

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL PARA EL USO DEL EQUIPO MULTI WHEELS
HAMBURG WHEEL TRACKER B038A USADO PARA EL ENSAYO DE LA RUEDA
DE HAMBURGO EN LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA**

David Hernando Jaimes Muñoz

Id. 000177741

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL PARA EL USO DEL EQUIPO MULTI WHEELS
HAMBURG WHEEL TRACKER B038A USADO PARA EL ENSAYO DE LA RUEDA
DE HAMBURGO EN LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA**

David Hernando Jaimes Muñoz

Id. 000177741

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Director del Proyecto

Ing. Msc. Julián André Galvis Flórez

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2016

Dedico este proyecto a mi nana, Estrella Cubides Camacho, quien desde el cielo me brinda su guía, protección y apoyo incondicional.

A mi nona, Rosabel Marín de Muñoz y mis padres Casimiro Jaimes Arenales y Melba Mercedes Muñoz Marín por ser quienes más han creído en mi después del fallecimiento de mi nana.

A mis hermanos Andrés Felipe Jaimes Sánchez y Carolina Jaimes Muñoz por soportar mis constantes arranques de rebeldía.

Por último, a mi Tío Edgar Muñoz Marín, quien recientemente falleció y desde el cielo nos guía a todos en la familia en compañía de mi abuelo Arcadio Muñoz Santamaría y mi nana.

Agradecimientos

v

Agradezco profundamente a mis padres y mi tío Milton Gerardo Muñoz Marín, porque sin su colaboración, no habría sido posible la culminación de este proyecto.

Agradezco al Ingeniero Julián André Galvis Flórez por su paciencia y conocimientos a la hora de realizar este proyecto.

Agradezco a mis padrinos Hernando y Zoraida Muñoz Marín por confiar en mi y nunca perder la fe en que podría finalizar este proyecto.

Gracias al Ingeniero William García de la empresa Pavimentos Andinos S.A. por el apoyo para la realización del proyecto sin costo alguno.

Agradezco a mis compañeros y docentes de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Santo Tomás de Aquino Sede Floridablanca por su apoyo y comprensión en todas las etapas de desarrollo de este proyecto.

Agradezco a mi novia Luisa Romero por acompañarme en las últimas etapas de la realización de este documento y por su apoyo incondicional.

Agradezco a Paola Andrea Niño, y Deisy Barrera, por su paciencia conmigo durante la realización de este proyecto.

Tabla de Contenidos

vi

1. Introducción	3
2. Objetivos.....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. Justificación	6
4. Marco teórico.....	8
4.1. Pavimentos.....	8
4.2. Clasificación de mezclas asfálticas (carpeta asfáltica)	9
4.2. Tipos de fallos en Pavimentos Flexibles.....	9
4.3. Ahuellamiento.....	24
4.3.1. Factor crítico del ahuellamiento.....	25
5. Antecedentes.....	32
6. Metodología	39
7. Preparación de la muestra	45
8. Manual de uso del equipo	48
9. Resultados y Discusión.....	49
10. Conclusiones y Recomendaciones.....	61
11. Lista de Referencias	63
12. Anexos	66

Tabla 1-Parámetros de clasificación de mezclas asfálticas..... 9

Tabla 2-Deterioros de tipo A 30

Tabla 3-Niveles de gravedad para deterioros tipo A 31

Tabla 4-Comparación de las características de las normas INVIAS, AASHTO y EN usadas para el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo..... 41

Tabla 5-Artículo 450 -6 franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente 45

Tabla 6-Datos de profundidad de la huella para una sección de compilación de datos (Ejemplo con 2 niveles) 57

Tabla 7-Datos de profundidad de la huella para una sección de compilación de datos (Ejemplo con 3 niveles) 57

Tabla 8-Datos de profundidad de la huella para una sección de compilación de datos (Ejemplo con 4 niveles) 57

Tabla 9-Fragmento de: Tabla 3-Niveles de gravedad para deterioros tipo A (pág. 31) 58

Lista de figuras

viii

Figura 1-Estructura del pavimento.....	8
Figura 2- Fisura Longitudinal	10
Figura 3-Fisura Transversal	11
Figura 4- Fisura Longitudinal en Junta de Construcción.....	11
Figura 5-Fisura Transversal en Junta de Construcción.....	12
Figura 6-Fisuras por Reflexión de Juntas en Placas de Concreto	12
Figura 7-Fisura en Media Luna.....	13
Figura 8-Fisura de Borde	13
Figura 9-Fisura en Bloque	14
Figura 10-Piel de Cocodrilo.....	14
Figura 11-Fisura por Deslizamiento de Capas.....	15
Figura 12-Fisuración Incipiente.....	15
Figura 13 -Ondulación	16
Figura 14-Abultamiento.....	16
Figura 15-Hundimiento.....	17
Figura 16-Descascaramiento.....	17
Figura 17-Bache.....	18
Figura 18-Parche.....	18
Figura 19-Desgaste Superficial.....	19
Figura 20-Pérdida de Agregado	19
Figura 21-Pulimento del Agregado.....	20
Figura 22-Cabezas Duras	20

Figura 23-Exudación.....	21ix
Figura 24-Surcos.....	21
Figura 25-Corrimiento Vertical de la Berma	22
Figura 26-Separación de la Berma.....	22
Figura 27-Afloramiento de Finos.....	23
Figura 28-Afloramiento de agua.....	24
Figura 29-Ahuellamiento	25
Figura 30-Severidad del Ahuellamiento	26
Figura 31-Medida de la profundidad de una huella empleando una regla.....	28
Figura 32-Esquema gráfico para la medición del ahuellamiento.....	29
Figura 33-Método alternativo de los cinco puntos	29
Figura 34-DTS-30 SERVO-HYDRAULIC DYNAMIC TESTING SYSTEM (Sistema de Prueba Dinámica DTS-30).....	33
Figura 35-SERVO-PNEUMATIC FOUR POINT BENDING (APB) SYSTEM	34
Figura 36-Máquina de pulimento acelerado	35
Figura 37-ASPHALT ROLLER COMPACTOR (ARC)	36
Figura 38-Toma de temperatura durante el proceso de pesado de los agregados según lo sugerido por el instituto del asfalto para el ensayo Marshall.....	46
Figura 39-Proceso de calentamiento la mezcla asfáltica	46
Figura 40-Mezcla homogénea de los agregados más el asfalto	47
Figura 41-Corte de las probetas realizadas en el compactador giratorio	47
Figura 42-Ejemplo de gráfica impresa por medio de la opción de Impresión de resultados del equipo por medio de una impresora.....	49

Figura 43-Resultados de la muestra rectangular - lado izquierdo (parte 1).....	50x
Figura 44-Resultados de la muestra rectangular - lado izquierdo (parte 2).....	51
Figura 45-Resultados de la muestra rectangular - lado izquierdo (parte 3).....	51
Figura 46-Gráfica de Profundidad del ahuellamiento vs. Número de pasadas, muestra rectangular – lado izquierdo.....	52
Figura 47-Resultados de la muestras cilíndricas - lado derecho (parte 1)	53
Figura 48-Resultados de la muestras cilíndricas - lado derecho (parte 2)	54
Figura 49-Resultados de la muestras cilíndricas - lado derecho (parte 3)	54
Figura 50-Gráfica de Profundidad del ahuellamiento vs. Número de pasadas, muestras cilíndricas – lado derecho	55

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: ELABORACIÓN DE UN MANUAL PARA EL USO DEL EQUIPO MULTIWHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A USADO PARA EL ENSAYO DE LA RUEDA DE HAMBURGO EN LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

AUTOR(ES): David Hernando Jaimes Muñoz

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR (A): Ing. Msc. Julián André Galvis Flórez

RESUMEN

Con la realización de este proyecto de grado se obtuvo el material esperado con el que se instruirá sobre el correcto procedimiento para el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo para medir el ahuellamiento de una mezcla asfáltica bajo las condiciones del equipo Multi Wheels Hamburg Wheel Tracker B038A; y basado en la norma AASHTO T 324-14, el procedimiento se originó en el laboratorio de Geotecnia y Pavimentos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga haciendo uso de una mezcla MDC-25 preparada según especificaciones del INVIAS, y como efecto de esto se generó un video y un manual de uso en el que se describe paso a paso las opciones que se deben seguir durante el proceso de uso del equipo.

PALABRAS CLAVE: Rueda Cargada de Hamburgo, ahuellamiento, mezcla asfáltica, mezcla bituminosa.

V° B° DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: **MAKING OF A MANUAL FOR THE EQUIPMENT MULTIWHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A USED FOR THE HAMBURG WHEEL TRACKING TEST IN THE PONTIFICAL BOLIVARIAN UNIVERSITY BUCARAMANGA'S SECTIONAL.**

AUTOR(S): David Hernando Jaimes Muñoz

FACULTY: Civil Engineer Faculty

DIRECTOR: Ing. Msc. Julián André Galvis Flórez

ABSTRACT

With the making of this graduation project was obtained the awaited material whom with can be instructed about the correct procedure for the Hamburg Wheel-Track Test under the conditions presented by the Multi Wheels Hamburg Wheel Tracker B038A equipment; and based on the AASHTO T 324-14 rule, the procedure originated in the geotechnics and pavement laboratory at the Bucaramanga's Pontifical Bolivarian University using a MDC-25 mixture prepared as the INVIAS tell, and as a result a video and a use manual were generated where is described step by step the options that must be followed during the use process of the equipment.

KEYWORDS: Hamburg Wheel Tracking Test, rutting, asphalt mix, bituminous mix.

V° B° WORK GRADE DIRECTOR

1. Introducción

La necesidad de implementar el manual de uso y que en conjunto con el manual operacional del equipo Multi Wheels Hamburg Wheel Tracker B038A, sirva de guía para la realización del ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo de forma sencilla y adecuada a manos de no solo el personal técnico, sino estudiantil también, fue la principal causa por la que se implementaron los procesos necesarios para la obtención de este material.

En el siguiente documento se encontrará el resultado de una serie de eventos en los que se analizó, observó y determinó el adecuado procedimiento a seguir para realizar de manera adecuada el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo sobre dos muestras que siguen especificaciones de diferentes normas, más sin embargo, serán las indicaciones que se presentan en la norma AASHTO T324-14 las que se tuvieron en cuenta para el uso del equipo Multi Wheels Hamburg Wheel Tracker B038A, y lograr así los objetivos propuestos.

2. Objetivos

2.1.Objetivo general

Elaborar un manual de uso del equipo MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A, en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga para la realización del ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo en el laboratorio de geotecnia y pavimentos.

2.2.Objetivos específicos

Determinar el proceso y correcto uso del equipo MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A en el laboratorio de geotecnia y pavimentos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga para la realización del ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo.

Producir el manual de uso del equipo MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A por medio del determinado proceso de uso del equipo en el laboratorio de geotecnia y pavimentos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga para el adecuado proceso del ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo.

Promover el uso del equipo MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga para la realización del ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo por medio del manual de uso, y de un video explicativo del proceso completo.

Capacitar al personal del laboratorio (técnicos y docentes) en el uso del equipo MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A, sobre el adecuado y correcto procedimiento a realizar para el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo.

3. Justificación

Debido a la complejidad del manual de operación y uso entregado conjuntamente con el equipo MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A, al momento de la compra, la necesidad de la elaboración de un manual de uso para entender mejor el proceso que realiza el equipo, las normas por las que se rige, el adecuado manejo de cada uno de los elementos que componen el proceso, entre otros aspectos, es algo primordial para evitar tanto el mal uso por parte de estudiantes y operarios, así como la posible malinterpretación de los resultados.

El inconveniente presentado en la información contenida dentro de los manuales que la empresa ha entregado junto con los equipos, es el idioma en que vienen, parte en inglés y parte en italiano. De igual forma, el manual entrega las instrucciones de una forma muy técnica y precisa, confusa para el entendimiento de los estudiantes que desean aprender acerca del funcionamiento del equipo, o para quienes son principiantes en el uso de este tipo de implementos de laboratorio.

El ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo, o Wheel-Track Test es un ensayo usado para medir el ahuellamiento de mezclas asfálticas en el laboratorio, es decir, dentro de un entorno controlado, donde se pueden simular las condiciones reales de un sitio a las cuales se someterá una mezcla asfáltica en caliente o mezcla bituminosa, condiciones o variables que incluyen el paso repetitivo de una rueda sobre un eje, temperatura, peso, entre otras. Este ensayo es necesario y vital para el diseño de una mezcla asfáltica, pues con él se

determinan elementos como vacíos de aire, pendiente de arrastre, profundidad del ahuellamiento, entre otros.

En una corta comparación de las normas Colombiana, Americana y Europea, se puede observar que tanto la norma Europea (EN) como la norma Colombiana (INVIAS), a comparación de la norma Americana (AASHTO), usan una rueda de goma, mas no una de acero, lo cual produce resultados diferentes al término del ensayo o del procedimiento, pues los procesos varían; aunque cabe resaltar que gracias a los procedimientos allí descritos, se puede medir el ahuellamiento sobre la probeta con distintas especificaciones, teniendo en cuenta como principal objetivo los resultados adecuados para lograr un diseño de mezcla óptimo según las condiciones ambientales del sitio donde se instalará la mezcla.

A causa de las razones ya presentadas por las cuales existen inconvenientes para el adecuado uso del equipo adquirido por la Universidad, la necesidad de que los estudiantes y beneficiados con ésta adquisición sea solucionada, es de gran importancia que exista un manual de uso que contenga los elementos necesarios para que quien tenga la necesidad de realizar el ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo, sea capaz de realizarlo con éxito y sin presentar ningún inconveniente o accidente durante el proceso, de manera eficaz y con la capacidad de entender cada uno de los pasos del proceso.

4. Marco teórico

4.1. Pavimentos

“Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmite durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.”

(Montejo Fonseca A. 2002 Bogotá D.C.).

