	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

INFORME FINAL

Evaluación y comparación de desempeño de una mezcla asfáltica con altos contenidos de RAP a escala real y una mezcla convencional tipo MD-12

Arquitecto Álvaro Sandoval Reyes
DIRECTOR UAERMV




Ingeniera Silvia Pilar Forero Bonilla
SUBDIRECTORA TÉCNICA DE MEJORAMIENTO DE LA MALLA VIAL LOCAL

Ingeniero Camilo Enrique Marrugo Martínez
COORDINADOR DEL PROYECTO

Ingeniero Humberto Ramírez Gómez
PROMOTOR DEL PROYECTO

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO VIAL

BOGOTÁ D.C

CUADRO DE APROBACIONES				
ACTIVIDAD	NOMBRE	CARGO/ROL	ENTIDAD/DEPENDENCIA	FIRMA
Elaboro:	Camilo E. Marrugo Martínez	Contratista/ Coordinador	UAERMV- SMVL	 (Firma)
Revisó	Humberto Ramírez Gómez	Contratista/ Promotor	UAERMV-SPI	 (Firma)
Aprobó	Álvaro Sandoval Reyes	Director	UAERMV- Dirección General	 (Firma)



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

CUADRO DE CONTROL DE MODIFICACIONES

VERSIÓN	SECCIÓN MODIFICADA	FECHA MODIFICACIÓN	DE	OBSERVACIONES
V0				


 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

TABLA DE CONTENIDO

1) Introducción	8
2) Justificación	9
3) Alcance	11
4) Objetivos.....	12
4.1.) Objetivo General.....	12
4.2.) Objetivos Específicos.....	12
5) Antecedentes.....	13
6) Marco Teórico.....	15
6.1.) Variables Teóricas Para Evaluar En El Proyecto.....	16
6.1.1) Resistencia a la Susceptibilidad a la Humedad.....	16
6.1.2) Resistencia a la Deformación Plástica en Pista o Ahuellamiento	17
6.1.3) Propiedades Superficiales Del Pavimento	18
6.1.4) Evaluación De la Respuesta de la Estructura del Pavimento y Subrasante	20
6.1.5) Extracción de núcleo.....	20
7) Metodología.....	21
7.1.) Localización Del Proyecto.....	21
7.2.) Dimensionamiento de las estructuras de pavimento	23
7.2.1) Caracterización de la subrasante y material granular remanente.....	23
7.2.2) Cálculo de Ejes equivalentes de 8.2 toneladas	24
7.2.3) Definición de espesores de las estructuras de pavimento.....	24
7.3.) <i>Producción de las mezclas asfálticas y Construcción del tramo de prueba</i>	26
7.3.1) Producción MDF-20.....	26
7.3.2) Producción Mezcla Densa en Caliente MD-12.....	30
7.3.3) Construcción.....	30
7.4.) Evaluación de las variables teóricas	33
7.5.) Análisis de las variables teóricas	33
7.5.1) Análisis de resistencia a la susceptibilidad a la humedad	33
7.5.2) Análisis de resistencia a la deformación plástica	34
7.5.3) Análisis de textura Superficial del Pavimento.....	34
7.5.4) Resultados de Evaluación Estructural Con Ensayos No Destructivos.....	35



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial


**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1


FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

7.5.5) Análisis de extracción de núcleos de las carpetas de rodadura	35
8) Resultados.....	36
8.1.) Resultados de Susceptibilidad a la Humedad	36
8.2.) Resultados de ensayo de Resistencia a la Deformación Plástica en Pista	37
8.3.) Resultados Propiedades Superficiales Del Pavimento	37
8.3.1) Resultados De Ensayo De Textura Superficial De Un Pavimento Mediante Círculo De Arena	37
8.3.2) Resultado De Coeficiente De Resistencia Al Deslizamiento Usando El Péndulo Británico Siguiendo Los Lineamiento De La Norma INVIAS I.N.V.E.-792-13	38
8.4.) Resultados de Evaluación Estructural Con Ensayos No Destructivos	39
8.5.) Extracción de núcleos	41
8.5.1) Núcleo de la carpeta de rodadura MD-12	41
8.5.2) Primer núcleo muestra MDF-20	41
8.5.3) Segundo núcleo muestra MDF-20 (Segunda muestra)	42
9) Análisis de resultados	43
10) Conclusiones Y Recomendaciones.....	45
11) Glosario	47
12) Referencias.....	48
13) Bibliografía.....	49
14) Anexos.....	50

	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Generación de MBR y utilización en la fabricación de mezclas recicladas de diferentes países de Europa.....	14
Tabla 2 Norma de ensayo y parámetros de aceptación resistencia de susceptibilidad a la humedad.....	17
Tabla 3 Norma de ensayo y parámetros de aceptación resistencia a la deformación plástica ...	18
Tabla 4 Programación para la evaluación de variables	33
Tabla 5 Clasificación de la textura según el valor de H	35
Tabla 6 Especificación para recepción de carpetas de rodamiento nuevas en Inglaterra	35
Tabla 7 Resultados de resistencia de susceptibilidad a la humedad	36
Tabla 8 Resumen de ensayo de resistencia a la deformación plástica.....	37
Tabla 9 Resultados deflectometría Eje Izquierdo	40

