

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL EN TRAMOS EXPERIMENTALES DE
PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS Y MEZCLAS DE ALTO
MODULO**

**ANDRÉS FELIPE BARRERA GARCÍA
SERGIO ANDRÉS ANGULO MELÉNDEZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL EN TRAMOS EXPERIMENTALES DE
PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS Y MEZCLAS DE ALTO
MODULO**

**ANDRES FELIPE BARRERA GARCIA
SERGIO ANDRES ANGULO MELENDEZ**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

**Director:
PhD. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

A mis padres, por su apoyo incondicional en todos los obstáculos encontrados en el camino para llegar a este momento, a mi madre por su motivación y consejos, a mi padre por enseñarme a ser perseverante y crear oportunidades donde no las hay.

A mi hermana VALENTINA, por su apoyo incondicional, y a todos mis amigos, familiares y profesores los que de una u otra manera estuvieron acompañándome en este camino.

Sergio Andres Angulo Melendez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la sabiduría para poder realizar con éxito este proyecto de grado.

Agradezco la colaboración recibida de todos aquellos que hicieron posible la realización de este proyecto en especial:

Al profesor Eduardo Alberto Castañeda Pinzón por haber guiado todo el proyecto y aportar de su conocimiento para la realización del proyecto.

A la escuela de ingeniería civil de la universidad industrial de Santander por darnos una excelente formación académica, profesional y personal

A todos los profesores de la escuela de ingeniería civil por haber contribuido en nuestra formación como profesionales íntegros.

A nuestros padres por brindarnos su total apoyo durante toda la carrera.

Andres Felipe Barrera García

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1 TIPOS DE MEZCLAS	15
1.1.1 Mezclas Asfálticas de Alto Modulo.....	15
1.1.2 Mezclas Asfálticas Tibias	15
1.2.3 Mezclas Bituminosas Tradicionales	16
1.2 INVENTARIO DE DAÑOS	17
1.2.1 Tipos de Daños en Pavimento Flexibles	17
1.2.1.1 <i>Fisuras Longitudinales y transversales</i>	18
1.2.1.2 <i>Fisuras de borde (FBD)</i>	19
1.2.1.3 <i>Fisuras en bloque (FB)</i>	19
1.2.1.4 <i>Piel de cocodrilo (PC)</i>	19
1.2.1.5 <i>Ahuellamiento (AHU)</i>	19
1.2.2 Reporte de Daños en el Informe	20
2. INFORMACION DE LOS TRAMOS DE PRUEBA.....	21
2.1 TRAMOS DE PRUEBA CON MEZCLA TIBIA Y MEZCLA DE ALTO MODULO.....	21
2.1.1 Localización.....	21
2.1.2. Estado de la Superficie de Rodamiento antes de la Construcción	23
2.1.3. Estado de la estructura del pavimento	24

3. METODOLOGÍA	25
3.1. DISEÑO DEL FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	25
3.2. FORMATO DE SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO	28
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS TRAMOS DE PRUEBA.....	31
3.3.1. Trabajos de Campo	31
3.3.2 Presentación de Resultados	32
3.3.2.1 <i>Ahuellamiento</i>	32
3.3.2.2 <i>Deformaciones</i>	35
3.3.2.3 <i>Fisuras</i>	35
4. CONCEPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS TRAMOS DE PRUEBA.....	36
5. CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	40

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de Daño en pavimento flexible	17
Tabla 2. Longitud de los tramos de prueba	23
Tabla 3. Estado de la superficie de rodamiento antes de la construcción	23
Tabla 4. Estado de la estructura del pavimento	24
Tabla 4. Análisis de los resultados de ahuellamiento obtenidos del formato del seguimiento del comportamiento de cada tramo.....	33
Tabla 5. Resultados de fisuras en todos los tramos de prueba.....	35
Tabla 6. Diseño del formato de la valoración A través del tiempo	36

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Emisión de gases producida por mezcla tradicional y por mezcla tibia ..	16
Figura 2. Evolución del Ahuellamiento en el tiempo.....	19
Figura 3. Localización del tramo Mezcla tibia 1A Y 1B.....	21
Figura 4. Localización del tramo 2A y 2B.....	22
Figura 5. Localización del tramo (Mezcla de alto Modulo).....	22
Figura 6. Estructura general del formato de Campo.....	26
Figura 7. Parte 1 del formato de Campo	27
Figura 8. Parte 2 del formato de Campo	27
Figura 9. Parte 3 del formato de Campo	27
Figura 10. Estructura del formato de seguimiento del comportamiento.....	28
Figura 11. Parte 1 del formato de seguimiento del comportamiento.	29
Figura 12. Parte 2 del formato de seguimiento del comportamiento	29
Figura 13. Parte 3 del formato de seguimiento del comportamiento	30
Figura 14. Parte 4 del formato de seguimiento del comportamiento.	30
Figura 15. Ilustración de la marcación cada cinco metros.....	31
Figura 16. Ilustración de la medición del ahuellamiento.....	32
Figura 17. Variación del promedio de Ahuellamiento de todos los tramos	33
Figura 18. Variación del ahuellamiento mayor	33
Figura 19. Variación del ahuellamiento mayor a 3mm en todos los tramos a 5mm en todos los tramos.....	34

Figura 20. Variación del ahuellamiento mayor34

Figura 21. Variación del ahuellamiento mayor a 8mm en todos los tramos a 10 mm
en todos los tramos34

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL EN TRAMOS EXPERIMENTALES DE PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS Y MEZCLAS DE ALTO MODULO*

AUTOR(ES): ANDRÉS FELIPE BARRERA GARCÍA
SERGIO ANDRÉS ANGULO MELÉNDEZ**

PALABRAS CLAVES: Pavimento, mezcla tibia, mezcla de alto modulo, daños

DESCRIPCIÓN:

El aumento de la conciencia ambiental y una regulación más estricta de las emisiones atmosféricas han obligado a desarrollar procesos de fabricación de mezclas asfálticas que generen una menor contaminación al ser fabricadas a una menor temperatura que los concretos bituminosos tradicionales. A su vez cada día aumenta el transporte de carga en el país, por lo que es necesario que las mezclas mejoren su resistencia a la deformación, el comportamiento a la fatiga, la susceptibilidad térmica y aumenten el módulo dinámico como es el caso de las mezclas de alto modulo. Para probar estas dos nuevas tecnologías se concibió el diseño y construcción de tramos de prueba de pavimento con mezclas asfálticas de alto modulo y la mezcla tibia. Después de 3 años de su construcción, se presenta este informe donde se ilustra sobre el estado actual de los tramos de prueba y se establece una metodología para hacer el seguimiento del comportamiento de las estructuras de pavimento para establecer la factibilidad y conveniencia del uso de estos materiales en climas tropicales.