Figura 1-Estructura del pavimento



Fuente: Gutierrez Graf. F (2004)

4.2. Clasificación de mezclas asfálticas (carpeta asfáltica)

Existen varios tipos de mezclas asfálticas, que según sus características se pueden clasificar en varias categorías, tal y como se muestra en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1-Parámetros de clasificación de mezclas asfálticas

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla	
Fracciones de agregado empleadas	Masilla	Polvo mineral + Ligante asfáltico
	Mortero	Agregado fino + Masilla
	Concreto	Agregado grueso + Mortero
	Macadam	Agregado grueso + Ligantes asfáltico
Temperatura de puesta en obra	En Frio	
	En Caliente	
Huecos en la mezcla (h) / Proporción de vacíos	Densa o Cerrada	$h < 6\%$
	Semi-densa o Semi-cerrada	$6 < h < 12\%$
	Abierta	$12 < h < 20\%$
	Drenante o Porosa	$h > 20\%$
Tamaño máximo del agregado (t max)	Gruesa	t max >10 mm
	Fina	t max <10 mm
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral	
	Sin esqueleto mineral	
Granulometría	Continuas	
	Discontinuas	

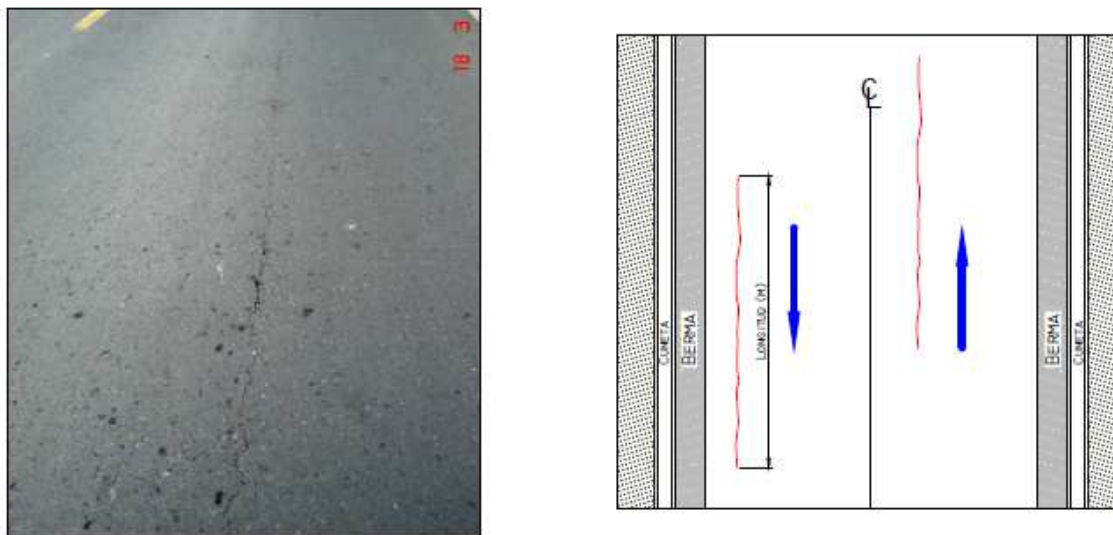
Fuente: PADILLA, Alejandro (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Universidad de Politécnica de Cataluña.

4.2. Tipos de fallos en Pavimentos Flexibles

Se pueden presentar 4 tipos de fallos en la estructura de un pavimento: Fisuras, Deformaciones, Pérdida de capas estructurales y Daños superficiales. Dentro de cada una

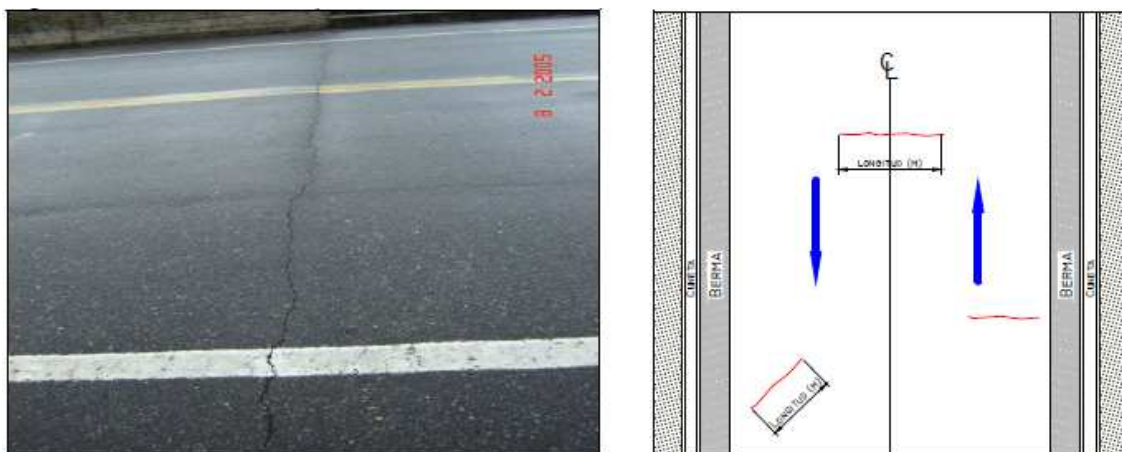
de esas categorías se pueden encontrar diferentes factores que se han establecido por diferentes medios, a continuación, mostraré varios de ellos documentados en el “ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES” (Universidad Nacional de Colombia, Instituto Nacional de Vías, 2006). Los tipos de fallas se pueden clasificar en baja, media o alta dependiendo de su severidad, estado, daño, medidas, entre otras características posibles de observar en una inspección vial.

Figura 2- Fisura Longitudinal



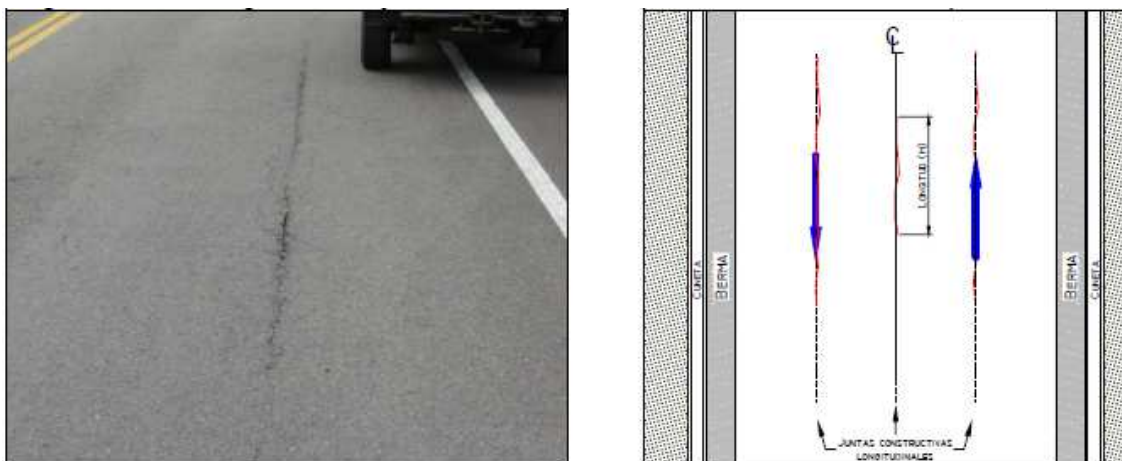
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 3-Fisura Transversal



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 4- Fisura Longitudinal en Junta de Construcción



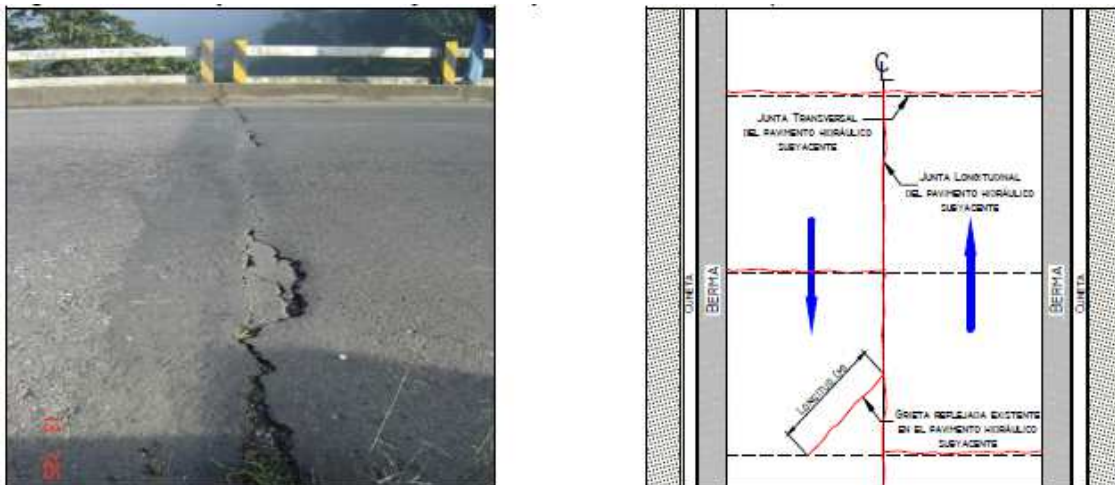
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 5-Fisura Transversal en Junta de Construcción



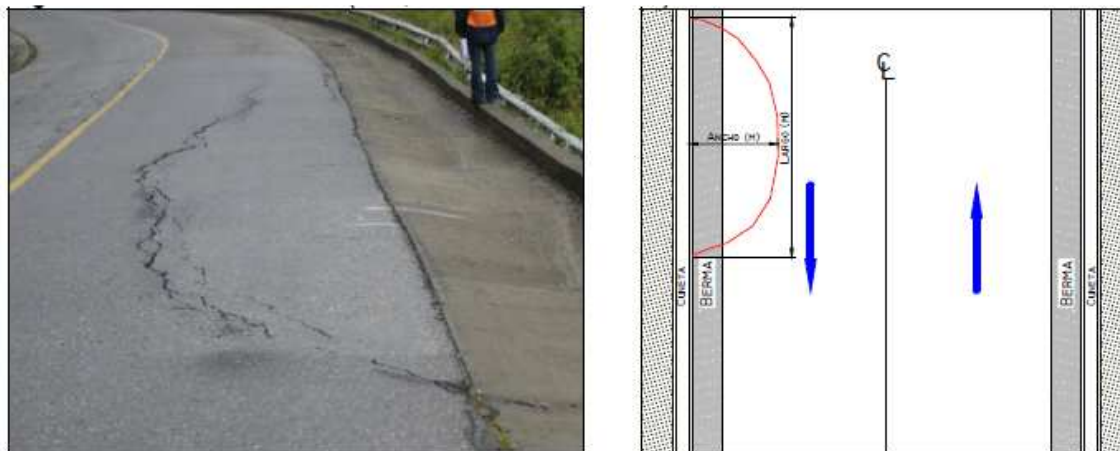
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 6-Fisuras por Reflexión de Juntas en Placas de Concreto



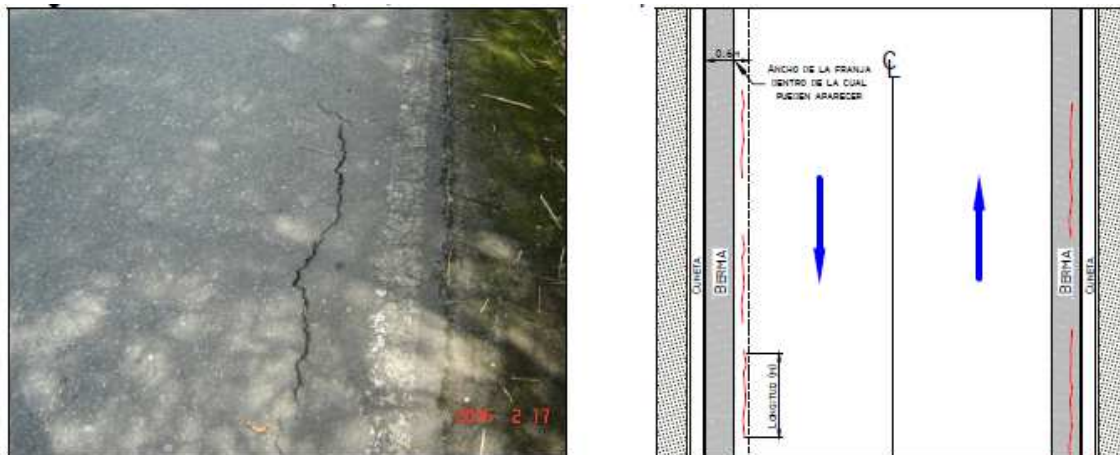
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 7-Fisura en Media Luna



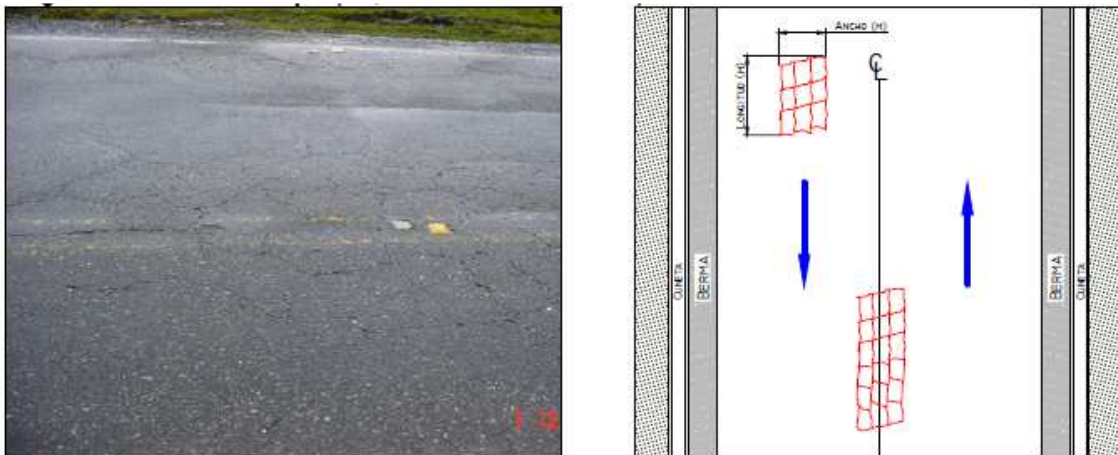
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 8-Fisura de Borde