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Diferencia entre microtextura y macrotextura de un pavimento	19
Figura 2 Esquema de ensayo de círculo de arena	19
Figura 3 Metodología para la ejecución del proyecto	21
Figura 4 Localización tramo de prueba	22
Figura 5 Localización tramo de prueba	22
Figura 6 Localización de las estructuras de pavimento	23
Figura 7 Resultados de exploración Geotécnica Apique UARMV.....	24
Figura 8 Estructuras de pavimento diseñadas.....	25
Figura 9 RAP Producido por proceso de fragmentación.....	26
Figura 10 Acopio de material de RAP UAERMV	27
Figura 11 Planta de trituración de agregados UAERMV.....	27
Figura 12 Material de RAP	28
Figura 13 Material procesado y seleccionado por la planta de trituración de la UAERMV.....	28
Figura 14 Adición de cemento al RAP.....	29
Figura 15 Adición de emulsión tipo CRL-1	30
Figura 16 Localización y replanteo tramo de prueba.....	31
Figura 17 Demolición y retiro de la carpeta asfáltica	31
Figura 18 Retiro de la carpeta asfáltica y del material granular remanente	32
Figura 19 Instalación de base granular	32
Figura 20 Instalación de mezcla asfáltica.....	33
Figura 21 Comparación de resultados de resistencia de susceptibilidad a la humedad de las dos mezclas de estudio	36
Figura 22 Resumen de resultados de ensayos de resistencia a la deformación plástica.....	37
Figura 23 Resumen de resultados de textura superficial del pavimento	38
Figura 24 Resumen de resultados de ensayo de resistencia al deslizamiento equipo de péndulo británico	39
Figura 25 Resultados de deflectometría Eje Derecho	40
Figura 26 Resultados deflectometría Eje Izquierdo	40
Figura 27 Núcleo de mezcla tipo MD-12	41



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial


**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

Figura 28 Muestra 1 de Mezcla tipo MDF-20 (100% RAP)	42
Figura 29 Muestra 2 de Mezcla tipo MDF-20 (100% RAP)	42

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	


1) Introducción

La Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) es una entidad especial del orden distrital del Sector Descentralizado, la cual tiene como objeto: *“Programar y ejecutar las obras necesarias para garantizar el mantenimiento de la malla vial local construida de la ciudad...”*.

Adicional a lo anterior en cumplimiento de la función de la dirección General establecida en el numeral 6 del artículo 2 del acuerdo 11 de 2010 : *“Fomentar la investigación científica y tecnológica en materia de mantenimiento y rehabilitación de la malla vial local”* y la función de la Subdirección de Mejoramiento de la Malla Vial Local- SMVL indicada en el numeral 6 del artículo 7 del mismo acuerdo *“Desarrollar proyectos de investigación científica técnica y tecnología en materia de mantenimiento y rehabilitación de la malla vial local”*.

En este orden de ideas, la entidad decidió realizar un proyecto de investigación, que consiste en comparar el desempeño de dos estructuras de pavimento, la primera con capa de rodadura con mezcla asfáltica tipo Mezcla Densa en Frio, MDF20 con altos contenidos (100%) de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures) y la segunda con una mezcla patrón tipo Mezcla Densa en Caliente, MD-12, con el fin de poder ampliar el conocimiento del material de RAP y buscar su utilización en las intervenciones de Rehabilitación a cargo de la entidad.

Con base en lo anterior, el presente informe muestra el análisis de resultados de cada una de las etapas que constituyeron el proyecto mencionado anteriormente.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

2) Justificación


La UAERMV cuenta con un volumen considerable de material de RAP, producto de las demoliciones y/o fresado de pavimento asfáltico que la entidad realiza para el mantenimiento y rehabilitación de la malla vial local, por lo tanto, tiene la necesidad de desarrollar y validar técnicas para obtener el mayor beneficio de este material.

Considerando lo mencionado, la UAERMV suscribió el convenio 469 de 2017 con la Universidad Militar Nueva Granada- UMNG desarrollado en el año 2018, cuyo objeto fue “*Aunar esfuerzos entre la Universidad Militar Nueva Granada y la UAERMV para estudiar la respuesta mecánica y dinámica de mezclas asfálticas fabricadas con pavimento reciclado (RAP)*”.” y la cual arrojó como resultado la caracterización mecánica y dinámica de una mezcla tipo MDF-20 con altos contenidos de RAP.

Por otra parte, el material de RAP es un activo del Distrito, por lo cual se debe garantizar la mejor alternativa para reincorporarlo al ciclo de vida de las estructuras, aplicando el principio de economía circular, donde se pretende reducir la utilización de materiales vírgenes y disminuir el volumen de material desechado producto de las intervenciones en la conservación de la malla vial, cerrando los ciclos económicos y ecológicos de los recursos.

Adicionalmente la entidad, desde el punto de vista legal, debe dar cumplimiento a la resolución 1115 de 2012, emanada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA, 2012), por la cual se adoptan “*Los lineamientos técnicos- ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamientos de residuos de construcción y demolición el distrito capital*”. En esta resolución se establece en el ARTICULO 4 DE LAS ENTIDADES PUBLICAS Y CONSTRUCTORAS, se debe hacer uso de un porcentaje no inferior al 5% de ese material reciclado reutilizable, con aumentos anuales del 5% hasta alcanzar mínimo un 25%.

Teniendo en cuenta lo anterior, la SMVL desarrolló un proyecto de investigación, que comparara el desempeño de dos mezclas asfálticas utilizadas como capa de rodadura, una mezcla tipo MDF-20 con altos contenidos de RAP y una mezcla tipo convencional MD-12, aplicando los

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p><small>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</small></p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

resultados obtenidos en el convenio 469 de 2017 y de esa manera avanzar en el conocimiento del material de RAP, con el fin de buscar la mejor utilización de este y dar cumplimiento a la resolución ambiental 1115 de 2012 *“Por medio de la cual se adoptan los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital”*.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**


CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

3) Alcance

El alcance del proyecto consistió en diseñar, fabricar, construir, medir y analizar el desempeño como capa de rodadura de dos estructuras de pavimento, una con mezcla convencional MD-12 y otra con mezcla MDF-20 con un porcentaje de RAP 100%, adición de cemento portland en un 2% y emulsión asfáltica tipo CRL-1 en un 6,5%. Las dos estructuras se construyeron a escala real en una longitud de 10 m, cada una de 5 m, en la planta de producción La Esmeralda de la UAERMV.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	


4) Objetivos

4.1.) Objetivo General

Realizar la comparación del desempeño de dos estructuras de pavimento, la primera con capa de rodadura con mezcla asfáltica tipo MDF20 con contenido de 100% RAP y la segunda con una mezcla patrón convencional tipo MD-12.