La factibilidad de la construcción de estas nuevas tecnologías se concluirá en el momento de completar el seguimiento del comportamiento de los daños durante toda la vida útil de los tramos de prueba.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: PhD. Eduardo Alberto Castañeda.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE CURRENT STATE IN EXPERIMENTAL SECTIONS OF PAVEMENTS WITH TIBAS ASPHALTIC MIXTURES AND HIGH MODULE MIXTURES*

AUTHOR (S): ANDRÉS FELIPE BARRERA GARCÍA
SERGIO ANDRÉS ANGULO MELÉNDEZ**

KEYWORDS: pavement, warm mix, high module mix, damage.

DESCRIPTION:

The increase in environmental awareness and stricter regulation of atmospheric emissions have made it necessary to develop processes for the manufacture of asphalt mixes that generate less pollution as they are manufactured at a lower temperature than traditional bituminous concrete. At the same time, every day cargo transport increases in the country, so it is necessary that the mixtures improve their resistance to deformation, fatigue behaviour, thermal susceptibility and increase the dynamic module as is the case of high modulus mixtures. In order to test these two new technologies, the design and construction of test sections of pavement with high modulus asphalt mixes and the warm mix were conceived. After 3 years of its construction, this report is presented where it illustrates the current state of the test sections and establishes a methodology for monitoring the performance of pavement structures to establish the feasibility and suitability of using these materials in tropical climates.

The feasibility of the construction of these new technologies will be concluded at the moment of completing the monitoring of the behavior of the damages throughout the useful life of the test sections.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: PhD. Eduardo Alberto Castañeda.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo en el diseño de pavimentos es optar por soluciones seguras, eficientes, novedosas, estéticas que otorguen comodidad y satisfacción a los usuarios ya que la construcción y mantenimiento de dichas vías trae consigo un impacto negativo en el ambiente. Actualmente se están creando nuevas tecnologías o soluciones para reducir de forma considerable las consecuencias negativas que estas causan al medioambiente. (1) Una de estas soluciones es optar por reducir las temperaturas de las mezclas asfálticas, como es el caso del uso de las mezclas tibias la cual reduce el impacto ambiental en la construcción y mantenimiento de las vías. En este contexto se busca investigar el comportamiento o las implicaciones del uso de nuevos tipos de materiales como las mezclas tibias y las mezclas de alto módulo que, en Colombia, aún no son fabricadas cotidianamente. (2)

Se busca establecer el estado actual de tramos de prueba de estos tipos de mezclas construidos en la ciudad de Bucaramanga y Floridablanca con el fin de hacerles seguimiento anual al comportamiento hasta finalizar su vida útil.

1. MARCO TEÓRICO

Existen diferentes tipos de mezclas, en la actualidad se están desarrollando nuevas tecnologías y se busca la utilización de estas en Colombia, varias de estas son: mezcla de alto modulo y mezclas tibias, con las cuales se busca la viabilidad del remplazo en un futuro sobre las mezclas bituminosas convencionales.

1.1 TIPOS DE MEZCLAS

1.1.1 Mezclas Asfálticas de Alto Modulo. Las mezclas de alto módulo (MAM), a nivel conceptual, se definen como mezclas bituminosas fabricadas con betunes duros especiales, con altos contenidos de ligante (superior a 5,5%), que les permiten obtener un alto módulo de rigidez, desarrollando una buena resistencia a la tracción y la fatiga.

Las características antes señaladas hacen ser, a las mezclas de alto módulo, muy atractivas, puesto que permiten reducir los espesores de las capas asfálticas convencionales, apoyándose las propuestas de reducción en los modelos analíticos de dimensionamiento de pavimentos. [4]

1.1.2 Mezclas Asfálticas Tibias. Las mezclas tibias se describen como aquellas que se producen a temperaturas menores que las de las mezclas en caliente. Su producción involucra nuevas tecnologías a partir de los cuales es posible producir y colocar los concretos asfálticos a temperaturas sensiblemente inferiores a las técnicas convencionales. [3]

El principal objetivo de estas tecnologías es bajar las temperaturas de trabajo, principalmente de compactación en el momento de colocar las mezclas. Esto es posible mediante cuatro diferentes metodologías: reducción de la viscosidad

utilizando aditivos orgánicos, asfaltos espumados, tecnologías con bases acuosas y uso de aditivos químicos (emulsiones). Por lo tanto, una alternativa al uso de las mezclas asfálticas tradicionales utilizadas en el país es la implementación de este tipo de mezclas asfálticas tibias; que podrían generar grandes beneficios ambientales y alguna reducción en los costos de producción. [6]

Figura 1. Emisión de gases producida por mezcla tradicional y por mezcla tibia



1.2.3 Mezclas Bituminosas Tradicionales. Se denomina mezcla bituminosa a la mezcla que está constituida por un ligante que en película continua envuelve todas y cada una de las partículas minerales de un árido con cualquier granulometría. [5]

Las mezclas bituminosas en frío son una combinación de un árido y un ligante bituminoso, que pudiendo hacerse con el ligante frío o caliente, y los áridos la mayor parte de las veces frío, puede manejarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En muchos casos estas mezclas son almacenables. [5]

Las mezclas bituminosas en caliente son una combinación de un árido y un ligante bituminoso que deben calentarse y que se extiende y compacta a temperatura superior al ambiente. [5]

1.2 INVENTARIO DE DAÑOS


Para establecer el estado de los tramos de prueba es necesario un riguroso estudio sobre el comportamiento de estos a lo largo de su vida útil, para realizar dicho estudio se realiza un inventario de daños para facilitar el entendimiento del comportamiento del pavimento en estudio.