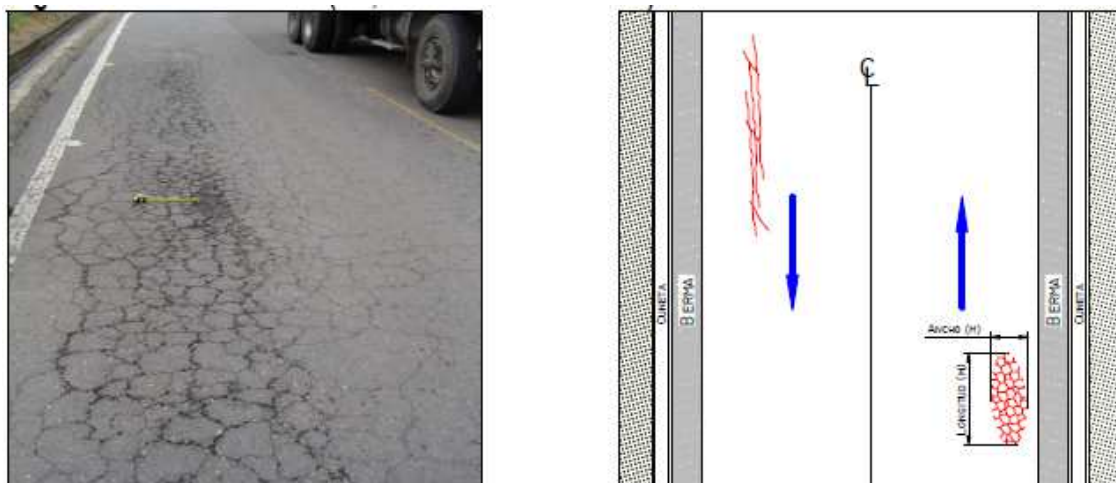
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 9-Fisura en Bloque



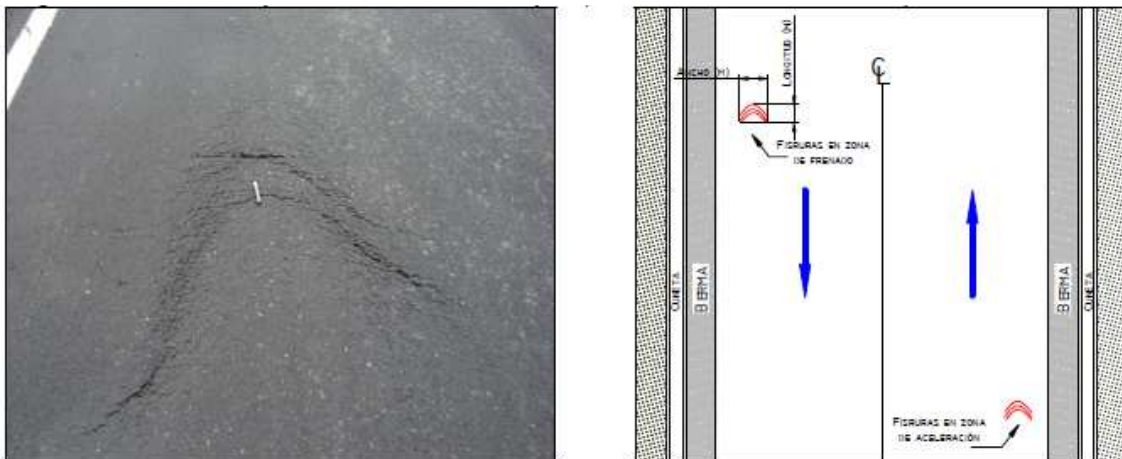
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 10-Piel de Cocodrilo



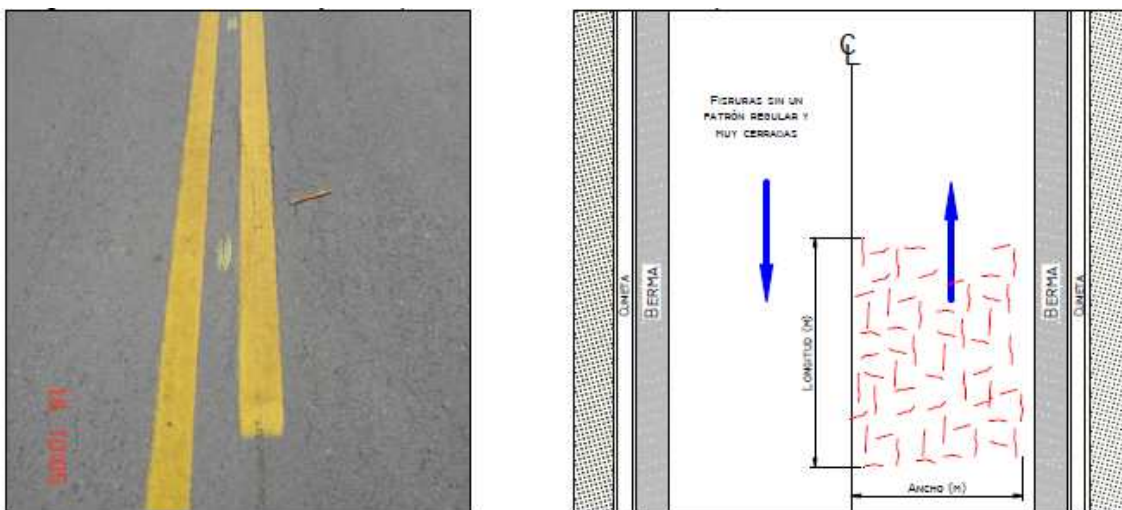
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 11-Fisura por Deslizamiento de Capas



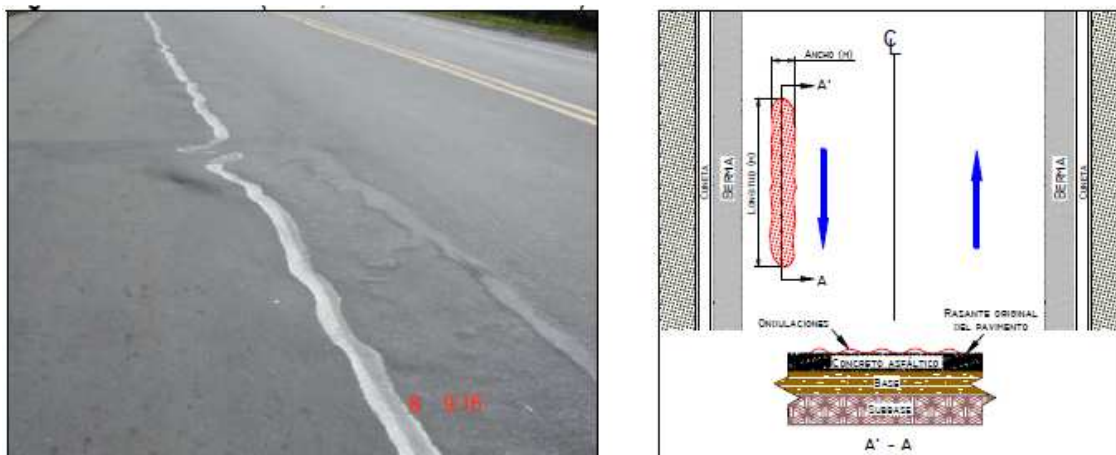
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 12-Fisuración Incipiente



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 13 -Ondulación



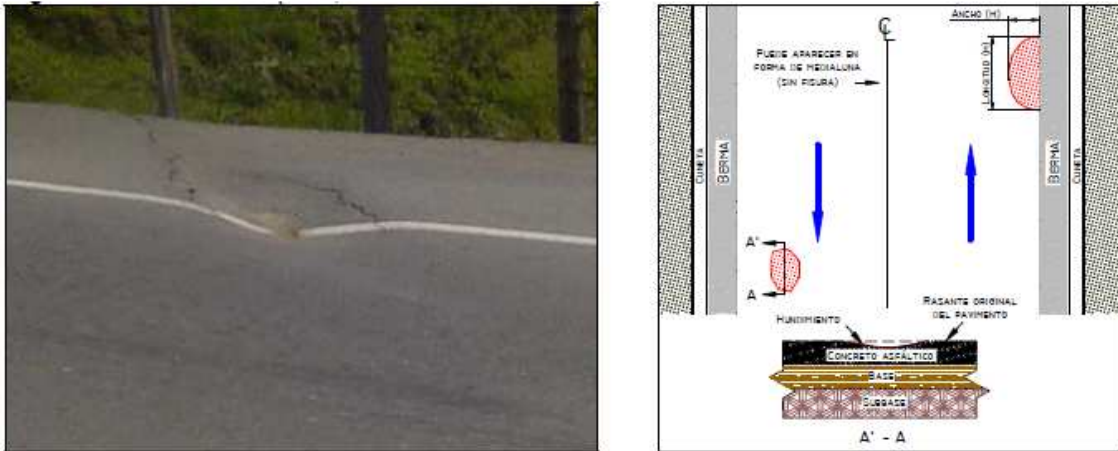
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 14-Abultamiento



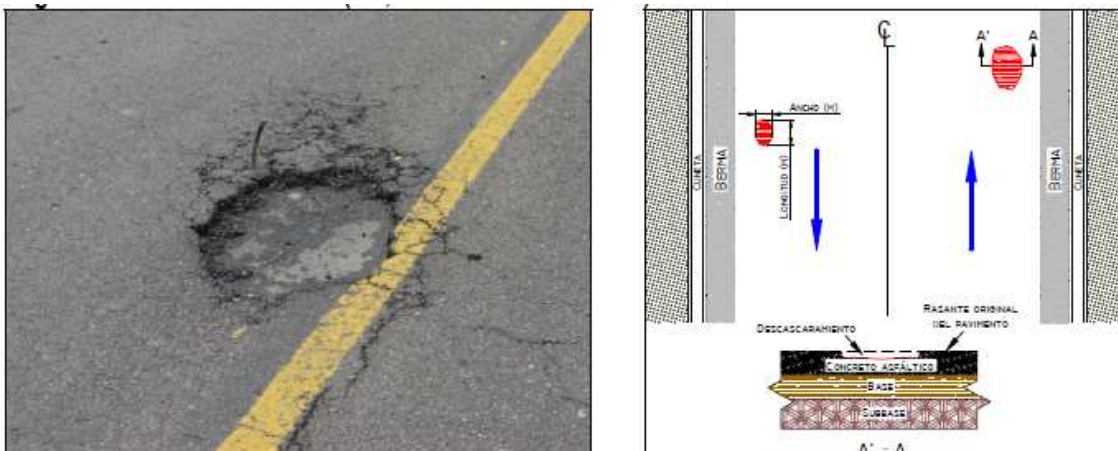
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 15-Hundimiento



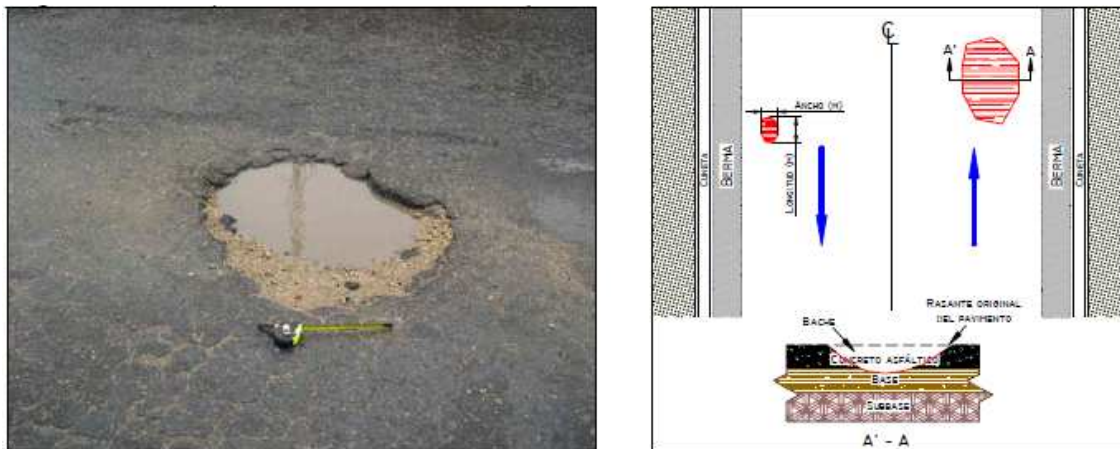
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 16-Descascaramiento



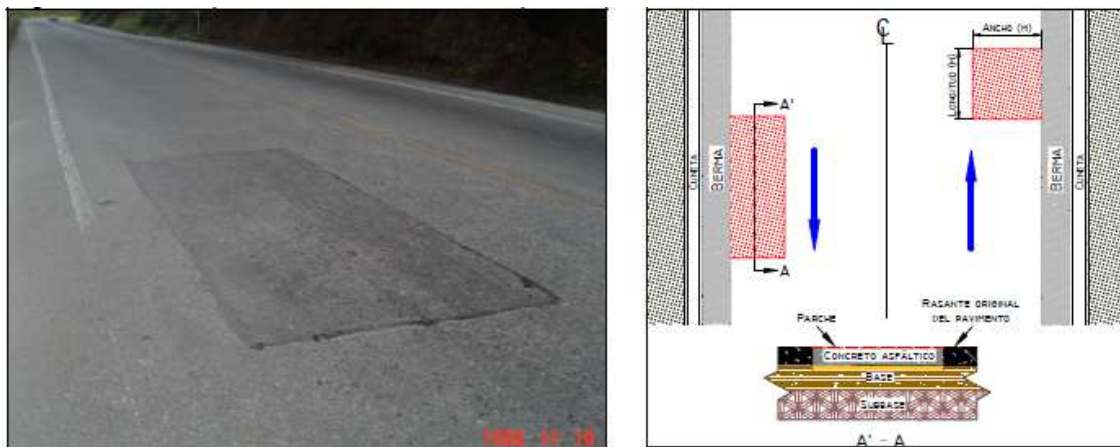
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 17-Bache