4.2.) Objetivos Específicos

- Diseñar un tramo de prueba a escala real, compuesto por dos estructuras de pavimento, la primera con capa de rodadura con mezcla asfáltica tipo MDF20 y la segunda con una mezcla patrón convencional tipo MD-12.
- Fabricar y construir un tramo de prueba a escala real, compuesto por dos estructuras de pavimento, la primera con capa de rodadura con mezcla asfáltica tipo MDF20 y la segunda con una mezcla patrón convencional tipo MD-12.
- Realizar seguimiento al tramo de prueba construido, compuesto por dos estructuras de pavimento, la primera con capa de rodadura con mezcla asfáltica tipo MDF20 y la segunda con una mezcla patrón convencional tipo MD-12.
- Analizar y socializar los resultados de la comparación de las dos estructuras construidas en el tramo de prueba.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

5) Antecedentes

A partir de la crisis del petróleo de 1973, en algunos países de Europa y en Estados Unidos se han desarrollado bastantes esfuerzos para estudiar técnicas de reutilización del asfalto existente en las vías y que por su estado actual debe ser removido. En este sentido las agencias encargadas de la administración de carreteras han desarrollado técnicas con las cuales logran reincorporar este material a las estructuras nuevas, garantizando que su desempeño en algunos casos corresponda a un asfalto virgen, como indica (Ibarra & Alarcón Ibarra, 2003)“(…) *se ha podido comprobar que las mezclas recicladas pueden alcanzar un comportamiento prácticamente equivalente al de las mezclas convencionales, siempre y cuando se tenga el suficiente cuidado en su diseño, y proceso de fabricación.*”

Por otro lado, en los países europeos, también se hace uso en grandes porcentajes del material de asfalto reciclado, tal como se puede observar en la Tabla 1 Generación de MBR y utilización en la fabricación de mezclas recicladas de diferentes países de Europa, en donde Alemania es el país con mayor índice de utilización de asfalto reciclado.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019


Tabla 1 Generación de MBR y utilización en la fabricación de mezclas recicladas de diferentes países de Europa

País	Material fresado generado (x 1000 t)	Utilización del material fresado en mezclas recicladas en caliente (%)	Mezclas recicladas sobre el total fabricado (%)
Alemania	15000	15 - 80	60 - 65
Austria	-	-	3
Bélgica	1500	20 - 45	25
Croacia	20000	0	10
Dinamarca	220	57	31
Eslovenia	50	60	15
Finlandia	200	40	5-oct
Francia	< 5000	oct-45	< 10
Holanda	30000	70	60
Hungría	1200	0.3	-
Italia	13000	15	5
Noruega	520	6	4
Polonia	750	15 - 30	0.3
Reino Unido	5000	-	-
República Checa	710	oct-40	16
Rumania	80	20 - 40	40
Suecia	1000	15	19
Suiza	1750	15	-

Fuente: (Asociación Europea del Asfalto y Pavimento 2002)

Nota: MBR (Mezcla Bituminosa Reciclada), se refiere en países europeos a RAP.

En el año 2017, la Unidad Administrativa Especial de rehabilitación y Mantenimiento Vial, suscribió el convenio Interadministrativo 469 de 2017, el cual tuvo por objeto: *“Aunar esfuerzos entre la Universidad Militar Nueva Granada y la UAERMV para estudiar la respuesta mecánica y dinámica de mezclas asfálticas fabricadas con pavimento reciclado (RAP)”*.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

6) Marco Teórico

El reciclado consiste en reutilizar los materiales de las capas de la estructura de pavimento que tienen ligante asfáltico. Estos materiales que han estado sometidos a procesos de envejecimiento y fatiga pueden recuperar parte de sus propiedades, mediante la adición de nuevos ligantes que pueden ser betunes o emulsiones bituminosas, rejuvenecedores con o sin aporte de nuevos agregados y otros aditivos.

Por otro lado, las mezclas asfálticas recicladas pueden clasificarse según la temperatura de producción en: mezclas calientes, tibias y frías; es importante entender que, al comparar el desempeño de una mezcla asfáltica en frío con una mezcla asfáltica en caliente, autores como (Rondón Quintana et al, 2017, pág. 13), concluyeron al respecto “(...) *a pesar de esto y por lo general, este tipo de mezclas experimentan menor resistencia bajo carga monotónica y cíclica, menor resistencia al daño por humedad y al envejecimiento —durabilidad— que las mezclas en caliente...*”.

Así las cosas, como producto final del convenio 469 de 2017 suscrito entre la UMNG y la UAERMV, se derivaron las siguientes conclusiones, sobre el desempeño de una Mezcla Asfáltica Densa en frío tipo MDF-20, las cuales se tuvieron en cuenta para el desarrollo del objeto del presente informe:

- ESTADO GENERAL DEL RAP: *“El RAP entregado por la UAERMV presenta contenidos de humedad significativos, los cuales generan cambios en los resultados de los ensayos a ejecutar, especialmente en la dosificación de la emulsión.”* (Reyes et al, 2018)
- RESISTENCIA AL DAÑO POR HUMEDAD: *“La resistencia conservada que indiferentemente a el contenido de RAP a utilizar, no es viable emplearlo en una mezcla asfáltica sin aditivos por que presenta valores inferiores al 75%. En el caso de adicionar cemento en diferentes porcentajes, la resistencia se incrementa significativamente, siendo mayor en la medida que incrementa el cemento.”* (Reyes et al, 2018)



