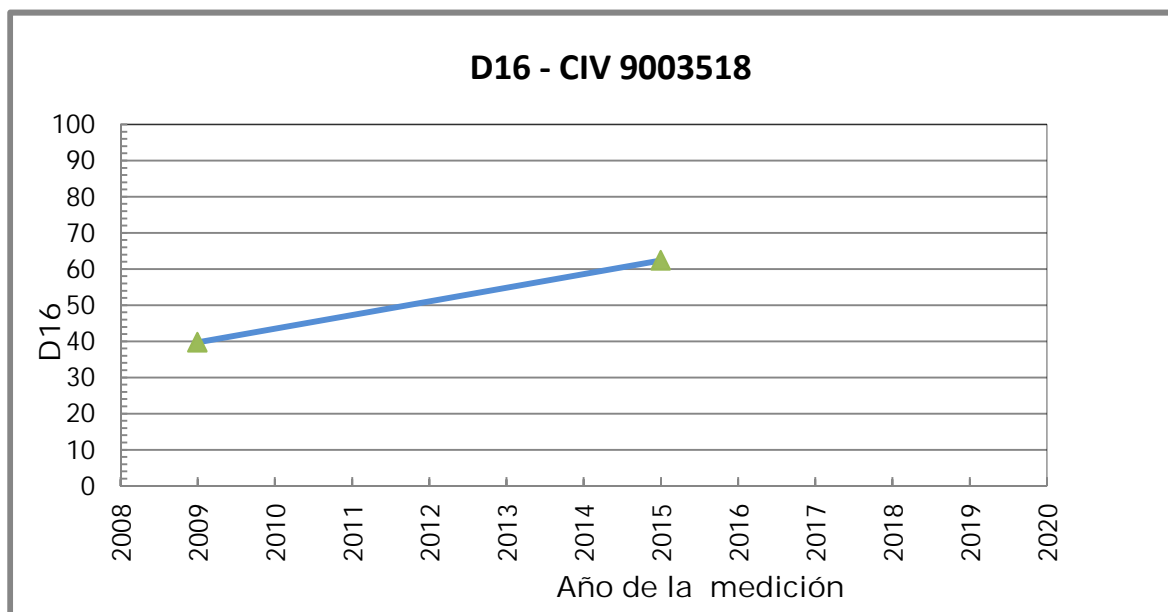
**Figura 3-33** Variación D16 - Tramo 1



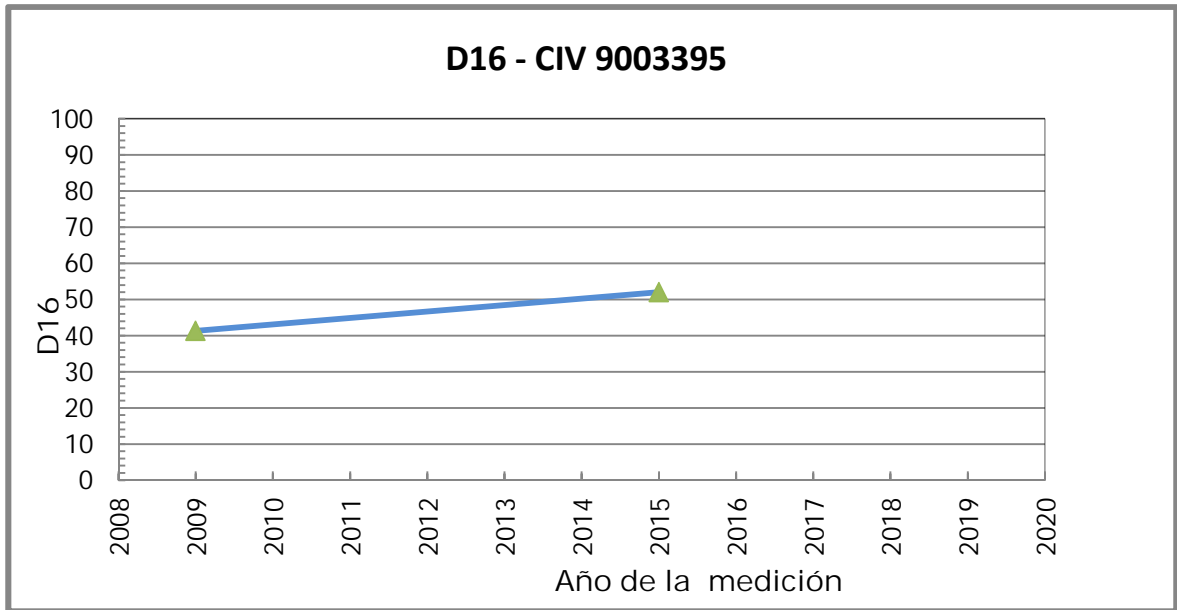
**Figura 3-34** Variación D16 - Tramo 2



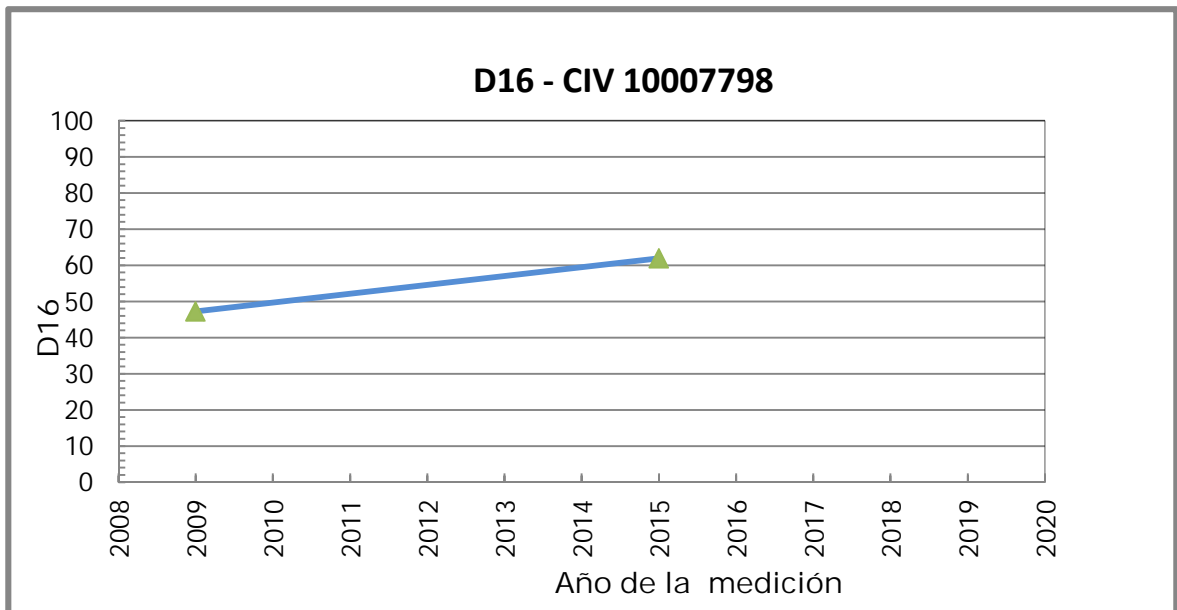
**Figura 3-35** Variación D16 - Tramo 3



**Figura 3-36** Variación D16 - Tramo 4



**Figura 3-37** Variación D16 - Tramo 5



Las curvas de deterioro presentadas permiten la construcción de modelos reales de deterioro para los tramos analizados, representando un avance en la evaluación futura del comportamiento de dichas estructuras.