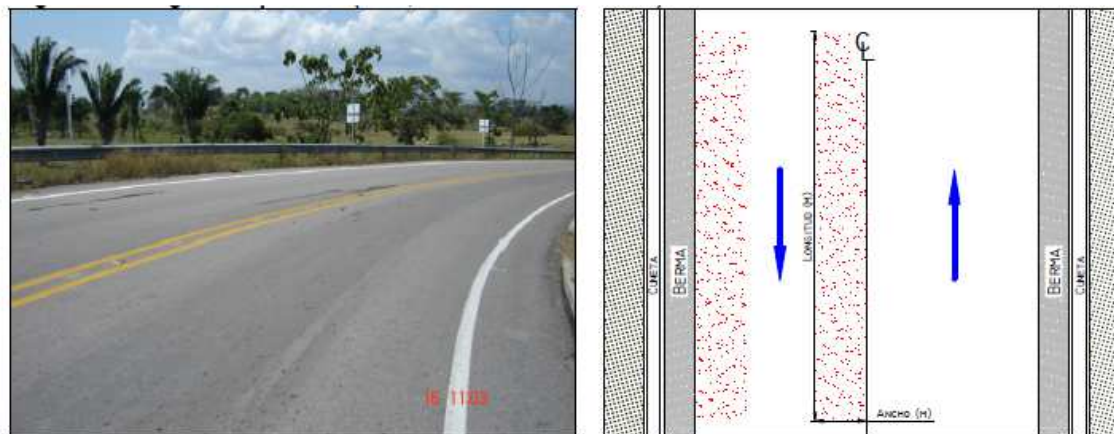
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 18-Parche



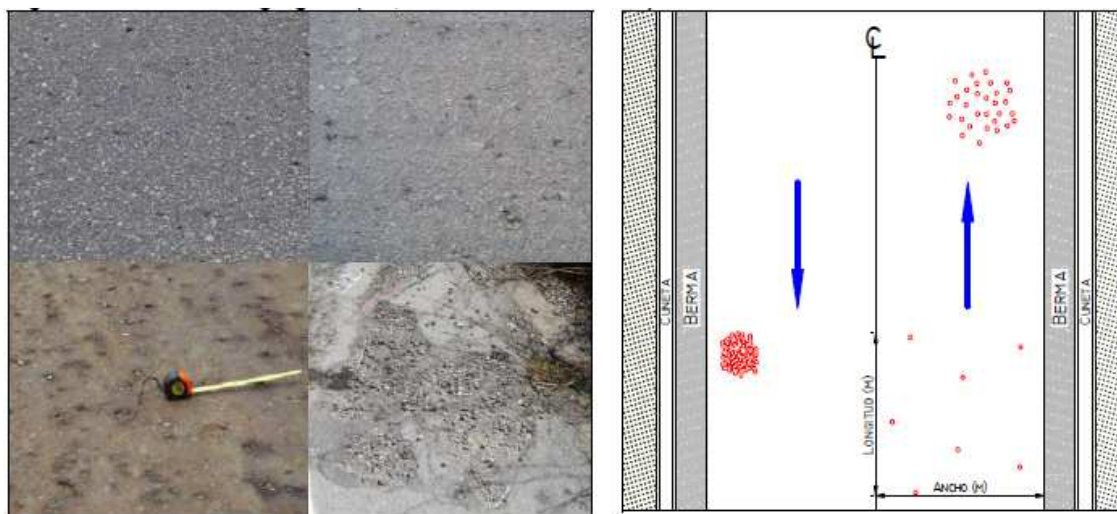
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 19-Desgaste Superficial



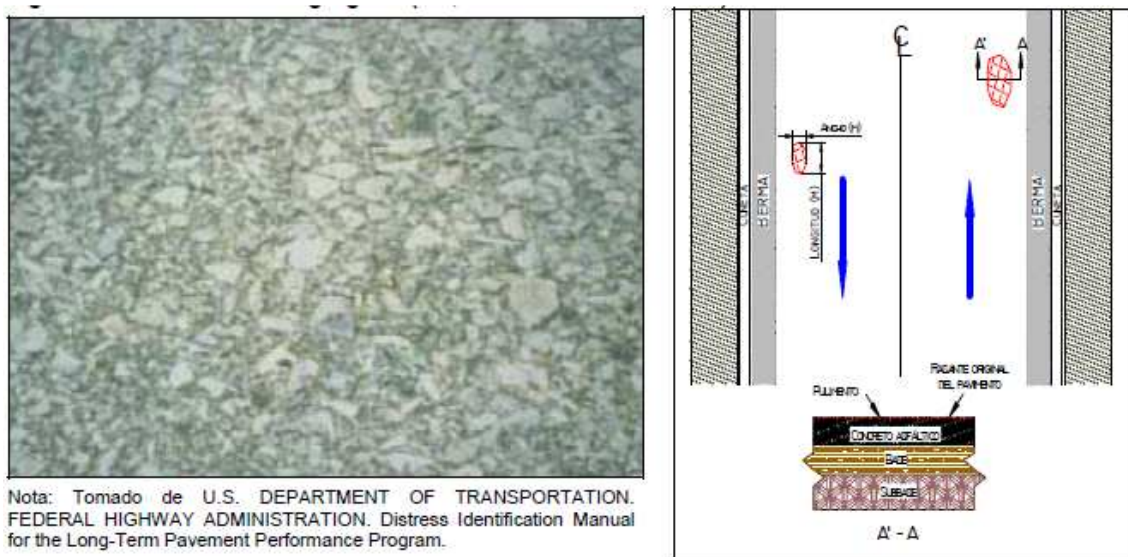
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 20-Pérdida de Agregado



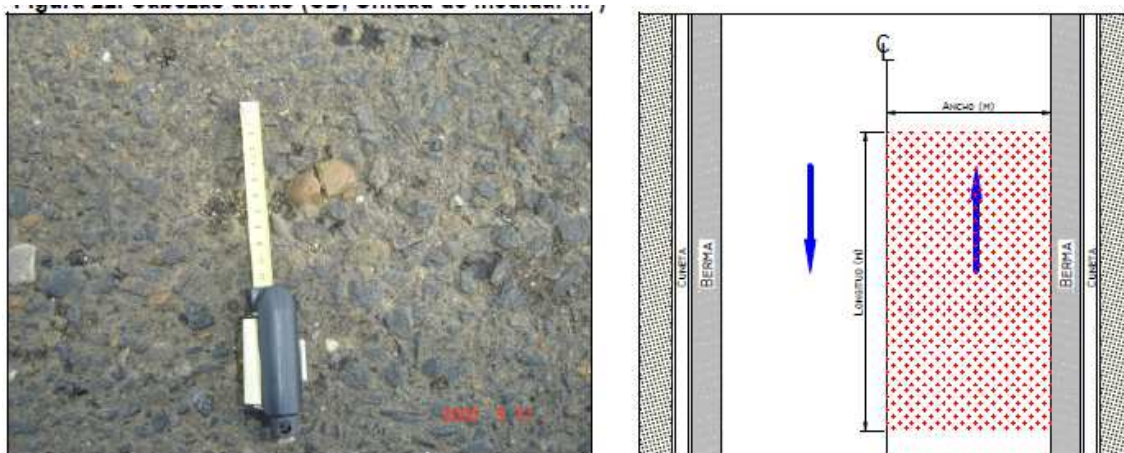
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 21-Pulimento del Agregado



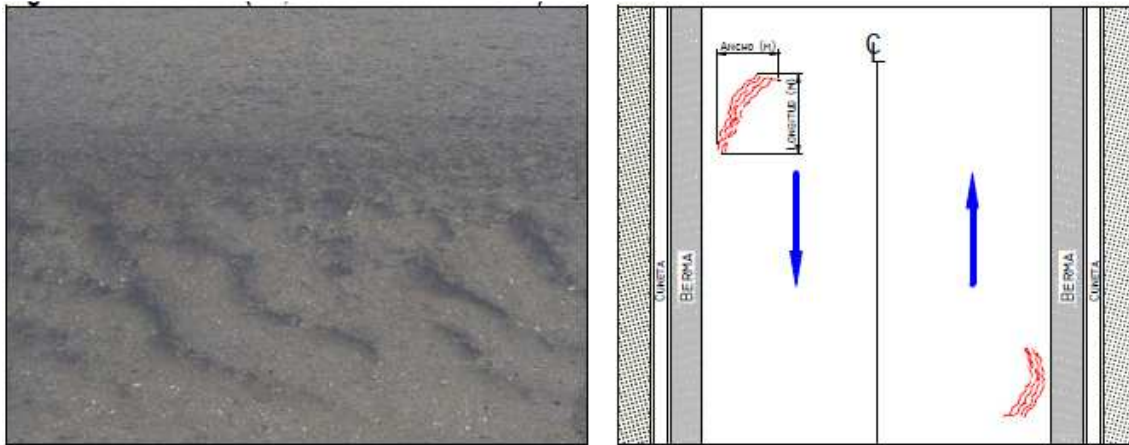
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 22-Cabezas Duras



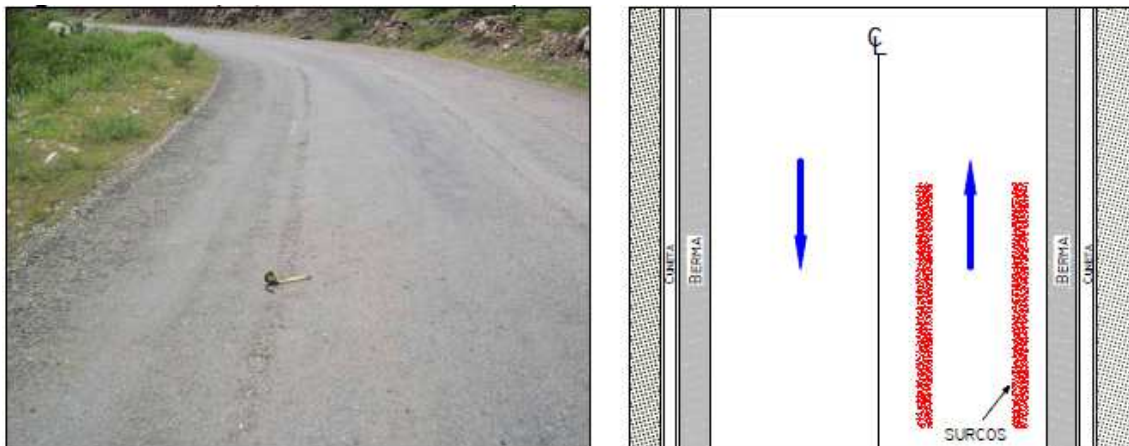
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 23-Exudación



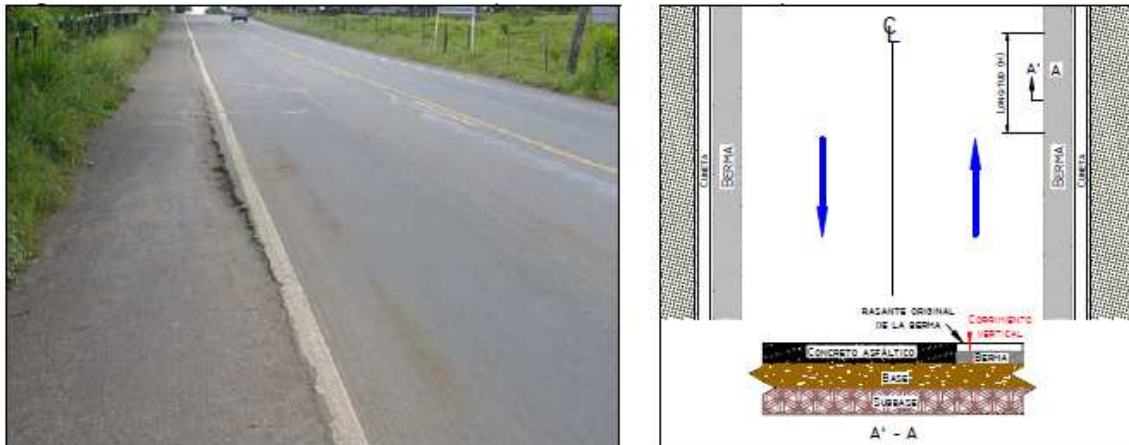
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 24-Surcos



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 25-Corrimiento Vertical de la Berna



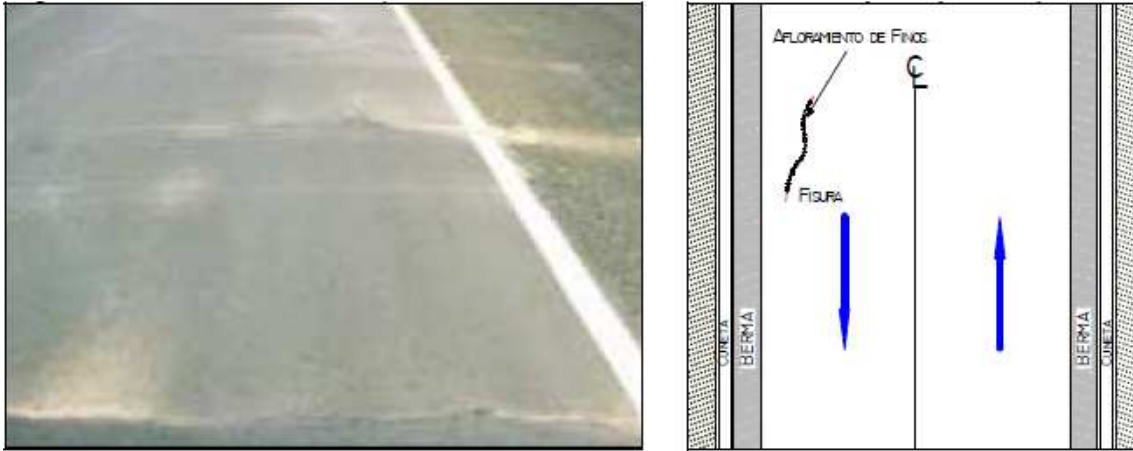
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 26-Separación de la Berna