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

- RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN PISTA: *“La deformación plástica evidencio que se cumple con los requerimientos y es viable para todas las mezclas estudiadas con aditivos, sea cemento o rejuvenecedor. Sin embargo, para el caso de 3,0% de rejuvenecedor no se cumplió el requisito.”* (Reyes et al, 2018)
- RESISTENCIA ANTE CARGA MONÓTONICA: *“Los módulos resilientes para las mezclas con rejuvenecedor son extremadamente bajas, cercana a una base granular en especial a altos contenidos de rejuvenecedor y pocos contenidos de RAP. Sus módulos son aproximadamente una sexta parte que una mezcla asfáltica densa en caliente. En el caso de las mezclas con cemento, este aumenta proporcionalmente se incrementa el contenido de cemento y es indiferente del porcentaje de RAP y sus magnitudes son aproximadamente la tercera parte de una mezcla en caliente.”* (Reyes et al, 2018)
- RESISTENCIA ANTE CARGA CÍCLICA: *“Las leyes de fatiga tienen pendientes similares a la muestra patrón y difieren entre un 15% a 20% (incremento o decremento), siendo bajas las que tienen rejuvenecedor y mayores con cemento. Se resalta que dado el tipo de vía donde se desea aplicar las mezclas y cuyo flujo vehicular es bajo, no existe una afectación significativa.”* (Reyes et al, 2018).


6.1.) Variables Teóricas Para Evaluar En El Proyecto

Considerando la disponibilidad de equipos de la UAERMV, a continuación, se indican las variables teóricas que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del proyecto.

6.1.1) Resistencia a la Susceptibilidad a la Humedad

El comportamiento del concreto asfáltico, está en función de diferentes variables, una de ellas es el potencial de daño por humedad, esto se resume en el principio que ante la presencia del agua la mezcla asfáltica puede disminuir drásticamente su desempeño ante las solicitaciones mecánicas y dinámicas para la cual fue diseñada, como concluyen (Rondón Quintana, Ruge Cárdenas, & Moreno Anselmi, Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa).

Por este motivo, el Instituto Nacional de Vías pública la norma técnica I.N.V.E-725-13, en donde se establece los lineamientos para preparar y hacer especímenes, con el propósito de medir el

	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

efecto del agua sobre las mezclas asfálticas utilizando la prueba de tracción indirecta. Los parámetros de aceptación para las dos mezclas se resumen en la Tabla 2 Norma de ensayo y parámetros de aceptación resistencia de susceptibilidad a la humedad.

Tabla 2 Norma de ensayo y parámetros de aceptación resistencia de susceptibilidad a la humedad

TIPO DE MEZCLA	Parámetro	Norma de realización de ensayo	de Especificación de del criterio de aceptación	Parámetro
MD-12	Resistencia a la susceptibilidad a la humedad	INVE-725-13	IDU sección 510-11	Mínimo 80%
MDF-20 ¹	Resistencia a la susceptibilidad a la humedad	INVE-725-13	IDU sección 550-11	Mínimo 75%

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2) Resistencia a la Deformación Plástica en Pista o Ahuellamiento

Las mezclas asfálticas están sometidas a daños por deformaciones plásticas, son comúnmente ocasionadas por la combinación de temperaturas y cargas de tránsito elevadas, los cuales no son reversibles, por lo que es necesario evaluar la susceptibilidad de la mezcla a este tipo de daño.

Para el presente proyecto se tuvieron en cuenta los lineamientos establecidos de la norma de I.N.V.E-756-13 para la realización de los ensayos. Los parámetros de aceptación para las dos mezclas se resumen en la Tabla 3 Norma de ensayo y parámetros de aceptación resistencia a la deformación plástica

¹ Para efectos de este proyecto de investigación y con el fin de que existe un parámetro de comparación, se realizaron los ensayos siguiendo los lineamientos de la especificación I.N.V.E-725-13, aunque en la sección 550-11 de la especificación IDU, para la evaluación de la resistencia conservada para mezclas en frío, hace referencia al ensayo INV-E 738-13 "Efecto del agua sobre la resistencia a la compresión de las mezclas asfálticas compactadas.


	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Tabla 3 Norma de ensayo y parámetros de aceptación resistencia a la deformación plástica

TIPO DE MEZCLA	Parámetro DE	Norma de realización de ensayo	de Especificación de del criterio de aceptación	Parámetro
MD-12	Resistencia a la deformación plástica en pista	INVE-756-13	IDU sección 510-11	Tránsito T4 Máximo 20 μ m/minuto entre el intervalo 105 a 120 min. * ²
MDF-20	Resistencia a la deformación plástica en pista	INVE-756-13	IDU sección 550-11	Tránsito T4 Máximo 20 μ m/minuto entre el intervalo 105 a 120 min.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3) *Propiedades Superficiales Del Pavimento*

La superficie del pavimento debe garantizar una adherencia mínima entre esta y el neumático, bajo las condiciones más críticas, para obtener las condiciones de seguridad del vehículo, por lo tanto, es necesario evaluar la resistencia al deslizamiento y textura superficial del pavimento. Para la evaluación de las dos variables anteriores se pueden emplear los siguientes ensayos: uno para medir el Coeficiente de resistencia al deslizamiento norma I.N.V.E 792-13 usando el péndulo británico y el otro para determinar la Textura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena norma I.N.V.E 791-13.

En la Figura 1 Diferencia entre microtextura y macrotextura de un pavimento, se ilustra la diferencia entre la microtextura y macrotextura de un pavimento asfáltico.

² De acuerdo con lo establecido en la especificación IDU, para tránsitos del nivel T0 y T3 no se requerirá la ejecución de esta prueba, a no ser que sea solicitada en las especificaciones particulares. Sin embargo, si el tránsito se encuentra en este rango se tomará como criterio de aceptación el definido por la especificación para el tránsito T-4.