1.2.1 Tipos de Daños en Pavimento Flexibles. Los daños que presenta una estructura de pavimento flexible pueden ser clasificados en cuatro categorías:

- Fisuras
- Deformaciones
- Perdida de capas estructurales
- Daños superficiales
- Otros daños

Dentro de cada categoría existen diferentes deterioros que se originan por diversos factores, algunos de los cuales se han establecido mediante la revisión bibliográfica, y otros mediante la evaluación de campo y ensayos de laboratorio [7]

Tabla 1. Tipos de Daño en pavimento flexible

Categorías	Tipos de daños
<p data-bbox="329 1444 418 1472">Fisuras</p> 	<p data-bbox="667 1444 1127 1472">Longitudinales y transversales (FL, FT)</p> <p data-bbox="667 1486 1105 1514">En juntas de construcción (FCL,FCT)</p> <p data-bbox="667 1528 915 1556">En media luna (FML)</p> <p data-bbox="667 1570 854 1598">De borde (FBD)</p> <p data-bbox="667 1612 846 1640">En bloque (FB)</p> <p data-bbox="667 1654 922 1682">Piel de cocodrilo (PC)</p> <p data-bbox="667 1696 1073 1724">Por deslizamiento de capas (FDC)</p> <p data-bbox="667 1738 846 1766">Incipiente (FIN)</p>

Categorías	Tipos de daños
<p>Deformaciones</p> 	<p>Ondulaciones (OND) Abultamiento(AB) Hundimientos (HUN) Ahuellamiento (AHU)</p>
<p>Pérdida de las capas de la estructura</p> 	<p>Descascaramiento (DC) Baches (BCH) Parche (PCH)</p>
<p>Daños superficiales</p> 	<p>Desgaste superficial (DSU) Pérdida de agregado (PA) Pulimiento de agregado (PU) Cabezas duras (CD) Exudación (EX) Surcos(SU)</p>
<p>Otros daños</p> 	<p>Suelen aparecer como consecuencia de los afloramientos, los cuales ocurren por la presencia de infiltración de agua en la estructura. La berma puede presentar cualquiera de los daños mencionados anteriormente, en tal caso se reporta el daño encontrado adicionando una "B" al final de la sigla del daño correspondiente</p>

Definición de los Daños mas comunes presentes en las estructuras de Pavimento.

1.2.1.1 Fisuras Longitudinales y transversales. (FL, FT) corresponden a las discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversal a él, Son indicio de la existencia de esfuerzo de tensión en alguna de

las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado, este tipo de fisura se mide en metros (m).

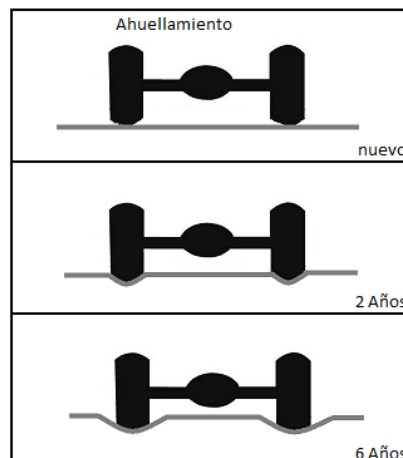
1.2.1.2 Fisuras de borde (FBD). corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizada cerca del borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada, este tipo de fisura se mide en metros (m).

1.2.1.3 Fisuras en bloque (FB). Cuando se presenta este tipo de daño la superficie de asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular, se registra el área de superficie de pavimento afectada en metros cuadrados (m²).

1.2.1.4 Piel de cocodrilo (PC). Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares similares a la piel de un cocodrilo, generalmente localizadas en las zonas sujetas a las repeticiones de carga.

1.2.1.5 Ahuellamiento (AHU). El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración.

Figura 2. Evolución del Ahuellamiento en el tiempo



1.2.2 Reporte de Daños en el Informe. En el reporte de daños se incluye por separado el reporte de los daños en los carriles y los daños en las bermas; también se incluyen los registros fotográficos relacionando la fecha de toma, localización y tipo de daño. En la presentación de resultados generalmente contiene la siguiente información:

- Área total inspeccionada (para cada caso)
- Abscisas inicial y final del levantamiento (solo al inicio del informe)
- Área total afectada (para cada caso)
- Porcentajes de afectación (para cada caso)
- Los deterioros (son sus severidades) más frecuentemente encontrados (en cada caso)
- El porcentaje de afectación representado por dichos deterioros (en cada caso)
- Los deterioros menos frecuentes (en cada caso)
- El porcentaje de afectación representado por dichos deterioros (en cada caso)

Los tramos de la vía más afectados (abscisas, áreas afectadas y porcentajes de afectación, en cada caso).

Adicional se presentan las gráficas de áreas afectadas por tramos, la distribución de los daños por severidades y la hoja de cálculo si tiene un tamaño adecuado, de lo contrario se deben presentar en un anexo al final del informe junto con los formatos de campo diligenciados. [7]

2. INFORMACION DE LOS TRAMOS DE PRUEBA

2.1 TRAMOS DE PRUEBA CON MEZCLA TIBIA Y MEZCLA DE ALTO MODULO

Para la caracterización de los tramos de mezcla tibia y mezcla de alto modulo se especificará la siguiente información de cada uno: 1. Localización 2. El estado de la superficie de rodamiento antes de la construcción 3. Estructura de pavimento.