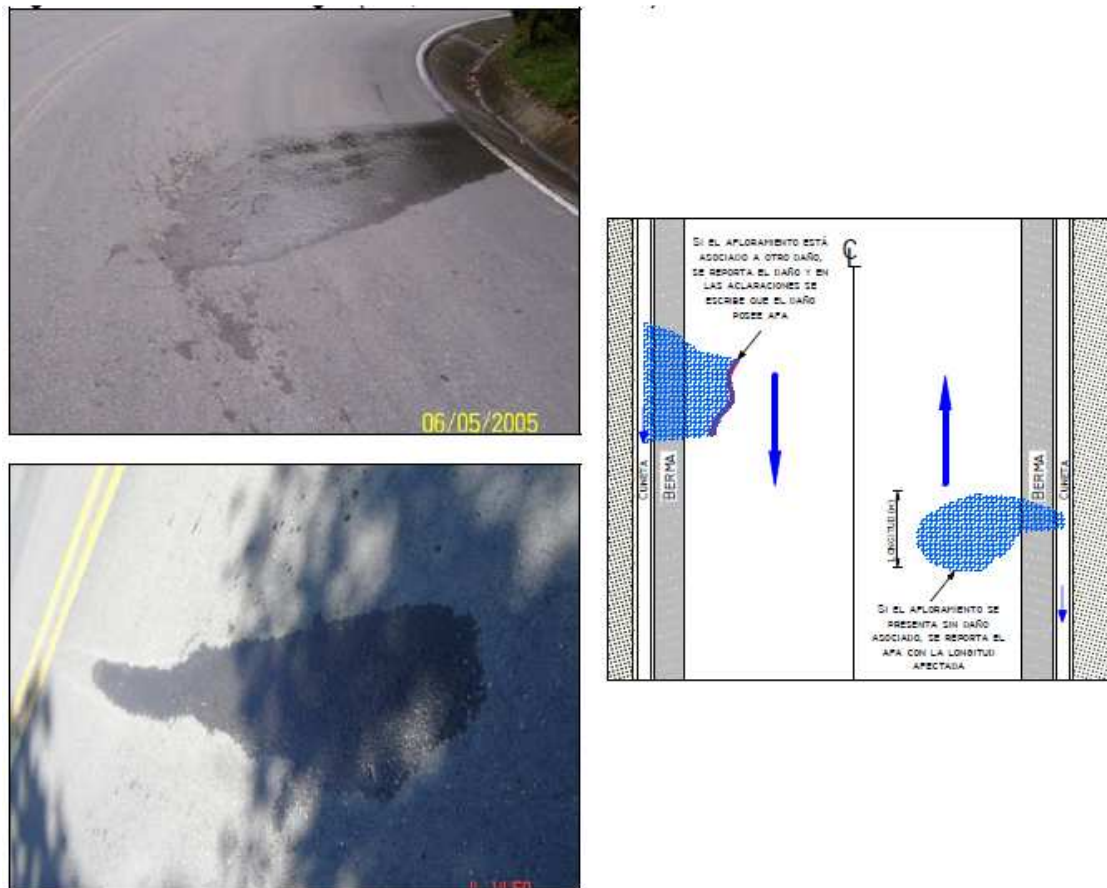
Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 27-Afloramiento de Finos



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Figura 28-Afloramiento de agua



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

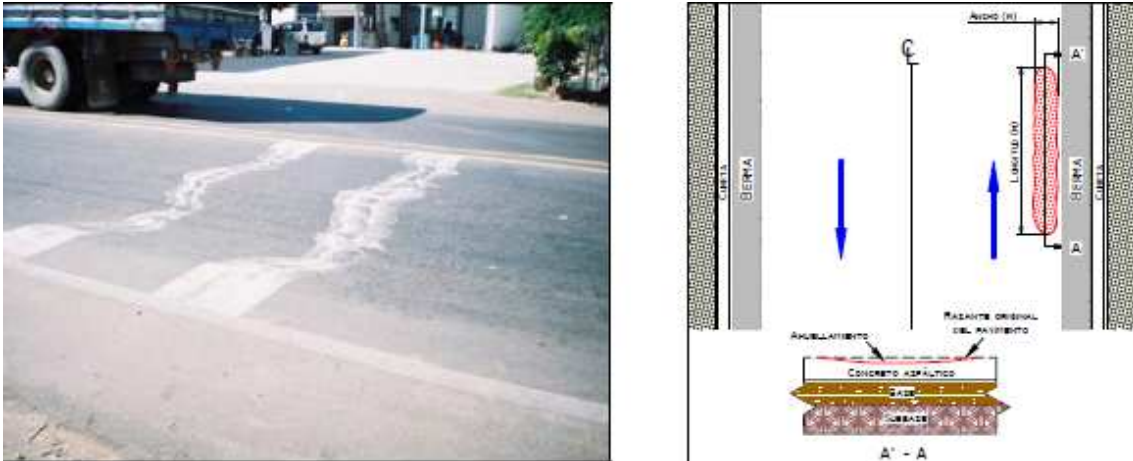
4.3.Ahuellamiento¹

Es una depresión o hundimiento que afecta la estructura del pavimento a la altura de la superficie, y generalmente es causada por el repetido paso de las llantas de los vehículos

¹ Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES p. 20.

sobre un mismo sector, lo que genera que las áreas adyacentes a esta trayectoria se eleven simulando un abultamiento.

Figura 29-Ahuellamiento



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El ahuellamiento en muchas ocasiones genera que los vehículos hidro-planeen debido a la acumulación del agua en este tipo de falla. La causa principal de la aparición de este tipo de falla se debe a la deformación permanente de una de las capas del pavimento o de la subrasante, por medio de la deformación plástica del concreto asfáltico o la deformación de la subrasante por la fatiga de la estructura producto de la repetición de cargas.

4.3.1. Factor crítico del ahuellamiento

El factor crítico para la aparición del ahuellamiento en la estructura del pavimento tiende a agravarse o aumentar cuando se encuentra en climas cálidos, áridos o existe infiltración,

sumado a las altas temperaturas, también es posible que se deba a la mala compactación de las capas de la estructura, el uso de asfaltos blando o agregados redondeados, o de igual forma puede ser debido a un mal proceso de diseño evidente por el alto flujo vehicular con cargas muy elevadas.

Figura 30-Severidad del Ahuellamiento

<p>Severidades:</p> <ul style="list-style-type: none">• Baja: Profundidad menor que 10 mm.• Media: Profundidad entre 10 mm y 25 mm.• Alta: Profundidad mayor que 25 mm.
--

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS – MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

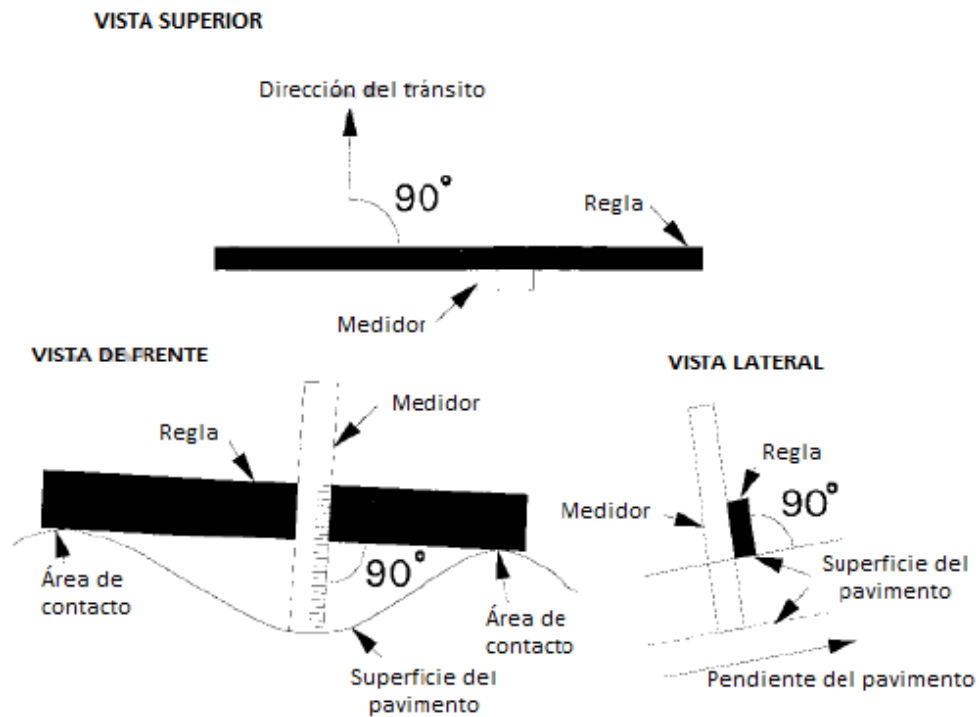
Dentro de los métodos posibles para medir el ahuellamiento como se presenta en el documento anteriormente mencionado en el capítulo 4.2. Tipos de fallos en pavimentos flexibles, que se presentó como cooperación entre la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA y el INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS), no se especifica cual fue el actualmente usado en el desarrollo del documento, más se puede suponer que puede haber sido uno de los correspondientes a las normas INVIAS INV E 790-13 - “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI) PARA MEDIR LA RUGOSIDAD (IRREGULARIDADES DE LA SUPERFICIE) DE PAVIMENTOS”, donde se usan equipos de alto rendimiento como el perfilómetro óptico

o el láser, o de bajo rendimiento como un nivel y mira (equipos topográficos) o un perfilómetro portátil (con inclinómetro) para medir las deflexiones en la estructura del pavimento y poder determinar el ahuellamiento del objeto de estudio, o la norma INVIAS INV E 798-13 – “MÉTODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)”, método que se usa de igual forma para medir las deflexiones sobre la estructura del pavimento aplicando una carga sobre la superficie del pavimento, y donde estas deflexiones se pueden correlacionar directamente al comportamiento del pavimento, las capas que lo conforman o la estructura.

Este documento se entrega como un informe donde se presenta el estado vial del país, mas no especifica que lugares son los que se evalúan, sino la forma de presentar los resultados de los lugares que se examinaron, y la forma como otros lugares que se pueden tener en observación serán identificados, y a su vez, los tipos de fallas y demás conclusiones serán representados como resultados.

Existe también la posibilidad de que se haya usado el método descrito en la norma INVIAS INV E 789-13 – “MEDIDA DEL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS”, método usado para la medición del ahuellamiento en superficies asfálticas en Colombia con equipos de alto y bajo rendimiento como los ya mencionados, viendo que con este método se debe tener en cuenta los criterios mencionados a continuación para su medición.

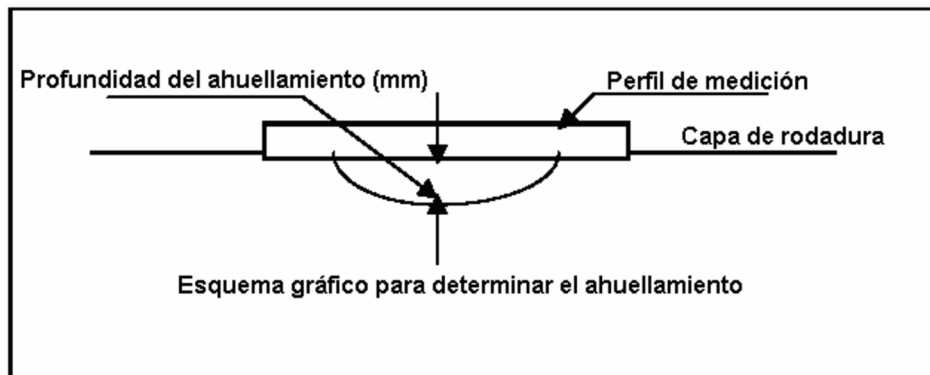
Figura 31-Medida de la profundidad de una huella empleando una regla



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 789-13 – MEDIDA DEL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS.

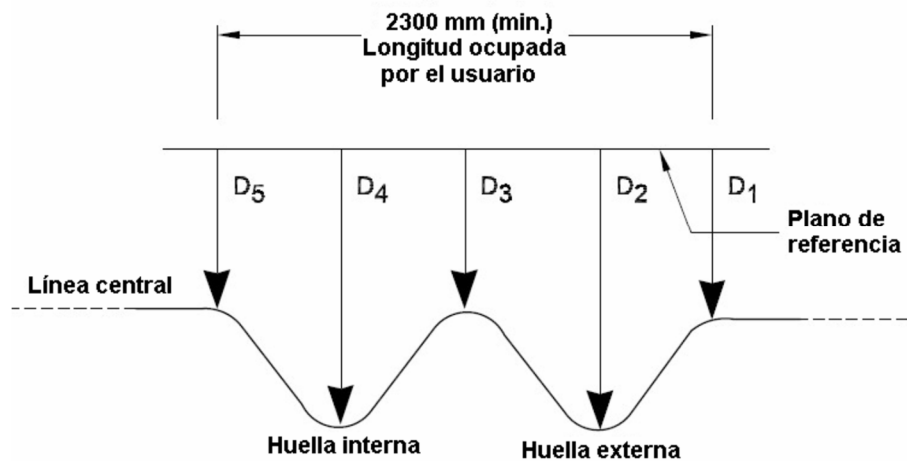
La versión anterior de la norma INVIAS INV E 789, la INV E 789-07 – “MÉTODO PARA MEDIR EL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS”, no mostraba el anterior método para realizar la medición del ahuellamiento; antes de la actualización de las normas INVIAS, ésta daba a conocer los siguientes métodos con los que se podía medir el ahuellamiento de una superficie pavimentada en campo, y donde luego de su actualización, dejaron de ser tenidos en cuenta.