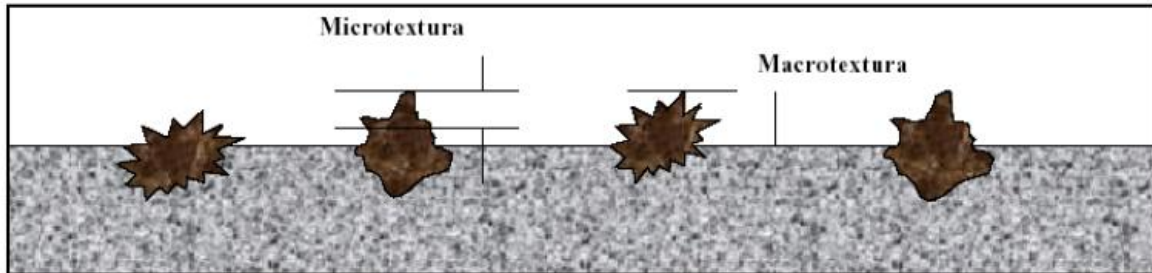
	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Figura 1 Diferencia entre microtextura y macrotextura de un pavimento

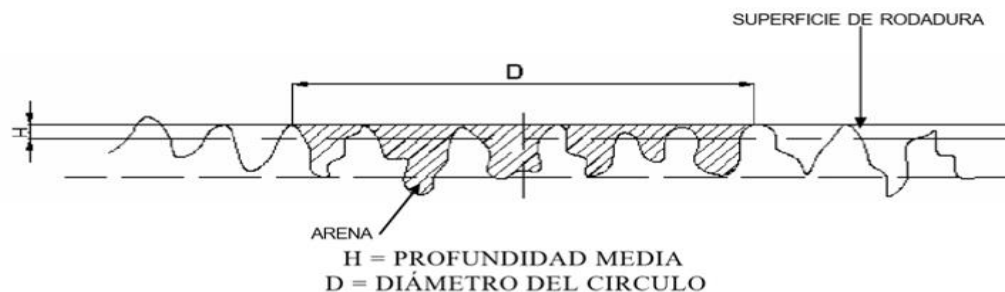


Fuente: (INVIAS, Guía metodología para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras , 2008, pág. 93)

- Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico (Microtextura)
Este ensayo se utiliza para medir las propiedades superficiales de fricción (resistencia al deslizamiento) utilizando el péndulo de Transport and Road Research Laboratory (British Pendulum Skid Resistance Tester), cuyo método está establecido en la norma I.N.V.E 792-13 y mediante el cual se obtiene el coeficiente C.R.D (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento).


- Textura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena (Macrotextura)
Este ensayo determina la textura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena y cuyo método está establecido en la norma I.N.V.E 791-13, con el cual a partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los vacíos superficiales rellenos por la arena, valor que se puede utilizar como medida de la textura superficial del pavimento, como se ilustra en la Figura 2 Esquema de ensayo de círculo de arena.

Figura 2 Esquema de ensayo de círculo de arena



$$H = \frac{4 \times VOL. ARENA}{\rho D^2}$$

Fuente. (INVIAS, COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO EL PÉNDULO, 2007)

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	


Para el presente proyecto se realizó una comparación entre las diferentes capas de rodadura de los resultados obtenidos por el ensayo de péndulo británico y textura superficial con el método de ensayo de círculo de arena.

6.1.4) *Evaluación De la Respuesta de la Estructura del Pavimento y Subrasante*

La evaluación de la respuesta del conjunto pavimento-subrasante ante una carga monotónica, sirve para comparar la rigidez de las estructuras de pavimento evaluadas. Para medir lo anterior se realizó un ensayo denominado “MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO DISPOSITIVO DE CARGA ESTÁTICA NO CONTINUA, VIGA BENKELMAN”, bajo los lineamientos de la norma INVIAS 795-13. Este ensayo es catalogado como un ensayo no destructivo (END), que tiene como fin medir las deflexiones de la estructura de pavimento, ante una determinada carga. Para el caso de estudio, se utilizó el método de la deflexión, Método de la recuperación.

6.1.5) *Extracción de núcleo*

Este tipo de ensayos son de tipo destructivos y se realizan con equipo extractor de núcleos y tiene como fin realizar una evaluación visual del estado de la carpeta de rodadura, a una edad específica del pavimento. La extracción de los núcleos se realizó siguiendo los lineamientos de la norma INVE- 758-13 “*Extracción de testigos de pavimentos asfálticos*”.

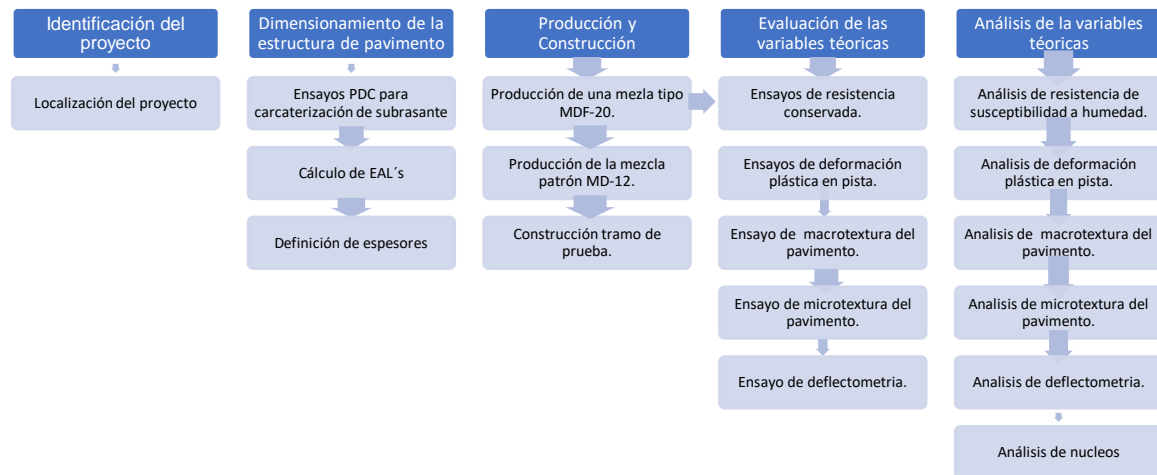
	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

7) Metodología

La metodología para el desarrollo del proyecto consistió en la identificación del sitio donde se desarrollaría el proyecto, dimensionamiento de las estructuras de pavimento, producción y construcción de las estructuras de pavimento, evaluación periódica de las variables teóricas y análisis de resultados. Como se indica en la

Figura 3 Metodología para la ejecución del proyecto.