2.1.1 Localización. Los tramos de pavimento con la técnica de mezclas tibias se localizan en zonas cercanas a la ciudad de Bucaramanga, departamento de Santander. El primer tramo se localizó en la carretera conocida como “Anillo Vial de Ruitoque” en el municipio de Floridablanca, el segundo tramo se localizó al sur del casco urbano de la ciudad de Bucaramanga en la carretera que conduce hacia el municipio de Rionegro y el tercero construido con mezcla de alto modulo En un sector de la carretera Lebrija-T de aeropuerto en el departamento de Santander

Figura 3. Localización del tramo Mezcla tibia 1A Y 1B

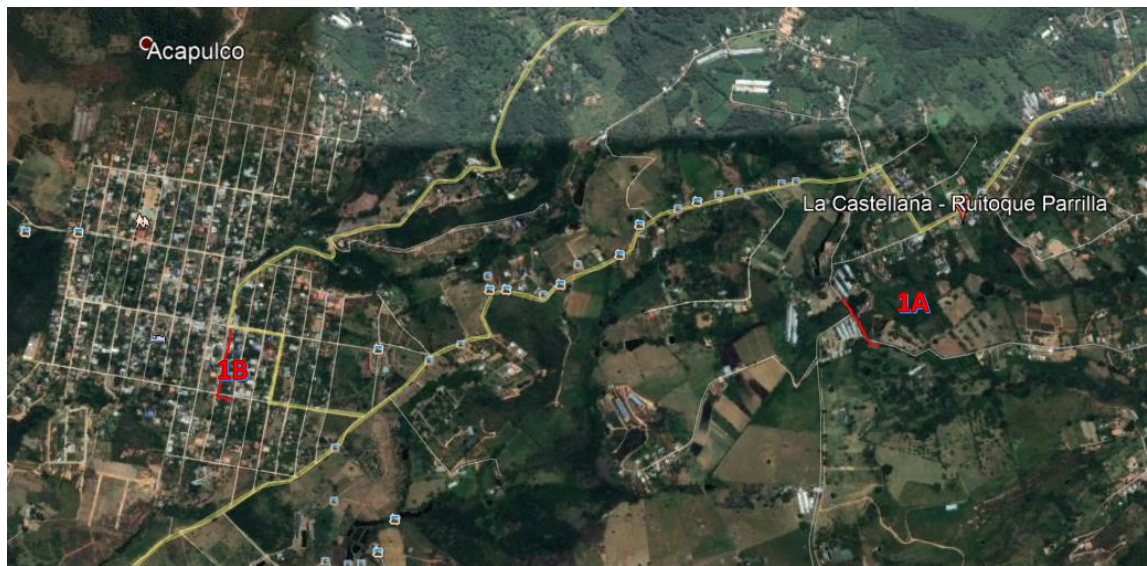


Figura 4. Localización del tramo 2A y 2B

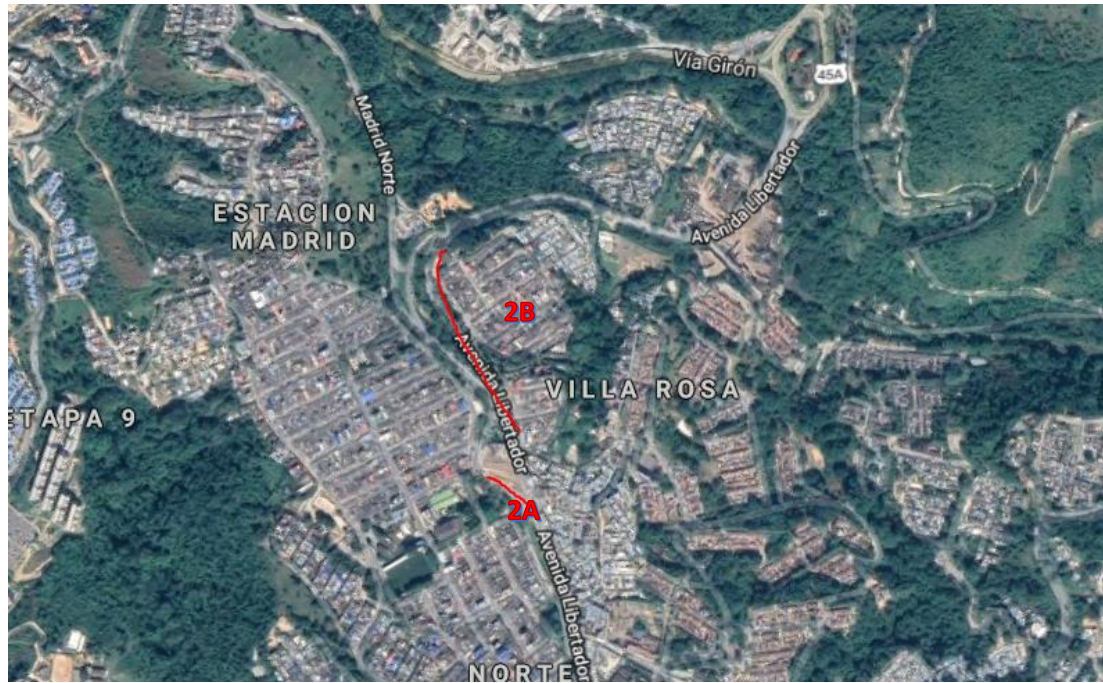


Figura 5. Localización del tramo (Mezcla de alto Modulo)