Figura 32-Esquema gráfico para la medición del ahuellamiento



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 789-07 – MÉTODO PARA MEDIR EL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS.

Figura 33-Método alternativo de los cinco puntos



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 789-07 – MÉTODO PARA MEDIR EL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS.

Según la norma INVIAS INV E 813-13 – “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR”, se consideran dos tipos de deterioro o fallo, los de tipo A son

caracterizados por la condición estructural del pavimento, dentro de los cuales se encuentra el ahuellamiento, y los de tipo B, que se originan en deficiencias constructivas y en condiciones en los que se ponen en evidencia gracias al tránsito, lo que genera que sean en su mayoría de tipo funcional.

Tabla 2-Deterioros de tipo A

Nombre del deterioro	Código	Unidad de medida
Ahuellamiento	AH	m
Depresiones o hundimientos longitudinales	DL	m
Depresiones o hundimientos transversales	DT	m
Fisuras longitudinales por fatiga	FLF	m
Fisuras piel de cocodrilo	FPC	m
Bacheos y parcheos	B	m

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 813-13 – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR.

Para lograr una adecuada clasificación de la mezcla usada, la norma INV E 813-13 especifica 3 niveles de gravedad para el deterioro que pueda presentar la carpeta asfáltica, los cuales se muestran en la tabla 3 a continuación, donde se pueden ver según la profundidad del ahuellamiento, cómo es posible describir cada uno de los niveles correspondientes. A comparación de otros tipos de falla donde estas pueden extenderse a

lo largo de los carriles de la vía, para el ahuellamiento no es necesario realizar un promedio ponderado sobre los niveles de gravedad del deterioro en su trayecto, pues éste tipo de fallos se presentan en secciones cortas.

Tabla 3-Niveles de gravedad para deterioros tipo A

Deterioro	Nivel de Gravedad		
	1	2	3
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante, Prof. < 20 mm.	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos, $20 \text{ mm} \leq \text{Prof.} \leq 40 \text{ mm}$.	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios, Prof. > 40 mm.
Grietas longitudinales por fatiga	Grietas finas en la huella de rodamiento < 6 mm.	Grietas abiertas y a menudo ramificadas.	Grietas muy ramificadas y/o muy abiertas. Bordes de grietas ocasionalmente degradados.
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas (> 500 mm) con grietas finas, sin pérdidas de materiales.	Mallas más densas (< 500 mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescados en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (< 200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales.
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros tipo B.	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A.	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación.	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas.

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 813-13 – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR.

5. Antecedentes

La Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, dentro del proceso de obtener la acreditación de alta calidad, tanto para la carrera de Ingeniería Civil, como la acreditación Multicampus, ha venido mejorando sus procesos tanto administrativos, como estudiantiles y los servicios que presta a los entes o personas externas, tales como los ensayos de laboratorio, pues de estos servicios también se pueden obtener beneficios dentro del ámbito comercial al obtener reconocimientos y excelentes resultados.

Dentro de este proceso, uno de los equipos adquiridos por la universidad es el DTS-30, 30KN SERVO-HYDRAULIC DYNAMIC TESTING SYSTEM (Sistema de Prueba Dinámica DTS-30) B230 de PAVETEST, equipo con el cual se pueden realizar ensayos de Módulo dinámico, Módulo resiliente bajo tracción indirecta, Fatiga bajo tracción indirecta y Deformación permanente bajo compresión axial.

El DTS-30, al ser un equipo complejo, y que requiere de gran cantidad de detalles e indicaciones para su correcto uso, funcionamiento y obtención de resultados la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, decidió por medio del trabajo de grado de un estudiante, realizar el manual de uso para este equipo. El trabajo de grado fue titulado: “ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE USO PARA EL EQUIPO MARCO DE CARGA DINÁMICO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DTS-30 DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA” por HERRERA VARGAS, Carlos Mauricio, y dirigido por la Ing. MSc. SOLARTE VANEGAS, Norma Cristina.

Figura 34-DTS-30 SERVO-HYDRAULIC DYNAMIC TESTING SYSTEM (Sistema de Prueba Dinámica DTS-30).



Fuente: PAVETEST - 30KN SERVO-HYDRAULIC DYNAMIC TESTING SYSTEM B230 /
<http://www.pavetest.com/es/Products/no-sector/no-macrocat/no-cat/B230-dynamic-testing-system-dts-30>.

Otro equipo al cual se le implementó un manual de usuario con el fin de entender mejor su uso, y realizar mejor sus procesos es el SERVO PNEUMATIC FOUR POINT BENDING (4PB) SYSTEM. El manual fue desarrollado como trabajo de grado bajo el título: “ELABORACIÓN DEL MANUAL DEL EQUIPO PAVETEST EN EL ÁREA DE PAVIMENTOS CON NORMATIVAS COLOMBIANAS INTEGRANDO EL ENSAYO DE LEYES DE FATIGA PARA VIGA DE CUATRO PUNTOS”, realizado por los estudiantes PRADA MEJÍA, Jonny Octavio y VILLAMIZAR RODRIGUEZ, Jose Armando y dirigido por la Ing. MSc. SOLARTE VANEGAS, Norma Cristina.

Figura 35-SERVO-PNEUMATIC FOUR POINT BENDING (APB) SYSTEM



Fuente: PAVETEST - FOUR POINT BENDING APPARATUS, STAND-ALONE, SERVO-PNEUMATIC /
<http://pavetest.com/en/Products/no-sector/no-macrocat/no-cat/B210-4PB-STAND-ALONE-SERVO-PNEUMATIC-FOUR-POINT-BENDING-20SYSTEM>.

Actualmente, existen otros dos manuales de uso para dos equipos más dentro del laboratorio de geotécnia y pavimentos, realizados como parte de proyectos de grado, uno de ellos fue realizado para el equipo ACCELERATED POLISHING MACHINE - MATEST MADE, cuyo manual fue titulado como “DESARROLLO DEL MANUAL DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA DE PULIMENTO ACELERADO”, realizado por el estudiante LEÓN URIBE, Cristian Josué, dirigido por el Ing. MSc. GALVIS FLÓREZ, Julián André.

Figura 36-Máquina de pulimento acelerado



Fuente: MATEST - ACCELERATED POLISHING MACHINE - MATEST MADE /
<http://www.matest.com/es/Products/agregados-rocas/Macro-Category/determination-of-frictional-properties-and-polished-stone-value-0/a128n-accelerated-polishing-machine---new-matest-design-0>.

El otro equipo que también fue objeto de la realización de un manual de uso, fue el equipo ASPHALT ROLLER COMPACTOR (ARC), cuyo manual fue desarrollado bajo el título de “DESARROLLO DEL MANUAL DE USO DEL ROLLER COMPACTOR PARA EL LABORATORIO DE GEOTÉCNIA Y PAVIMENTOS”, realizado por los estudiantes OCHOA SANABRIA, Fabio Andrés y VARGAS OSORIO, Nicolás Andrés y dirigido igualmente por la Ing. MSc. SOLARTE VANEGAS, Norma Cristina.

Figura 37- ASPHALT ROLLER COMPACTOR (ARC)



Fuente: Instrotek Inc - Asphalt Roller Compactor /
<https://www.instrotek.com/products/asphalt-roller-compacto.r>.

Adicional a esto, la Universidad en el año 2015, solicitó la adquisición de otros equipos usados para realizar las siguientes pruebas o ensayos:

Compactador giratorio

Compactador automático para CBR y Proctor

Compactador para ensayo Marshall

Mezcladora de asfalto

Cortadora

Viscosímetro

Máquina de ensayo de pulimiento acelerado

Péndulo para resistencia al deslizamiento de las superficies de rodadura

Péndulo fricción

10% finos

Cabina extractora

Estos son algunos de los equipos adquiridos por la universidad dentro del proceso de mejora de los laboratorios. Una lista más específica para el área de pavimentos, proporcionada por la empresa comercializadora TAP Tecnologías incluye:

SUPERPAVE GYRATORY COMPACTOR - MATEST.

SMARTRACKER MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER -
MATEST.

AUTO CBR/PROCTOR COMPACTOR - MATEST.

AUTOMATIC MARSHALL COMPACTOR - MATEST.

PAVEMIX AUTOMATIC ASPHALT MIXER (30 LITRES) - MATEST.

SPECIMEN CUTTING MACHINE - MATEST.

RHEOMETER RVDV3T TOUCH SCREEN BROOKFIELD.

ACCELERATED POLISHING MACHINE - MATEST.

SKID RESISTANCE AND FRICTION TESTER (BRITISH PENDULUM)
- MATEST.

Kit para la Determinación del 10% de Finos.

De los anteriores equipos mencionados, no a todos se les contempló la posibilidad de la realización de un manual de uso, pues varios de ellos, a pesar de ser de uso complicado, su funcionamiento es más sencillo, y con las indicaciones adecuadas, se puede obtener un excelente resultado sin la necesidad de un manual de uso más específico como el requerido

por equipos como el de la Rueda cargada de Hamburgo, o el Compactador Giratorio y el DTS-30 (solo referente al laboratorio de geotecnia y pavimentos, en el área de pavimentos).

6. Metodología

El ahuellamiento es un tipo de deformación que presenta el pavimento como resultado de una fatiga en la estructura de éste, y se presenta como una depresión acorde con la trayectoria de las llantas de los vehículos que transitan por la vía, adicional a esto, se presentan elevaciones en las áreas adyacentes a la zona que se deprimió, junto con fisuras.

Existen diferentes métodos o ensayos para calcular el ahuellamiento en las estructuras de pavimentos, el método seleccionado para la medición de este tipo de deformación en las mezclas asfálticas, es el planteado dentro de la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) T 324 – 14, “STANDARD METHOD OF TEST FOR HAMBURG WHEEL-TRACK TESTING OF COMPACTED HOT MIX ASPHALT (HMA)”, pues el equipo MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A utiliza la metodología de esta norma en conjunto con la norma europea EN 12697-22, “BITUMINOUS MIXTURES - TEST METHODS FOR HOT MIX ASPHALT - PART 22: WHEEL TRACKING”, más es la norma AASHTO T 324-14, es la adecuada como guía en este caso, debido a los accesorios utilizados en el manual de operación del equipo, accesorios indicados para el uso de ésta metodología; no se tuvo en cuenta la norma EN para este proceso, pues los accesorios necesarios para el ensayo no están instalados en el equipo, pues no fueron adquiridos por la universidad.

Aunque existe la norma INVIAS INV E 756-13 - “RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO” para la realización del ensayo de la Rueda

Cargada de Hamburgo en Colombia, no es posible la utilización de esta norma en el ensayo sobre el equipo, más si es posible tenerla como referencia colombiana; y a pesar de que el principal objetivo de esta norma es hallar la resistencia a la deformación plástica de la mezcla, se puede medir el ahuellamiento durante el proceso.

La diferencia existente entre las tres normas mencionadas reside principalmente en los tamaños de las muestras que se emplean debido al tamaño de los moldes y el equipo en que se realiza el ensayo. Las normas AASHTO y EN usan parámetros similares a los cuales se someterán las probetas, siendo diferentes solo en el énfasis del ensayo (tamaño de la muestra, molde, accesorios del equipo para adaptar según la condición deseada, la inyección de aire caliente o la inmersión de la muestra en agua a temperatura controlada); aun así, al haber sido ambas normas la referencia para la fabricación del equipo, mencionan solo las condiciones de las muestras de su homóloga, es decir, la norma EN profundiza las condiciones de la muestra rectangular, y menciona las condiciones de las muestras cilíndricas; a su vez, la norma AASHTO profundiza las condiciones de las muestras cilíndricas, y menciona las condiciones para la muestra rectangular.