## 4. Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones

- La Gestión de Pavimentos desarrollada a nivel mundial para optimizar los recursos que se tienen para mantener la infraestructura vial de las regiones obliga cada día a que se generen procesos continuos de mejora y seguimiento a su ejecución, es por ello que mediante el presente trabajo se evaluó lo desarrollado por el Instituto de Desarrollo Urbano en el Distrito Capital y se comparó con la experiencia de diferentes países de Latinoamérica, que presentan mayores avances en dicha materia obteniéndose así las siguientes similitudes y diferencias:
  - a) En cuanto a la Evaluación Superficial, se observa que tanto México como Chile y Colombia utilizan el mismo principio, que corresponde a la inspección visual, utilizando ya sea la Metodología PCI, o alguna desarrollada particularmente por ellos (caso Chile con metodología MANVUSIMP). Sin embargo, para ellos (México y Chile) el referente principal es la medición del IRI previamente como indicador del estado del pavimento, el cual en Colombia (Bogotá D.C.), es evaluado pero posteriormente, es decir, para el recibo de una obra nueva o con mantenimiento periódico. De igual manera, se contempla la medición del coeficiente de fricción.
  - b) En cuanto a la Evaluación Estructural, en algunos casos como por ejemplo Chile no la evalúan de manera independiente mediante la medición de deflexiones, solo tienen en cuenta la evaluación superficial y de ella se deduce la condición estructural. En México al igual que en Colombia si realizan la evaluación estructural mediante la medición de deflexiones mediante métodos no destructivos como el Deflectómetro de Impacto – FWD, lo cual bajo el criterio del ejecutor del presente trabajo, permite establecer de una manera más certera la capacidad estructural, toda vez que en algunos casos la evaluación superficial suele ser subjetiva y depende de la experticia del evaluador.



- En algunos tramos seleccionados se observa que las intervenciones realizadas por el Constructor no corresponden a las planteadas en el diagnóstico efectuado bajo la metodología del Anexo Técnico, lo cual obedece a las limitaciones de tipo constructivo que en algunos casos se presentan para efectuar las intervenciones planteadas por diseño y la dificultad de garantizarlas en cuanto a materiales y procesos constructivos. Esto puede generar un poco de variación en los resultados del estudio, por lo cual se recomienda para futuras validaciones, escoger tramos donde las intervenciones realizadas correspondan a los resultados de la metodología aplicada.
- A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo se observa que la metodología del Anexo Técnico para Distritos de Conservación utilizado por el IDU es consistente, teniendo en cuenta que el comportamiento de las estructuras de pavimento evaluadas y dentro de las limitaciones propias de la muestra estudiada, se ajusta a lo proyectado mostrando un deterioro progresivo pero acorde al tiempo transcurrido desde la intervención y en la mayoría de los casos con una capacidad de soporte residual para el tránsito futuro, pese a haber superado el tiempo para el cual fueron diseñadas.
- Los resultados obtenidos en el PCI y FWD
- Dentro del estudio se evidenció el limitante en cuanto a la verificación fidedigna en algunos de los tramos intervenidos, es decir, la intervención planteada por el consultor y la efectivamente construida, este limitante se debe principalmente a los procesos constructivos de las mismas, por lo cual es recomendable una selección más exhaustiva en futuras investigaciones.
- La utilización en el Anexo Técnico del PCI y el FWD, para la medición de la capacidad funcional y estructural del pavimento, y a partir de ello establecer el tipo de intervención, sea mantenimiento rutinario, periódico o rehabilitación, es pertinente en las vías urbanas de la ciudad de Bogotá. Es claro que mediante el presente trabajo y por sus limitaciones propias en el alcance, no permite llegar a una generalización de todos los tramos diagnosticados e intervenidos en la ciudad a partir del Anexo, sin embargo, si muestra a partir de los resultados obtenidos la concordancia de los

---

mismos con lo proyectado, sin desconocer que puede que no correspondan a los óptimos.