Tabla 2. Longitud de los tramos de prueba

TRAMO	LONG [M]	ANCHO [M]
M. TIBIA 1-A	158	5
M. TIBIA 1-B	232	6
M. TIBIA 2-A	56	8
M. TIBIA 2-B	345	8
M. ALTO MODULO	277	6

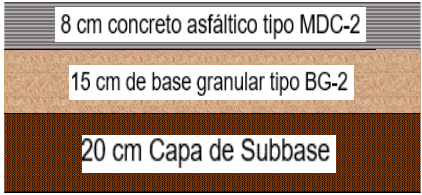
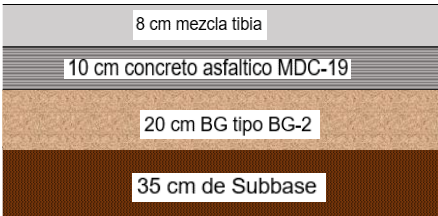
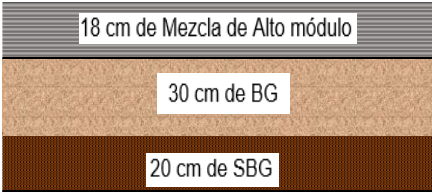
2.1.2. Estado de la Superficie de Rodamiento antes de la Construcción. El sector donde se construyeron los tramos de prueba se encontraba deteriorado o no contaba con estructura de pavimento. El tramo con mezcla de alto modulo presentaba fisuras tipo piel de cocodrilo por lo que se retiró la carpeta asfáltica.

Tabla 3. Estado de la superficie de rodamiento antes de la construcción

TRAMO	ESTADO ANTES DE LA CONSTRUCCION	FOTOGRAFÍA
TRAMO 1 (MEZCLA TIBIA)	El sector de carretera donde se construyó el tramo de prueba 1, es una vía de acceso a una zona de residencias campestres que no contaba con estructura de pavimento	
TRAMO 2 (MEZCLA TIBIA)	El sector de carretera donde se construyó el tramo de prueba 2, es una vía de acceso a la zona urbana de Bucaramanga por donde circulan vehículos pesados. En este sector la estructura existente fue demolida y se construyó una estructura nueva de pavimento.	
TRAMO 3 (MEZCLA DE ALTO MODULO)	Para la construcción del tramo, se decidió retirar la capa asfáltica existente y sobre la base granular construir una nueva capa asfáltica con mezcla de Alto Módulo	

2.1.3. Estado de la estructura del pavimento. Se construyó una estructura de pavimento con las siguientes capas, en el caso de la estructura con mezcla de alto modulo se conservó la base granular y la subbase.

Tabla 4. Estado de la estructura del pavimento

TRAMO	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
TRAMO 1-A Y 2-A (MEZCLA TIBIA)	 <p>8 cm concreto asfáltico tipo MDC-2</p> <p>15 cm de base granular tipo BG-2</p> <p>20 cm Capa de Subbase</p>
TRAMO 2A Y 2B (MEZCLA TIBIA)	 <p>8 cm mezcla tibia</p> <p>10 cm concreto asfáltico MDC-19</p> <p>20 cm BG tipo BG-2</p> <p>35 cm de Subbase</p>
TRAMO 3 (MEZCLA DE ALTO MODULO)	 <p>18 cm de Mezcla de Alto módulo</p> <p>30 cm de BG</p> <p>20 cm de SBG</p>

3. METODOLOGÍA

Con el propósito de establecer un documento de recopilación y almacenamiento de la información de tramos experimentales de pavimentos construidos con mezclas de alto módulo y mezclas tibias, se diseñó un proceso metodológico de recolección y presentación de parámetros de control.

El documento debe contener la información de manera que se pueda comparar las medidas realizadas en diferentes momentos de la vida útil de la estructura de pavimento. Para la presentación de los resultados de cada una de las medidas de seguimiento, Se diseñaron 2 formatos:

- Formato para levantamiento de la información en campo.
- Formato para el seguimiento del comportamiento.

3.1. DISEÑO DEL FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.

Se diseñó un formato que contiene información de las abscisas en las que se hicieron las medidas de campo y los resultados de esas medidas.

Las medidas comprenden:

- Valor de la deformación en la zona donde circulan las cargas (Ahuellamiento). Este valor permitirá hacer el seguimiento de la pérdida de confort en la operación vehicular.

- Área afectada por Daños como deformaciones. Los valores aquí consignados permitirán evaluar la estabilidad de los materiales y de la estructura misma ante la repetición de cargas y el efecto del medio ambiente.
- Área afectada por daños como fisuras. Para evaluar la resistencia de los materiales a la fatiga mecánica.

La información consignada se encuentra estructurada de la siguiente manera:

La estructura del formato de campo está dividida en 3 partes principales: 1. Medidas de la deformación permanente o ahuellamiento de la calzada, 2. resultados de la inspección visual de deformaciones del pavimento, 3. Resultados de la inspección visual de fisuras en la calzada.

En las figuras 6, 7, 8, 9. Se especifica cada una de las partes del formato de campo.

Figura 6. Estructura general del formato de Campo.

K1	Ahuellamiento				Deformaciones						Fisuras				Perdida de Capsa Estructural				Daños Superficiales				
	Abcisa				Ondulación		Hundimiento		Abultamiento		I		D		I		D		I		D		
	I1	I2	D2	D1	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	

Figura 7. Parte 1 del formato de Campo

K1				
Abcisa	Ahuellamiento			
	I1	I2	D2	D1

Columna de abscisado cada 5 metros.

Campo donde se toma nota de los valores (en milímetros) de ahuellamiento en la zona por donde pasa las llantas de los

Figura 8. Parte 2 del formato de Campo

Deformaciones					
Ondulacion		Hundimiento		Abultamiento	
I	D	I	D	I	D

En estos campos se apuntará el área afectada de ondulación, hundimiento y abultamiento en metros cuadrados tomados cada 10 metros especificando en que carril (Derecho o izquierdo) se encuentra el daño.

Figura 9. Parte 3 del formato de Campo

Fisuras			Perdida de Capa Estructural				Daños Superficiales			
I	D		I	D	I	D	I	D	I	D

El formato de seguimiento del comportamiento está estructurado en los 4 principales tipos de daños, que son: AHUELLAMIENTO, DEFORMACIONES, FISURAS, y DAÑOS SUPERFICIALES los cuales los 3 últimos se subdividen en diferentes tipos.