La norma colombiana INVIAS no se asemeja en mucho al proceso adoptado por las normas AASHTO y EN debido a las condiciones aplicadas a la muestra, más su semejanza es evidente en la forma de la muestra detallada en la norma EN, solo por la forma; aunque en la mayoría de los otros aspectos si difiere de las otras normas, varios de estos aspectos son descritos en la siguiente tabla:

Tabla 4-Comparación de las características de las normas INVIAS, AASHTO y EN usadas para el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo en Colombia

Aspecto / Característica	Norma		
	Colombiana - INVIAS (INV E 756-13)	Estado Unidense (Americana) – AASHTO (AASHTO T 324-14)	Europea – EN (EN 12697-22)
Condiciones ambientales de la muestra	Muestra caliente, luego se controla la temperatura del ambiente con el sistema de calefacción de la cámara	Inmersión de la muestra a temperatura controlada, o aire a temperatura ambiente (temperatura controlada si se tienen los accesorios necesarios para este proceso)	Inyección de aire a temperatura controlada, o inmersión de agua con temperatura controlada
Ensayo	Colocación manual de la muestra y proceso solo manual	Colocación manual de la muestra, y proceso automático luego de ingresar las condiciones necesarias, o proceso manual	
Temperatura	60° C \pm 1° para todo tipo de mezclas (puede variar solo si es un caso especial)	Temperatura variable dependiendo de las condiciones requeridas y del lugar donde se implementará la muestra, la temperatura mínima será de 25° C \pm 1° y máxima de 70° C \pm 1°	
Tiempo de pre-condicionamiento de la muestra	4 horas en el horno a 60° C \pm 2°, y 2 horas antes de finalizar este proceso, se debe encender la cámara termostática del equipo para controlar la temperatura del ambiente durante el	30 min. o máximo 60 \pm 5 min.	

	ensayo, y luego de ingresar la muestra, se deben esperar otros 30 minutos para climatizar el ensayo y dar inicio a éste		
Tiempo de duración del ensayo	Después del pre-condicionamiento de la muestra, máximo 120 min. (2 horas)	Después del pre-condicionamiento de la muestra, máximo	
Cantidad de pasadas	Las que registre el ensayo hasta alcanzar el ahuellamiento esperado o las que se registren hasta la finalización de los 120 minutos	Las que registre el equipo hasta alcanzar el ahuellamiento esperado o máximo 20000 pasadas	
Velocidad	Se halla la velocidad del ensayo en tres intervalos, de 30 a 45 minutos, de 75 a 90 minutos y de 105 a 120 minutos	Se da en pasadas por minuto, varía dependiendo de la necesidad del ensayo, aunque se recomienda que sea de 52 pasadas/minuto	
Diámetro de la rueda	20 cm	20,32 cm	20,32 cm
Material de la rueda	Acero	Acero	Caucho
Presión aplicada por la rueda	$900 \pm 25 \text{ KN/m}^2$	$705 \pm 4.5 \text{ N}$	

Toma de resultados	Manual	Automática	
Forma de la muestra	Cuadrada	2 cilindros	Rectangular

Fuente: Elaboración propia, normas de referencia – Normas INV E 756-13, Norma ASHTO T 324-14

En adición a esto, la metodología a seguir para la elaboración de este proyecto de grado, se basó en los siguientes parámetros:

1. Revisión bibliográfica antes y durante todo el proceso del proyecto, pues constantemente se presentaban dudas que necesitaban ser solucionadas.
2. aclaración de los procedimientos y obtención de la teoría necesaria para el desarrollo del ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo, descrito en las diferentes normas nacionales o internacionales, en conjunto con aquellas que complementan el proceso del ensayo, o las que son necesarias para la preparación de las muestras o la continuación del ensayo.
3. Determinación de los pasos a seguir, basados en lo descrito por los procesos que contienen las normas halladas durante la búsqueda de la documentación necesaria para la realización del manual, en adición a esto, se determinó de igual forma que el número de pasadas fuese de 20.000 pasadas máximo como se describe en la norma, la temperatura usada de 25° C, un tiempo de pre-condicionamiento de 30 min como se recomienda en la norma, y una velocidad de 35 pasadas/minuto, no se ingresó un valor de ahuellamiento esperado, ni se asignó la opción de terminación del ensayo al alcanzar el ahuellamiento deseado debido a que se buscó clasificar la

muestra según lo establecido en la norma INVIAS INV E 813-13 en los índices de gravedad de las mezclas asfálticas, se asignaron 6 pasadas (3 ciclos – 2 pasadas/ciclo) antes de la iniciación adecuada del ensayo como opción descrita dentro del manual de operación del equipo; todo esto cumpliendo con las especificaciones técnicas permitidas dentro de la norma AASHTO T 324-14.

4. Se siguieron los pasos determinados en el numeral anterior realizando los ensayos pertinentes de laboratorio, para lograr presentar una guía, tanto virtual, como escrita para quien desee usar el equipo en un futuro.

5. Se procedió con la edición del material documentado preparando la guía virtual, y a su vez, con esta, ir preparando la guía escrita con sus respectivas indicaciones, dando paso a la elaboración y presentación del manual del equipo.

7. Preparación de la muestra

Se realizaron las muestras cumpliendo con las especificaciones para obtener una mezcla MCD-25 según el INVIAS. Para la fabricación de las muestras se cumplió con la gradación tomada de la (tabla 450-6) de las especificaciones generales de la construcción de carreteras (artículo 450).

Tabla 5-Artículo 450 -6 franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente

Tipo de muestra		Tamiz (mm/U.S. Standard)								
		25	19	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.18	0.075
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.80	No.200
		% Pasa								
Densa	MDC-25	100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19		100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10				100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
Semidensa	MSC-25	100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19		100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-38	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
Gruesa	MGC-38	100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25	100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9

Fuente: INVIAS año 2013

$$\text{PESO DEL CEMENTO ASFALTICO} = 1200 \text{ gr} * \text{peso del asfalto}/100$$

Luego de calcular el peso del cemento asfáltico y la granulometría de los agregados, se calentó el agregado y el cemento asfáltico en la estufa hasta que alcanzó una temperatura de 150°C. Y luego de compactar el material se dejaron enfriando a temperatura ambiente por 24 horas para ser ensayadas al término de este lapso de tiempo.

Figura 38-Toma de temperatura durante el proceso de pesado de los agregados según lo sugerido por el instituto del asfalto para el ensayo Marshall



Figura 39-Proceso de calentamiento la mezcla asfáltica



Figura 40-Mezcla homogénea de los agregados más el asfalto



Figura 41-Corte de las probetas realizadas en el compactador giratorio



8. Manual de uso del equipo

El manual de uso del equipo se puede encontrar en la lista de anexos como el Anexo B.

9. Resultados y Discusión

Los resultados se pueden ver siguiendo el proceso descrito en el video explicativo o el manual de uso, sin embargo, el equipo permite la impresión de los datos obtenidos junto con la gráfica (Figura 42), aunque debido a que ésta opción no se encuentra disponible debido a que no hay una impresora conectada al equipo, los resultados se presentarán como se muestra en las Figuras 43-45 que equivalen a la muestra rectangular, y las Figuras 47-49 a las muestras cilíndricas, y la gráfica resultado de la profundidad del ahuellamiento contra el número de pasadas de los datos obtenidos durante el ensayo, se puede ver en la Figura 46 para la muestra rectangular y en la Figura 50 para las muestras cilíndricas.

Figura 42-Ejemplo de gráfica impresa por medio de la opción de Impresión de resultados del equipo por medio de una impresora

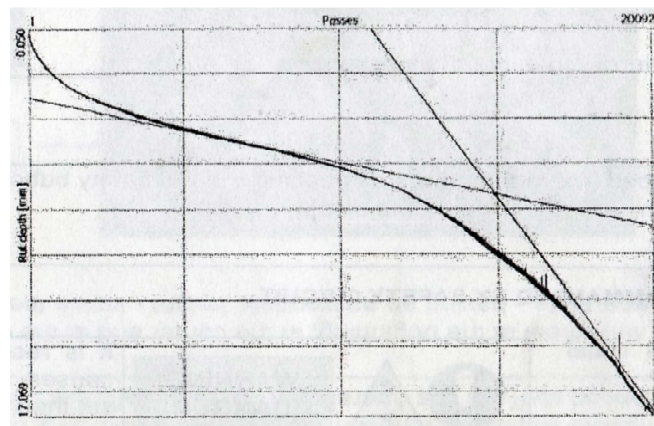


Figura 43-Resultados de la muestra rectangular - lado izquierdo (parte 1)

```
[DATA]
Ensayo: ENSAYO D
Tipo de ensayo: Wheel tracker test - left wheel
Fecha de ensayo: 01/01/2000
Hora del ensayo: 12:28:00 AM

Mode: Water
Pre-conditioning: 30 min
Zero passes: 6
Pause: 0 min
Passes: 20000
Temperature probe: Habilitado

Velocidad: 35.000 p/min
Temperature: 25.0 °C

[RESULTS]
STOP POR FIN DE ENSAYO
Temperature error!
Test start time: 0:05:41
Passes: 20000
Rut depth: 1.10 mm
Std deviation: 0.04 mm
SIP passes: 19999
FAIL passes: 20607

[GRAPHINFO]
Axis0=5;2;20607;0;0;0
Axis1=2;0.02;1.11;255;0;65535
Reverse=0;1
Graph1=0;1

[GRAPHSTRAIGHT]
Straight1=1;1.44290E-005;8.04313E-001;65280
Straight2=1;1.44164E-005;8.04564E-001;65280
```

Fuente: Propia

Figura 44-Resultados de la muestra rectangular - lado izquierdo (parte 2)

```

[GRAPHSYMBOL]
1      19999   1.09
1      20607   1.10

[GRAPH]
Passes - left wheel   Rut depth [mm]   Temperatura [°C]
2      0.02   26.7
4      0.02   26.7
6      0.02   26.7
8      0.03   26.7
10     0.03   26.7
12     0.04   26.7
14     0.04   26.7
16     0.05   26.7
18     0.05   26.7
20     0.05   26.7
22     0.06   26.7

```

Fuente: Propia

Figura 45-Resultados de la muestra rectangular - lado izquierdo (parte 3)

```

19978   1.10   28.2
19980   1.10   28.2
19982   1.10   28.2
19984   1.10   28.2
19986   1.10   28.2
19988   1.11   28.2
19990   1.09   28.2
19992   1.10   28.2
19994   1.10   28.2
19996   1.10   28.2
19998   1.10   28.2
20000   1.10   28.2

```

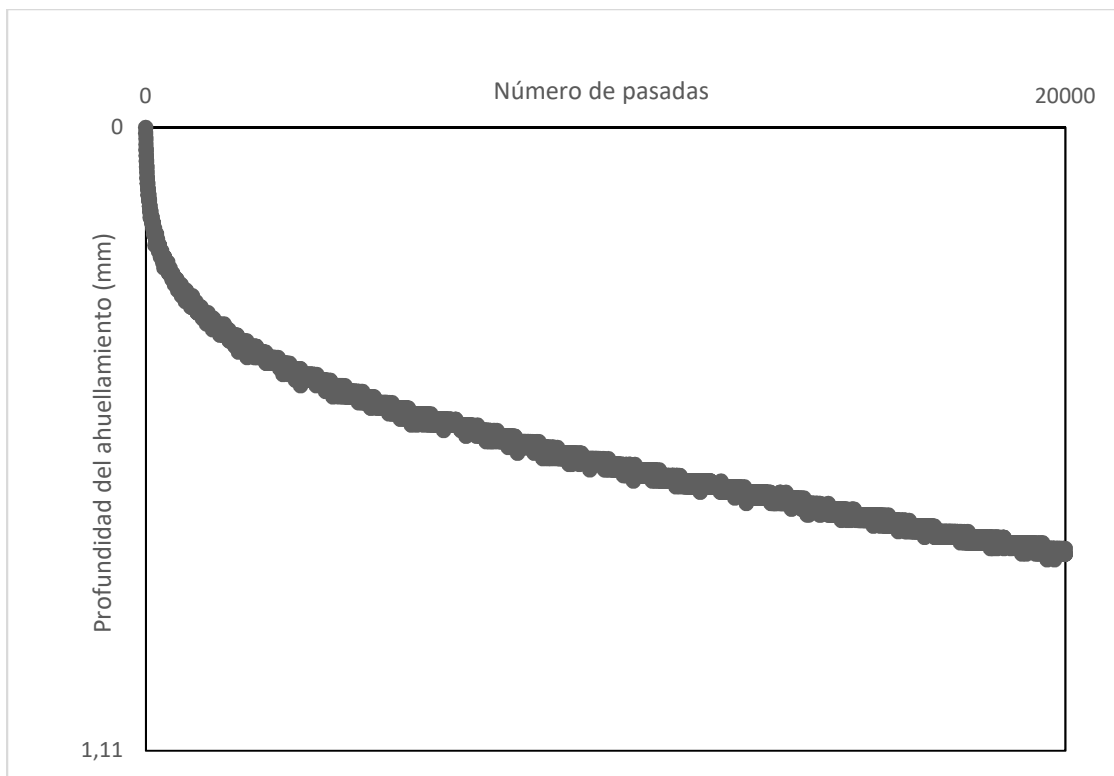
```

[CHECKSUM]
0067F38C

```

Fuente: Propia

Figura 46-Gráfica de Profundidad del ahuellamiento vs. Número de pasadas, muestra rectangular – lado izquierdo



Fuente: Elaboración propia

Figura 47-Resultados de las muestras cilíndricas - lado derecho (parte 1)

```
[DATA]
Ensayo: ENSAYO I
Tipo de ensayo: Wheel tracker test - right wheel
Fecha de ensayo: 01/01/2000
Hora del ensayo: 12:28:00 AM

Mode: Water
Pre-conditioning: 30 min
Zero passes: 6
Pause: 0 min
Passes: 20000
Temperature probe: Habilitado

Velocidad: 35.000 p/min
Temperature: 25.0 °C

[RESULTS]
STOP POR FIN DE ENSAYO
Temperature error!
Test start time: 0:05:41
Passes: 20000
Rut depth: 0.76 mm
Std deviation: 0.11 mm
SIP passes: 19999
FAIL passes: 14515

[GRAPHINFO]
Axis0=5;2;20000;0;0;0
Axis1=2;0.01;0.77;255;0;65535
Reverse=0;1
Graph1=0;1

[GRAPHSTRAIGHT]
Straight1=1;-3.06253E-006;8.06645E-001;65280
Straight2=1;-3.08237E-006;8.07041E-001;65280
```

Fuente: Propia

Figura 48-Resultados de las muestras cilíndricas - lado derecho (parte 2)

```

[GRAPHSYMBOL]
1      19999  0.75
1      14515  0.76

[GRAPH]
Passes - right wheel  Rut depth [mm]  Temperatura [°C]
2      0.01  26.7
4      0.02  26.7
6      0.03  26.7
8      0.04  26.7
10     0.04  26.7
12     0.05  26.7
14     0.05  26.7
16     0.06  26.7
18     0.06  26.7
20     0.07  26.7
22     0.07  26.7

```

Fuente: Propia

Figura 49-Resultados de las muestras cilíndricas - lado derecho (parte 3)

```

19978  0.76  28.3
19980  0.76  28.3
19982  0.76  28.3
19984  0.76  28.3
19986  0.76  28.3
19988  0.76  28.3
19990  0.76  28.3
19992  0.76  28.3
19994  0.76  28.3
19996  0.76  28.3
19998  0.75  28.3
20000  0.76  28.3