Figura 3 Metodología para la ejecución del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

7.1.) Localización Del Proyecto

Para la identificación del sitio de ejecución del proyecto se analizaron varios sitios, sin embargo, por facilidad operativa del proyecto, ya que se contaba con el laboratorio y las plantas de producción, se decidió realizar el tramo de prueba en la ciudad de Bogotá D.C, en la Sede de Producción: de la UAERMV en el Parque minero industrial “El Mochuelo”.km 3 vía Pasquilla de la localidad de Ciudad Bolívar. En las figuras 4, 5 y 6 se ilustra la localización del tramo de prueba.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

Figura 4 Localización tramo de prueba



Fuente: Google maps

Figura 5 Localización tramo de prueba



Fuente: Elaboración propia.


	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Figura 6 Localización de las estructuras de pavimento



Fuente: Elaboración propia.

7.2.) Dimensionamiento de las estructuras de pavimento

Esta etapa del proyecto consistió en las actividades de caracterización de la subrasante, cálculo de ejes equivalentes y definición de espesores de cada capa de la estructura de los pavimentos.

7.2.1) Caracterización de la subrasante y material granular remanente

Para la evaluación de la estructura existente se realizó un apique el cual se ilustra en la Figura 7 Resultados de exploración Geotécnica Apique UARMV. A continuación, se describe las estructuras existentes encontradas en el apique. Para más información se puede consultar los resultados en el (ANEXO 1).

De acuerdo con el apique realizado por la UAERMV, se encontró la siguiente estructura de pavimento con su respectivo perfil estratigráfico:

- Fresado estabilizado con espesor de 0,27m.
- Segunda capa de material granular remanente con espesor de 0,63 m, compuesta por suelo clasificado según la AASHTO y U.S.C.S, como; A-1-B y GM respectivamente, humedad natural 12,6% límite líquido NL%, límite plástico NP%, índice de plasticidad NP%.




 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Figura 7 Resultados de exploración Geotécnica Apique UARMV

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD		INFORME DE ENSAYO PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO INV E-101 y 102-13														
CODIGO: PRO-L-FM-001		VERSION: 3										FECHA DE APLICACION: AGOSTO 2018				
Cliente:	SMVL	CIV:	N/A	Hoja:	1 DE 5											
Dirección y/o procedencia:	TRAMO DE PRUEBA BASCULA - TRAMO IZQUIERDO	Apique N°:	1	Código:	AP-2,00-10-439											
Localidad y/o Barrio:	CIUDAD BOLIVAR	Placa:	N/A	N° Muestras:	1											
Fecha recepción:	2018-10-31	Fecha ejecucion:	2018-10-31	Fecha informe:	2018-11-07											
DATOS DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO		Calle: Calzada		Norte-sur		Oriente-Occidente		Nivel Freático (m)		N.A.						
				Sur-Norte		X		Occidente-Oriente		Fin de Apique (m)						
INVESTIGACION DE SUELOS Y ROCA PARA PROPOSITOS DE INGENIERIA Y DESCRIPCION E IDENTIFICACION DE LOS SUELOS																
PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL INV E-101-13 INV E-102-13																
Prof. (m)	Símbolo	Muestra N°	Descripción	ASHTO	SUBC	INDICE GRUPO	Humedad natural %	LIMITES			GRANULOMETRIA (%)			Equivalente de Arena (%)	Materia Orgánica (%)	PDC (CBR %)
								LL %	LP %	IP	GRAVA	ARENA	N° 200			
0,27			FRESADO ESTABILIZADO													
0,90		1	GRAVA ARENO LIMOSA, AMARILLA CLARA CON PRESENCIA DE SOBRETAMAÑOS MAYOR A 3". HUMEDAD MEDIA.	A-1-b	GM	0	12,6	N.L	N.P	N.P	38	37	25	12	N/A	N/A
Observaciones:																
Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorizacion escrita del laboratorio de Calidad de suelos, asfaltos y pavimentos de la UAERMV.																
Laboratorio de calidad de suelos, asfaltos y pavimentos de la UAERMV Sede de Producción Parque Minero Industrial El Mochuelo Kilometro 3 vía Pasquilla localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. - Colombia																

Fuente: Apique ejecutado UAERMV.

7.2.2) Cálculo de Ejes equivalentes de 8.2 toneladas

Para el cálculo de ejes equivalentes, este se estimó a partir del conteo y pesaje de vehículos del último semestre del año 2018, en la sede de producción, por lo cual se determinó el Factor camión para cada tipo de vehículo, para este tramo de prueba en particular.

Después de realizar el cálculo del número de ejes equivalentes por conteo y pesaje, se determinó que el tránsito corresponde al nivel de tráfico T2, según la Tabla 1.1 Categoría de tránsito IDU de diseño de la GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C. El total de ejes equivalentes esperados para el periodo de diseño corresponde a 1.129.154, ejes de 8,2 toneladas. (Ver anexo 2).

7.2.3) Definición de espesores de las estructuras de pavimento

La definición de espesores de las estructuras de pavimento se realizó siguiendo los lineamientos de la metodología AASHTO 93. En la Figura 8 Estructuras de pavimento diseñadas, se presentan el esquema de las dos estructuras diseñadas para este proyecto de investigación.


	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Figura 8 Estructuras de pavimento diseñadas

ESTRUCTURA CON CAPA DE RODADURA EN MD-12			ESTRUCTURA CON CAPA DE RODADURA EN MDF-20		
ESPESOR		TIPO DE CAPA	ESPESOR		TIPO DE CAPA
cm	Pulg		cm	Pulg	
9,00	3,54	MD-12	16,00	6,30	MDF-20
15,00	5,91	BG-C	15,00	5,91	BG-C
NME		MGR	NME		MGR
66,00	25,98		59,00	23,23	
NIVEL DE SUBRASANTE			NIVEL DE SUBRASANTE		

MD-12 : Mezcla Densa en Caliente
MDF-20 : Mezcla Densa en Frio
MGC: Material Granular Remanente
NME: Nivel Máximo de Excavación


En el anexo 3, se adjunta el soporte de la evaluación y diseño estructural.