Figura 11. Parte 1 del formato de seguimiento del comportamiento.

Abcisa	Ahuellamiento			
	I1	I2	D2	D1
Datos Estadísticos del Ahuellamiento	M promedio			
	σ desviación est			
	Máximo			
	% Ahue > 10mm			
	% Ahue > 8mm			
% Ahue > 5mm				
% Ahue > 3mm				

Columna de abscisado cada 5 metros.

Se calcula los datos estadísticos del ahuellamiento: Promedio, Desviación estándar y el ahuellamiento

Se Calcula el porcentaje de ahuellamiento que supera los 10mm, 8mm, 5mm y 3mm

Estos valores se calculan con el fin de organizar la información de forma objetiva y simplificada; Con esto se logra un mejor análisis de las medidas de ahuellamiento.

Figura 12. Parte 2 del formato de seguimiento del comportamiento

PORCENTAJE DE AREA AFECTADA POR FISURAS									
FB	FL	FT	FCL	FJL	FML	FBD	PC	FDC	FIN

En estos campos se registra el valor del porcentaje de área afectada de los diferentes tipos de fisuras: En bloque (FB), longitudinales y transversales (FL, FT), juntas de construcción (FCL), reflexión de juntas (FJL), en media luna (FML), de borde (FBD), piel de cocodrilo (PC), deslizamiento de capas (FDC), incipiente (FIN).

Nota: El porcentaje de área afectada se calcula cada tramo de 10 metros de abscisado, por lo tanto, el área total se calcula de la siguiente manera: 10mxAcho de la vía (variable para cada tramo).

Figura 13. Parte 3 del formato de seguimiento del comportamiento

PORCENTAJE DE ÁREA AFECTADA DEFORMACIONES		
OND	AB	HUN

En estos campos se registra el valor del porcentaje de área afectada de los diferentes tipos de deformaciones: ondulaciones (OND), abultamiento (AB) o hundimientos (HUN).

Figura 14. Parte 4 del formato de seguimiento del comportamiento.

PORCENTAJE DAÑOS SUPERFICIALES									PORCENTAJE DE ÁREA
DC	BCH	PCH	DSU	PA	PU	CD	EX	SU	OTROS DAÑOS

En estos campos se registra el valor del porcentaje de área afectada de los diferentes tipos de daños superficiales: bache (BCH), parche (PCH), desgaste superficial (DSU), pérdida de agregado (PA), pulimiento de agregado (PU), cabezas duras (CD), exudación (EX), surcos (SU).

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS TRAMOS DE PRUEBA

A continuación, se describen las diferentes actividades que permitieron establecer el estado de los tramos después de 3 años de servicio, en el caso de los tramos de mezclas tibias y de cuatro años en el caso de mezclas de alto módulo.

3.3.1. Trabajos de Campo. Demarcación: Los tramos se encuentran demarcados en algunos sitios mediante abscisado y se demarcaron con puntos de pintura cada 5 metros para realizar las medidas de ahuellamiento, inspección visual y medir el área de los diferentes tipos de daños realizando la siguiente secuencia:

- Marcar el tramo cada cinco metros con ayuda de un decámetro.

Figura 15. Ilustración de la marcación cada cinco metros.



- Medir el ahuellamiento en la zona por donde pasan las llantas de los vehículos con una regla de una longitud de 1.2 m y un deformímetro ubicado en la mitad ilustrado de la siguiente manera:

Figura 16. Ilustración de la medición del ahuellamiento.



- Cada 10 m se identificó y midió las áreas o longitudes de los diferentes tipos de daños que presentaba el pavimento como: Fisuras, deformaciones, pérdida de capa de la estructura, daños superficiales y otros tipos de daños. En este caso solo se encontraron fisuras de severidad baja.
- Se realizó un registro fotográfico de los principales daños que tiene la vía para evidenciar el estado del pavimento.
- Todas las medidas de ahuellamiento y daños se registraron en el formato de campo.

3.3.2 Presentación de Resultados. El análisis de resultados permitió consignar en el formato del seguimiento del comportamiento, la información del estado actual del pavimento. En este se registra los resultados de ahuellamiento, deformaciones y fisuras de los tramos de prueba y estos resultados se recopilaron de manera organizada y objetiva para cada tramo.

3.3.2.1 Ahuellamiento. En la siguiente tabla se hizo un análisis de los resultados de ahuellamiento, donde se calculó: El promedio, desviación estándar y el porcentaje de ahuellamiento que supera los 10,8,5 y 3mm para cada tramo de prueba.

Tabla 4. Análisis de los resultados de ahuellamiento obtenidos del formato del seguimiento del comportamiento de cada tramo.

TRAMOS		AHUELLAMIENTO					
		PROMEDIO DE AHUELLAMIENTO	DESVIACION ESTANDAR DE AHUELLAMIENTO	% AHUE > 10 [mm]	% AHUE > 8 [mm]	% AHUE > 5 [mm]	% AHUE > 3 [mm]
T. DE MEZCLA TIBIA	1A	1,23	1,36	0,00%	0,76%	3,82%	5,34%
	1B	1,37	1,2	0,00%	0,00%	2,31%	8,33%
T. DE MEZCLA DE ALTO MODULO	2A	0,57	0,8	0,00%	0,00%	0,00%	3,85%
	2B	1,91	1,6	0,00%	0,71%	6,07%	16,07%
T. MEZCLA DE ALTO MODULO		2,05	1,78	0,44%	0,44%	9,21%	22,37%

Con estos datos se realizó una representación gráfica de los diferentes datos calculados con las medidas de ahuellamiento de cada tramo