- Lo anterior, lleva a plantear el interrogante de si es posible optimizar el recurso designado a una intervención, buscando con ello disponer de más recursos para nuevos tramos a intervenir. Claro está, sin desconocer las limitaciones de tipo constructivo que puedan presentarse.
- Extrayendo de la experiencia de otros países, podría considerarse la medición del IRI en proceso de evaluación superficial de las estructuras de pavimentos en vías urbanas. Como bien es sabido el IRI es un buen indicador del confort que percibe el usuario, al igual que puede establecerse como un punto de control a la hora de definir la priorización de las vías a intervenir.
- Dentro de los objetivos del presente estudio se buscaba, de manera conceptual dar unas primeras luces, sobre la posibilidad del aseguramiento en términos de garantías de Estabilidad de Obra de las intervenciones tipo mantenimiento periódico, en especial, las que corresponden al reemplazo de una o más capas de rodadura o de capas granulares de la estructura del pavimento, si bien, no por el periodo de cinco (5) años que establece la ley, sí por un periodo inferior. Con base en los resultados obtenidos se observa por ejemplo en los tramos 1 a 4 evaluados, en cuanto a capacidad estructural los pavimentos presentan un buen soporte de las solicitaciones sobre ellas aplicadas, estas estructuras han soportado periodos de 3 a 5 años y todavía cuentan con una vida remanente, y en cuanto a su comportamiento superficial se logran mantener en el caso de los evaluados para un periodo de tres (3) años en un estado bueno y en los de los cinco (5) años en su mayoría en bueno y unos pocos hacia regular estado. Esto muestra el buen comportamiento de estas estructuras y que valdría la pena realizar por parte de las entidades competentes un estudio más profundo, con una valoración más detallada de las variables que intervienen del comportamiento de dichas estructuras, así como también, la valoración mediante segmentos testigos.

- Lo anterior, resulta necesario y asertivo teniendo en cuenta el valor significativo de los recursos que el Distrito invierte a la fecha en este tipo de intervenciones y que en estos tiempos solo cuentan con garantías sobre materiales y los procesos constructivos, cuya duración es de tan solo dos (2) años y cuya aplicación, verificación y efectividad resulta casi imposible de aplicar a la hora de presentarse fallas en dichas estructuras.
  
- Finalmente, y siendo reiterativo en las limitaciones que como documento académico reviste este trabajo, se considera importante que el Distrito elabore un programa sistemático de evaluación y seguimiento de las estructuras de pavimento intervenidas mediante mantenimiento periódico con la magnitud y complejidades que el mismo puede tener, que le permita optimizar los recursos disponibles e incorporar elementos nuevos en el diagnóstico, como el IRI, el cual y de acuerdo a las nuevas tecnologías que existen se puede medir en segmentos cortos como los existentes en nuestra ciudad.

## 5. Bibliografía

- Solminihaç, Hernán. Gestión de Infraestructura Vial. 3 ed. Chile: Alfaomega, 2005
- Higuera, Carlos. Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos. 1 ed. Colombia: UPTC, 2012
- Subdirección Técnica de Planeación Estratégica – Instituto de Desarrollo Urbano. Manual de Actualización del Inventario de Malla Vial y Espacio Público. 2004
- Grupo de Investigación y Desarrollo – Instituto de Desarrollo Urbano. Anexo Técnico para Distritos de Conservación. Versión 2.0, 2008.
- Betancourt F., Coronado O. Tiempo de duración o vida útil de los Pavimentos Flexibles ejecutados a través de los Contratos de Mantenimiento, donde las intervenciones son de Tipo Superficial. Concepto Técnico Especial N° 2. Universidad Nacional de Colombia
- Instituto Mexicano de Transporte, Primera fase sistema mexicano para la administración de los pavimentos (SIMAP). Documento Técnico N° 3, 2004, San Fandila, Qro.
- Instituto Mexicano de Transporte, Evaluación no destructiva de Pavimentos, Publicación Técnica N° 107, 1998, San Fandila, Qro.

- Instituto Mexicano de Transporte, Sistema de Evaluación de Pavimentos Versión 2.0, Publicación Técnica N° 245, 2004, San Fandila, Qro.
- Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile. Metodología Simplificada para evaluar Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano – MANVUSIMP, Chile, 2008.
- Manual de Carreteras: Mantenimiento Vial, Volumen 7, Edición 2013. Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Viabilidad, Chile.
- Kerali, Henry G. R. Visión General de HDM-4, Versión 1.0, [www.camineros.com/docs/cam031.pdf](http://www.camineros.com/docs/cam031.pdf)
- Álvarez Rivas, Ignacio. Análisis y estudio de la red vial pavimentada de la I Región utilizando el sistema computacional dTIMS. Santiago de Chile, 2008. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil.
- Ríos Marín, José, et al. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS SOBRE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.  
[www.umng.edu.co/documents/10162/745281/V3N2\\_28.pdf](http://www.umng.edu.co/documents/10162/745281/V3N2_28.pdf)