Para el diseño de las estructuras de pavimento y de acuerdo con los estudios de caracterización de mezclas asfálticas vigentes por parte de la UAERMV para el año 2018, en la Tabla 4 Caracterización de las mezclas asfálticas, se presentan los módulos de diseño utilizados para cada material:

Tabla 4 Caracterización de las mezclas asfálticas

MATERIAL	MODULO (PSI)	SN (adi)	FUENTE
MD-12 + Fibras	705.561	0,50	Caracterización de materiales UAERMV
MD-12	11.209	0,26	Caracterización de materiales UAERMV

Fuente: Elaboración propia.

	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

7.3.) Producción de las mezclas asfálticas y Construcción del tramo de prueba

7.3.1) Producción MDF-20

La producción de la mezcla MDF-20, se realizó en la planta de mezcla en frío de la UMV. El proceso para la elaboración de la mezcla tipo MDF-20 se realizó con el equipo disponible de la UMV y el cual consta de los siguientes pasos:

- **Producción de RAP:** La producción de RAP se puede realizar de dos maneras, dependiendo del equipo que se disponga para la demolición de la carpeta asfáltica existente in situ, es así como este paso puede realizarse utilizando el equipo de fresadora (fresado) o por fragmentación utilizando equipos de demolición como el martillo, como se registra en la Figura 9 RAP Producido por proceso de fragmentación.

Figura 9 RAP Producido por proceso de fragmentación



Fuente: Elaboración propia.

- **Transporte y acopio:** El material del RAP In situ es transportado a la sede de producción de la UAERMV donde es acopiado, como se registra en la Figura 10 Acopio de material de RAP UAERMV.


	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Figura 10 Acopio de material de RAP UAERMV



Fuente: Elaboración propia.

- Trituración y ajuste de granulometría:** Se realiza el trasiego del sitio de acopio hasta el equipo de trituración, donde se reducen los tamaños, en la Figura 11 Planta de trituración de agregados UAERMV se ilustra la planta de trituración de la UAERMV.

Figura 11 Planta de trituración de agregados UAERMV



Fuente: Elaboración propia.


	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Figura 12 Material de RAP



Fuente: Elaboración propia.


- Selección de material:** En este paso se clasifica el material, entre el que se ajusta a la granulometría para la fabricación de la MDF-20 y el que no (material de rechazo), como se ilustra en la figura Figura 13 Material procesado y seleccionado por la planta de trituración de la UAERMV.

Figura 13 Material procesado y seleccionado por la planta de trituración de la UAERMV



Fuente: Elaboración propia.

- Adición de cemento:** Una vez se obtiene un material con la granulometría requerida, se realiza la adición de cemento hidráulico de uso general en el porcentaje determinado en la fórmula de trabajo, el cual es mezclado utilizando una retroexcavadora de oruga. Es

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

importante resaltar que cada vez que la entidad cambie de proveedor y/o tipo cemento, se deberá ajustar el diseño de la mezcla. Este proceso se realiza artesanalmente como se ilustra en la Figura 14 Adición de cemento al RAP.

Figura 14 Adición de cemento al RAP



Fuente: Elaboración propia.

- Adición de la emulsión asfáltica:** Posterior a la adición de cemento hidráulico, se agrega emulsión en un porcentaje determinado en la fórmula de trabajo, por medio del sistema de flautas de la planta de producción de mezclas asfáltica en frío. Igualmente se resalta que cada vez que la entidad cambie de proveedor de este material ligante, se deberá ajustar el diseño de la mezcla. Este proceso se realiza en la planta de mezcla en frío como se ilustra en la Figura 14 Adición de cemento al RAP .


 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Figura 15 Adición de emulsión tipo CRL-1



Fuente: Elaboración propia.

7.3.2) Producción Mezcla Densa en Caliente MD-12

La producción de esta mezcla se realizó de manera convencional en la planta de mezcla en caliente de la UAERMV, con agregados vírgenes.

7.3.3) Construcción

Esta etapa consistió en la construcción de dos estructuras de pavimento. La primera estructura con capa de rodadura con mezcla asfáltica densas en caliente tipo MD-12 donde se siguieron los lineamientos establecidos en la especificación IDU, sección 510-11 y la segunda estructura una mezcla asfáltica densa en frío con la inclusión de 100% RAP siguiendo los lineamientos establecidos en la especificación IDU 550-11. A continuación, se indica el proceso constructivo aplicado para el tramo de prueba.

- Localización y replanteo tramo de prueba: Esta actividad consistió en establecer el alineamiento horizontal, el cual se estableció con el fin de permitir la maniobrabilidad del acceso y salida de volquetas a la báscula de pesaje de la planta de producción de la UAERMV, como se registra en la Figura 16 Localización y replanteo tramo de prueba.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

Figura 16 Localización y replanteo tramo de prueba



Fuente: Elaboración propia.

- Demolición y retiro de la carpeta asfáltica: Se realizó la demolición del fresado estabilizado existente por el método de fragmentación, dejando la excavación a nivel de base granular de la estructura existente (material granular remanente), como se registra en la Figura 17 Demolición y retiro de la carpeta asfáltica

Figura 17 Demolición y retiro de la carpeta asfáltica



Fuente: Elaboración propia.

- Después del retiro de la carpeta y de acuerdo con los diseños de pavimento, se realizó la excavación al Nivel Máximo de Excavación - NME establecido para cada estructura de pavimento, como se registra en la Figura 18 Retiro de la carpeta asfáltica y del material granular remanente



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

Figura 18 Retiro de la carpeta asfáltica y del material granular remanente



Fuente: Elaboración propia.