Figura 17. Variación del promedio de Ahuellamiento de todos los tramos

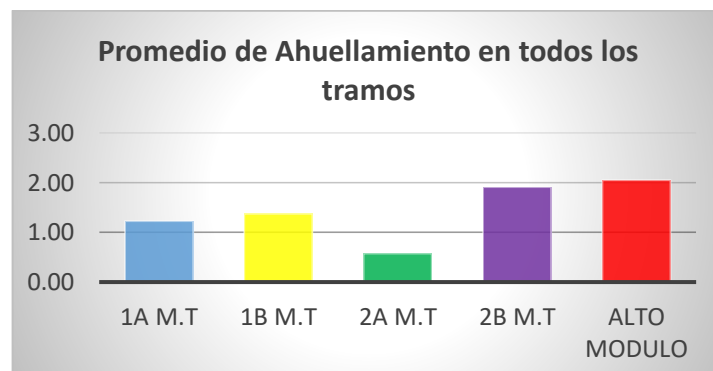


Figura 18. Variación del ahuellamiento mayor

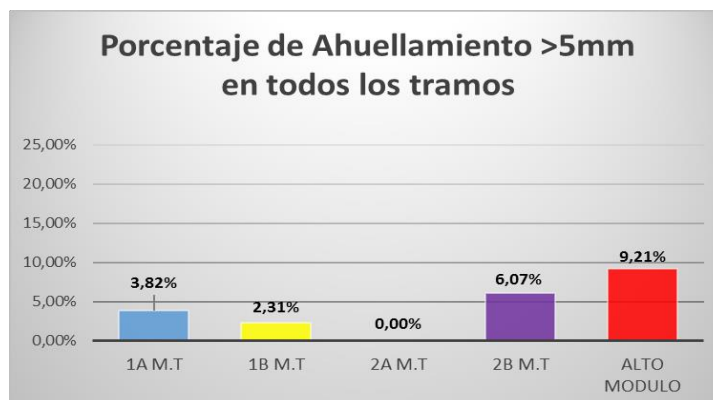


Figura 19. Variación del ahuellamiento mayor a 3mm en todos los tramos a 5mm en todos los tramos

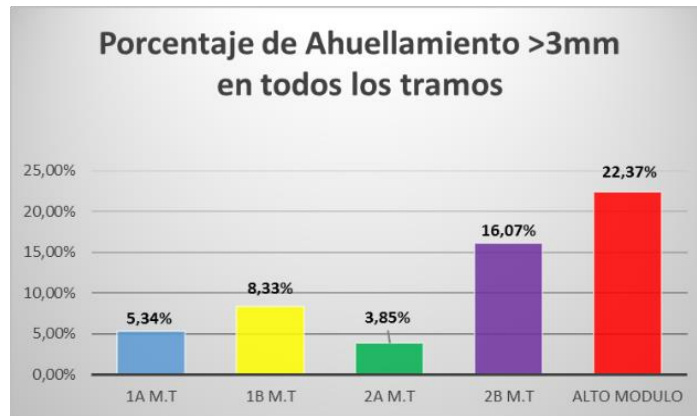


Figura 20. Variación del ahuellamiento mayor

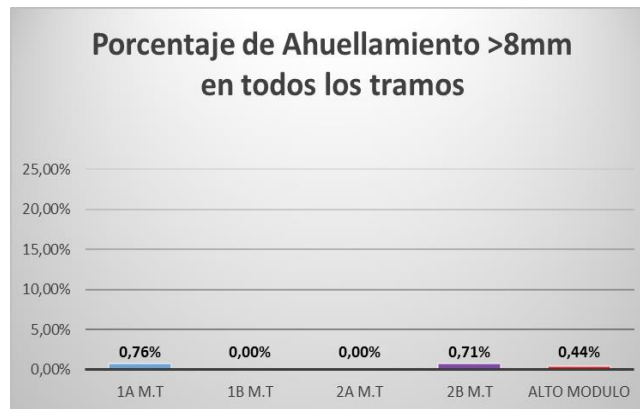
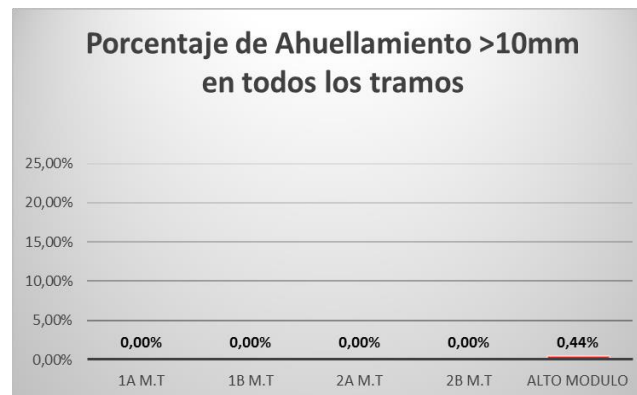



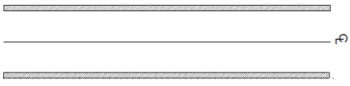

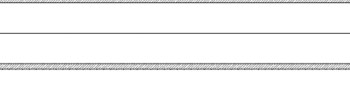





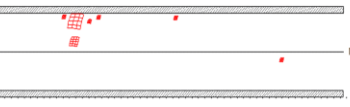
Figura 21. Variación del ahuellamiento mayor a 8mm en todos los tramos a 10 mm en todos los tramos



3.3.2.2 Deformaciones. Se realizó la inspección visual a los tramos de prueba con mezcla tibia y mezcla de alto modulo y estos no presentan ondulaciones, abultamiento y hundimientos.

3.3.2.3 Fisuras. En la siguiente tabla se calculó el área afectada para los diferentes tipos de fisura, se realizó un registro fotográfico de las mismas.

Tabla 5. Resultados de fisuras en todos los tramos de prueba.