```

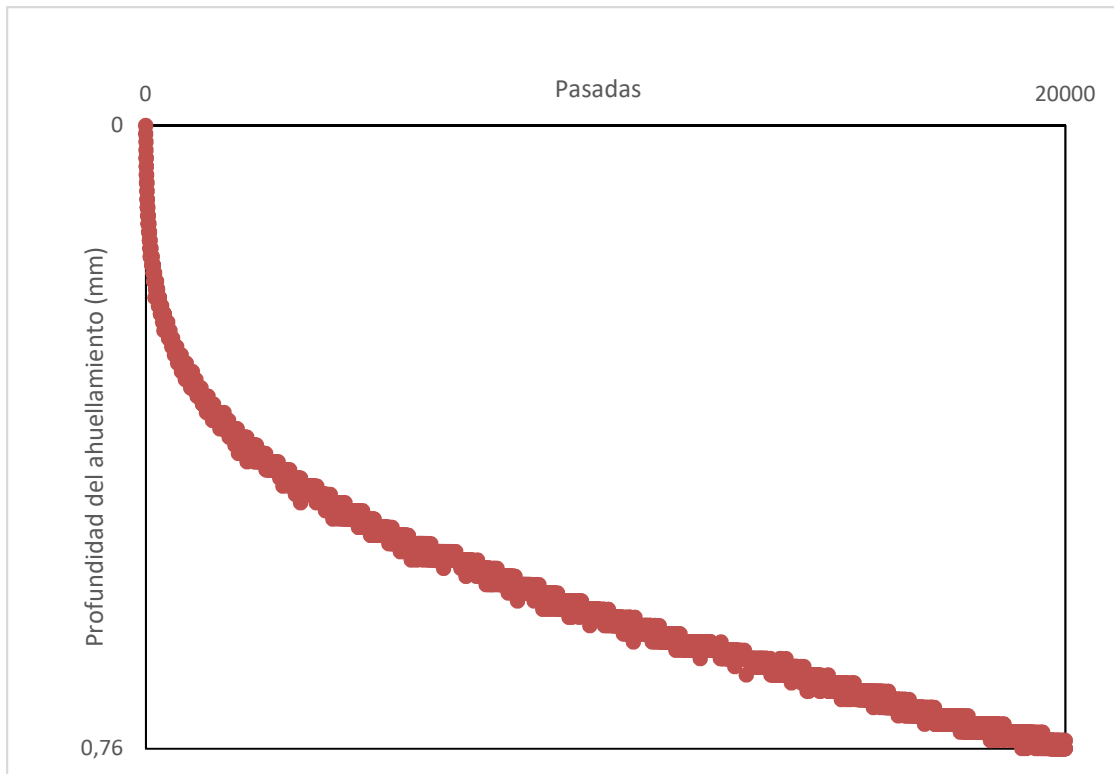
```

[CHECKSUM]
0067DE61

```

Fuente: Propia

Figura 50-Gráfica de Profundidad del ahuellamiento vs. Número de pasadas, muestras cilíndricas – lado derecho



Fuente: Elaboración propia

Dentro de los resultados que indica la norma AASHTO que se deben entregar en el reporte, y observando los resultados presentados en el documento que se generó del equipo, los datos, entre otros que no se encuentran mencionados, más si aparecen en los resultados obtenidos, son:

Número de pasadas

Profundidad máxima del ahuellamiento

Temperatura de la prueba

Punto de inflexión de la curva (punto donde se la muestra comienza a presentar una profundidad del ahuellamiento más pronunciada)

La norma AASHTO proporciona una fórmula con la que se puede calcular el punto de inflexión de la curva, con ella se halla un valor estimado del número de pasadas necesarias para que el ahuellamiento se comience a hacer más pronunciado y el valor de su profundidad aumenta a un ritmo mayor, dejando en evidencia el constante fallo en la estructura del pavimento. La ecuación para determinar este punto según la norma es la siguiente:

$$\text{Stripping Inflection Point(SIP)} = \frac{\text{Intercept (second portion)} - \text{Intercept (first portion)}}{\text{Slope (first portion)} - \text{Slope (second portion)}}$$

Dado que el equipo calcula ya este resultado para las muestras, para este ensayo en particular, los resultados son los siguientes:

Lado izquierdo, muestra rectangular – 19999 pasadas

Lado derecho, muestras cilíndricas – 19999 pasadas

Según lo dicho en la norma INVIAS INV E 789-07 versión anterior de la norma INVIAS INV E 789-13, donde se representaba el ensayo medición del ahuellamiento en Colombia, se podía clasificar el ahuellamiento dentro de diferentes niveles, determinando o clasificando el rango de profundidad de la huella según los parámetros establecidos por quien realizó el ensayo, así como se muestra en los ejemplos a continuación:

Tabla 6-Datos de profundidad de la huella para una sección de compilación de datos

(Ejemplo con 2 niveles)

Estratificación de la profundidad de la huella	Rango de la profundidad de la huella observada
Nivel 1	< 12.5 mm (0.50")
Nivel 2	= 12.5 mm (0.50")

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 789-07 - MÉTODO PARA MEDIR EL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS.

Tabla 7-Datos de profundidad de la huella para una sección de compilación de datos

(Ejemplo con 3 niveles)

Estratificación de la profundidad de la huella	Rango de la profundidad de la huella observada
Nivel 1	< 12.5 mm (0.50")
Nivel 2	= 12.5 mm (0.50")
Nivel 3	= 25 mm (0.98")

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 789-07 - MÉTODO PARA MEDIR EL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS.

Tabla 8-Datos de profundidad de la huella para una sección de compilación de datos

(Ejemplo con 4 niveles)

Estratificación de la profundidad de la huella	Rango de la profundidad de la huella observada
Nivel 1	< 5 mm (0.2")
Nivel 2	= 5 mm (0.20") a < 10 mm (0.39")
Nivel 3	= 10 mm (0.39") a < 25 mm (0.98")

Nivel 4	= 25 mm (0.98")
---------	-----------------

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 789-07 - MÉTODO PARA MEDIR EL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS.

Sin embargo, la norma actual, la INVIAS INV E 789-13, no contempla las anteriormente dichas tablas. Para la adecuada clasificación de los resultados obtenidos con el ensayo, se usó la información presente en la norma INVIAS INV E 813-13, donde se puede clasificar el deterioro (ahuellamiento) de la carpeta asfáltica dentro de 3 niveles de gravedad (Tabla 9). Generando así, una clasificación de **“Nivel de gravedad 1 – Sensible al usuario, pero poco importante”** para ambas muestras, pues el ahuellamiento final al terminar el ensayo para las muestras fue de 1,10 mm de profundidad para el lado izquierdo (muestra rectangular) y de 0,76 mm de profundidad para el lado derecho (muestras cilíndricas) según los resultados arrojados por el equipo.

Tabla 9-Fragmento de: Tabla 3-Niveles de gravedad para deterioros tipo A (pág. 31)

Deterioro	Nivel de Gravedad		
	1	2	3
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante, Prof. < 20 mm.	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos, 20 mm ≤ Prof. ≤ 40 mm.	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios, Prof. > 40 mm.

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia. Norma INV E 813-13 – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR.

Dada la baja profundidad del ahuellamiento resultado de la muestra, y teniendo en cuenta que este tipo de falla sucede por la falta de adhesión del ligante asfáltico con los agregados, o precisamente por la deformación elástica de la mezcla a causa de las altas temperaturas principalmente, haciéndola sensible a esta anomalía o imperfección que afecta el cemento asfáltico.

De las condiciones que se le aplicaron a la muestra de temperatura, teniendo en cuenta que se condicionó las muestras a una temperatura de 25°C , aunque esta presentó una temperatura ambiente promedio de $27^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}$, y suponiendo que esta mezcla se utilizará en un ambiente donde las ya mencionadas condiciones de temperatura serán las máximas, la mezcla no presentará un ahuellamiento tan pronunciado a futuro, explicando así, que la evolución de ésta será favorable en lo que respecta a este tipo de falla.

El aporte que se genera a la ingeniería civil e ingeniería de pavimentos desde el desarrollo de este proyecto de grado, está centrado en la facilitación para la determinación del ahuellamiento a manos de estudiantes y/o personal capacitado con o sin experiencia, por medio del uso de un equipo que simplifica el proceso y puede simular las condiciones ambientales más críticas o promedio para el lugar donde se utilizará la mezcla, evitando los altos costos de instalación, y principalmente la disminución de costos de mantenimiento al conocer de antemano cómo es posible que se comporte la mezcla asfáltica antes de su instalación.

A su vez, el resultado principal del proceso realizado, fue la obtención del manual de uso, el video explicativo del proceso, y la capacitación del personal técnico del laboratorio

en lo correspondiente al uso del equipo para la realización del ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo.

10. Conclusiones y Recomendaciones

Fue posible determinar el correcto proceso de uso del equipo MULTI WHEELS HAMBURG WHEEL TRACKER B038A con el material bibliográfico presente en el momento. No obstante, resultó difícil, en varias ocasiones lograr lo que se indicaba en el manual operacional debido a los dos idiomas en que se encuentra este y dado que, en ciertas partes, estos idiomas se mezclan, hace un tanto confuso el proceso.

Gracias a los manuales y la ayuda de los encargados del laboratorio, fue posible realizar correctamente la preparación de las muestras necesarias para el desarrollo del ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo en el equipo. En este caso, se debió prestar sumo cuidado al desarrollo de estos procesos, pues estos procedimientos demoraban una considerable cantidad de tiempo y requirieron de constante paciencia.

La producción del manual se realizó autónoma y totalmente por el autor de este trabajo, utilizando recursos propios para la obtención del material audiovisual necesario con el que se planteó el documento “MANUAL DE USO DE EQUIPO PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE LA RUEDA CARGADA DE HAMBURGO”.

Para el resultado esperado del manual, se tuvo en cuenta el debido proceso explicado en el manual operacional del equipo, las recomendaciones del docente director de este proyecto y los encargados del laboratorio. Además, con el fin de lograr un procedimiento adecuado y sin errores se escogieron minuciosamente las actividades en que se debía profundizar y aquellas que, por factores como el tiempo, la necesidad de un técnico especializado, o de importancia indirecta, no se tuvieron en cuenta.

En la preparación del manual, se escogieron adecuadamente los colores que acompañarían la redacción de este, tomando en consideración el confort visual y el máximo interés posible a captar con el fin de que sea un material fácil de entender, agradable a la vista y que ayude a incrementar el interés por el tema.

Para la realización del video se tuvo en cuenta la utilización de un material auditivo que captara la atención del usuario objetivo, es decir en un principio los estudiantes, pues al ser un material visual de peso, se tuvo que considerar otros factores que pudiesen intervenir para que la atención en el momento de observar el material, no se desvaneciera, sino que ayudase a que se mantuviera en este.

Para la realización de la capacitación propuesta dentro de los objetivos específicos, se convocó al personal técnico del laboratorio presentando el material visual resultado de este arduo proceso, atendiendo a las correcciones y comentarios que los asistentes presentaron y de igual manera, solucionando las dudas que se iban desarrollando durante la sesión.

Al momento de hacer uso del equipo es recomendable despojarse y guardar los accesorios que se estén usando para evitar algún accidente durante la realización del ensayo.

Para evitar inconvenientes relacionados con la recolección de los datos del ensayo, es una buena opción colocar la memoria USB o la memoria MICRO SD antes de dar inicio al ensayo, pues puede existir el inconveniente de encontrar en error a la hora de guardar los resultados en estos dispositivos.

11. Lista de Referencias

[1] Matest S.p.A. Operating Manual - Smartracker Multi-Wheels Hamburg Wheel Tracker B038A.M01. Treviolo, Bérgamo, Lombardía, Italia. Matest S.p.A. (2014).

[2] C. Josué. Desarrollo del manual de operación de la máquina de pulimiento acelerado. Bucaramanga, Santander, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. (2017).

[3] American Association of State Highway and Transportation Officials. Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA), AASHTO Designation: T 324-14. Washington, D.C., Estados Unidos de América. (2015).

[4] Matest S.p.A. Operating Manual - Gyrotory Compactor B041A.M01.EN. Treviolo, Bérgamo, Lombardía, Italia. Matest S.p.A. (2014).

[5] C. Herrera. Elaboración de un manual de uso para el equipo Marco de Carga Dinámico de pavimentos flexibles DTS-30 de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Bucaramanga, Santander, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. (2016).

[6] J. Villamizar y J. Prada. Desarrollo del manual del equipo pavetest en el área de pavimentos con normativas colombianas integrando el ensayo de leyes de fatiga para viga de cuatro puntos pulimiento acelerado. Bucaramanga, Santander, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. (2016).

[7] A. Padilla, Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Universidad de Politécnica de Cataluña. (2004).

[8] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), INV E 790-13 - Determinación del índice internacional de rugosidad (IRI) para medir la rugosidad (irregularidades de la superficie) de pavimentos, (2013).

[9] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), INV E 798-13 – Método para medir deflexiones mediante deflectómetro de impacto (FWD), 2013.

[10] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), INV E 789-13 – Medida del ahuellamiento en superficies pavimentadas, 2013.

[11] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), INV E 813-13 – Determinación del índice de deterioro superficial de un pavimento asfáltico mediante el método VIZIR, 2013.

[12] F. Ochoa y N. Vargas, Desarrollo del manual de uso del Roller Compactor para el laboratorio de geotécnia y pavimentos. Bucaramanga, Santander, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. (2016).

[13] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), INV E 756-13 - Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio, 2013.

[14] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), INV E 789-07 - Método para medir el ahuellamiento en superficies pavimentadas, (2013).

[15] Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y Universidad Nacional de Colombia, Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras – Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Colombia, (2006).

[16] H. Rondón, F. Reyes, L. González y S. Vásquez. Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas. Colección Tierra y Vida. Bogotá, Colombia. (2012).

12. Anexos

Anexo A – Video “Uso del equipo Multiwheels Hamburg Wheel Tracker B038A”.

Anexo B – Manual “Manual de uso de equipo para la realización del ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo”.