TRAMO		TIPO DE FISURA	AREA AFECTADA	% DE AREA AFECTADA	REGISTRO FOTOGRAFICO	
Mezcla tibia 1-A		FL	0	0		
		FT	0	0		
		FBD	0	0		
		FB	0	0		
		PC	0	0		
		OTRAS	0	0		
AREA TOTAL [m ²]	790	TOTAL	0	0		
Mezcla tibia 1-B		FL	0	0		
		FT	0	0		
		FBD	0	0		
		FB	0	0		
		PC	0	0		
		OTRAS	0	0		
AREA TOTAL [m ²]	1572	TOTAL	0	0		
Mezcla tibia 2-A		FL	2,94	0,66		
		FT	0	0		
		FBD	0	0		
		FB	0	0		
		PC	0	0		
		OTRAS	0	0		
AREA TOTAL [m ²]	448	TOTAL	2,94	0,66		
Mezcla tibia 2-B		FL	0	0		
		FT	0	0		
		FBD	0,9	0,03		
		FB	0	0		
		PC	0	0		
		OTRAS	0	0		
AREA TOTAL [m ²]	2760	TOTAL	0,9	0,03		
Mezcla de alto modulo		FL	0	0,00		
		FT	0	0,00		
		FBD	0	0,00		
		FB	35,27	2,12		
		PC	0	0,00		
		OTRAS	0	0,00		
AREA TOTAL [m ²]	1662	TOTAL	35,3	2,12		

5. CONCLUSIONES

El tramo de prueba construido con mezcla tibia se encuentra en buen estado ya que los daños encontrados son pocos, dos de los tramos estudiados no presentaron daños según la inspección visual de pavimento realizada, y los otros dos tramos presentan un porcentaje de área afectada por fisuras menor al 2 % lo que indica que a la fecha no se reporta ninguna severidad o complicación en estos tramos.

El tramo de prueba construido con mezcla asfáltica de alto modulo se encuentra en buen estado, presenta un porcentaje de área afectada por fisuras de 2,1 %, pero aún no se puede dar un diagnóstico de la efectividad del pavimento ya que el tiempo de vida útil de este es de 15 años, de los cuales solo han transcurrido 4, el estado actual del mismo ayudara para estudios posteriores y así poder concluir la viabilidad de esta mezcla.

Los valores de ahuellamiento que presenta el pavimento con mezcla de alto modulo en promedio se encuentran en 2[mm] lo cual no es significativo ya que el ahuellamiento se considera con severidad leve hasta los 10 [mm], lo mismo sucede con los valores obtenidos en los tramos con pavimento asfaltico de mezcla tibia estos tienen un valor promedio menor a 2[mm]

La idea principal de este inventario de daños es un formato base para llevar un control del comportamiento de los tramos de prueba construidos con mezcla asfáltica de alto modulo y con mezcla tibia, cada año durante 3 años se llenará este formato para comparar el estado del pavimento en diferentes instantes de tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Colombia. Ministerio de Transporte–Oficina Asesora de Planeación. “Transporte en cifras”. Bogotá, D.C, Colombia, (2012).

[2] Castañeda Pinzón, Eduardo. “Evaluación técnico – económica de producción y uso de las mezclas asfálticas de alto modulo. Investigación y desarrollo en asfaltos en el sector de transporte industrial”. Universidad Industrial de Santander. (2016).

[3] Lopera Palacio. “Conrado Hernando. Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias, a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (elaeis guineensis)”. [En línea]. (2011). [Citado el 20 de junio de 2017]. Disponible en: <http://Www.Bdigital.Unal.Edu.Co/5438/1/15507009.2011.Pdf>

[4] Lloa Calderón, Andrea. “Programas de infraestructura del transporte: Mezclas asfálticas tibias (MAT)”. En: Boletín técnico PITRA. [En línea]. No.15 (2011) [Citado el 21 de junio de 2017] disponible en: <<http://www.lanamme.ucr.ac.cr/index.php/publicaciones-mp/publicaciones-boletin/61-articulos-boletin-tecnico/441-mezclas-asfalticas-tibias-mat.html>>

[5] Universidad Politécnica de Cataluña. “Las mezclas bituminosas”. [En línea]. (2015). [Citado en 21 de junio de 2017]. Disponible en: <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3252/50777-8.pdf?sequence=8>>

[6] Buil Bou, Míriam. “Diseño y caracterización mecánica de mezclas recicladas de alto módulo”. Cataluña. (2010). Tesis de especialidad. Universidad politécnica de Cataluña. Infraestructura del departamento de transporte y territorio.

Disponible

en:

<<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9702/01.pdf>>.

[7] Colombia. Ministerio de transporte. INVIAS. "Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles". Bogotá. (2006).

BIBLIOGRAFÍA

BUIL BOU, Míriam: Diseño y caracterización mecánica de mezclas recicladas de alto módulo, Cataluña, 2010. Tesis de especialidad. Universidad politécnica de Cataluña. Infraestructura del departamento de transporte y territorio. Disponible en: <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9702/01.pdf>>.

CASTAÑEDA PINZÓN, Eduardo. Evaluación técnico – económica de producción y uso de las mezclas asfálticas de alto modulo. Investigación y desarrollo en asfaltos en el sector de transporte industrial. Universidad Industrial de Santander. 2016.

COLOMBIA. Ministerio de transporte. INVIAS. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, Bogotá, 2006.

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE–OFICINA ASESORA DE PLANEACIÓN. Transporte en cifras. Bogotá, D.C, Colombia, 2012.

LLOA CALDERÓN, Andrea. Programas de infraestructura del transporte: Mezclas asfálticas tibias (MAT) En: Boletín técnico PITRA [en línea]. No.15. 2011. [Citado el 21 de junio de 2017] disponible en: <<http://www.lanamme.ucr.ac.cr/index.php/publicaciones-mp/publicaciones-boletin/61-articulos-boletin-tecnico/441-mezclas-asfalticas-tibias-mat.html>>

LOPERA PALACIO, Conrado Hernando. Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias, a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (elaeis guineensis). 2011. [En línea]. [Citado el 20 de junio de 2017]. Disponible en: <http://Www.Bdigital.Unal.Edu.Co/5438/1/15507009.2011.Pdf>

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA. Las mezclas bituminosas [En línea] [citado en 21 de junio de 2017]. Disponible en: <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3252/50777-8.pdf?sequence=8>>