- Instalación de base granular: Para todas las estructuras se realizó la instalación de base granular en un espesor de 0,15, controlando los respectivos niveles para la posterior instalación de la mezcla asfáltica en los espesores indicados en el diseño, como se ilustra en la Figura 19 Instalación de base granular

Figura 19 Instalación de base granular



Fuente: Elaboración propia.

- Instalación de mezcla asfáltica: De acuerdo con la especificación IDU-510 y 550 de 2011 y conforme con el equipo disponible por la UAERMV, se realizó la instalación de la carpeta asfáltica en los espesores indicados en el diseño, como se registra en la Figura 20 Instalación de mezcla asfáltica.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

Figura 20 Instalación de mezcla asfáltica.



Fuente: Elaboración propia.

7.4.) Evaluación de las variables teóricas

Teniendo en cuenta las variables teóricas definidas para el proyecto se adelantaron las pruebas que se relacionan en la Tabla 5 Programación para la evaluación de variables. Es importante aclarar que algunas de ellas se realizaron una sola vez y otras periódicamente:

Tabla 5 Programación para la evaluación de variables

VARIABLE	MEDICIONES REALIZADAS
Resistencia susceptibilidad a la humedad	Una vez (Fabricación de mezclas asfálticas)
Resistencia deformación plástica	Una vez (Fabricación de mezclas asfálticas)
Textura superficial del pavimento	2019 (febrero, mayo, julio, septiembre) 2020 (enero).
Coefficiente de resistencia al deslizamiento	2019 (febrero, mayo, julio, septiembre) 2020 (enero).
Deflectometría con equipo de Viga Benkelman	2019 (marzo, junio, septiembre) 2020 (febrero)
Extracción de núcleos	2020 (enero)


Fuente: Elaboración propia.

7.5.) Análisis de las variables teóricas

Se realizó la comparación del desempeño de las dos mezclas asfálticas, en cada una variables propuestas y descritas en el capítulo 6, y cuyo resultado se presentan en el capítulo 8.

7.5.1) Análisis de resistencia a la susceptibilidad a la humedad

Para la elaboración de este ensayo se tomaron muestras de producción de cada una de las mezclas y posteriormente se siguieron los lineamientos de la norma Invias 725-13 para su

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

ejecución y cálculos. Para la realización de este ensayo se utilizó el equipo y personal de la UAERMV. Las variables para evaluar en este ensayo son:

- RTS: Promedio resistencia seca
- RTH: Promedio resistencia húmeda.
- RRT: Relación de resistencia a la tensión.

7.5.2) Análisis de resistencia a la deformación plástica

Se tomaron muestras de cada una de las mezclas en la fase de producción y posteriormente se siguieron los lineamientos de la norma Invias 756-13 para su ejecución y cálculos. Para la realización de este ensayo se utilizó el equipo y personal de la UAERMV. En este ensayo se miden los siguientes parámetros:

- V30-45(mm/min): Relación de la deformación que se presenta la muestra entre el minuto 30 y 45 del ensayo de deformación plástica.
- V75-90(mm/min): Relación de la deformación que se presenta la muestra entre el minuto 75 y 90 del ensayo de deformación plástica.
- V105-120(mm/min): Relación de la deformación que se presenta la muestra entre el minuto 30 y 45 del ensayo de deformación plástica.

7.5.3) Análisis de textura Superficial del Pavimento

Se realizaron mediciones, de micro y macrotextura de la superficie de las dos estructuras del pavimento. Para esto el personal y equipo de la UMV se desplazó al tramo de prueba, donde se tomaron lecturas de la altura H del círculo de arena, siguiendo los lineamientos de la norma I.N.V.E 791-13, y se obtuvieron datos de CRD con el equipo TRL siguiendo los lineamientos de la norma I.N.V.E 792-13.

Para el caso del ensayo de círculo de arena algunos autores han sugerido dar una clasificación a la superficie como se presenta en la Tabla 6 Clasificación de la textura según el valor de H:


	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

Tabla 6 Clasificación de la textura según el valor de H

TEXTURA	H (mm)
Muy lisa	<0,2
Lisa	0,2<h<0,4
Media	0,4<H<0,8
Profunda	0,8<H<0,12
Muy profunda	1,2<H

Fuente: (Leiva, 2015)

Para el caso del ensayo TRL algunos en Inglaterra se restringe el recibo de obras a un índice de péndulo de fricción superior a 0,65, como se indica en la Tabla 7 Especificación para recepción de carpetas de rodamiento nuevas en Inglaterra.

Tabla 7 Especificación para recepción de carpetas de rodamiento nuevas en Inglaterra

Tipo de carpeta	Altura de arena (mm)	Péndulo de fricción (CRD)
Mezcla Bituminosa	0,7	0,65


Fuente: (Leiva, 2015)

7.5.4) Resultados de Evaluación Estructural Con Ensayos No Destructivos

La evaluación de la deflexión central de las estructuras de pavimento permite conocer la rigidez de las mezclas y considerando que la evaluación se realizó el mismo día, bajo las mismas solicitaciones de carga y ambientales, se comparan los resultados con el fin de determinar cuál mezcla es más rígida.

7.5.5) Análisis de extracción de núcleos de las carpetas de rodadura

La evaluación de los núcleos como lo indica (INVIAS, Guía metodología para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras, 2008), "(...) proporciona información en relación con el espesor de las capas ligadas y la condición de sus materiales. La inspección visual de un núcleo por parte de un Ingeniero experimentado le permite detectar problemas de adhesividad entre las mezclas asfálticas, la existencia o ausencia de liga entre capas, deficiencias de composición y compactación, el tipo y la forma de los agregados etc".

	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

8) Resultados

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio para analizar las diferentes variables teóricas del proyecto.

8.1.) Resultados de Susceptibilidad a la Humedad

De acuerdo con el programa de ensayos, este se realizó una vez sobre una bachada de la mezcla utilizada durante la instalación de las carpetas de rodadura, el ensayo se realizó siguiendo los lineamientos de ensayo de la norma I.N.V.E-725-13. El resumen de los resultados se presenta en la Tabla 8 Resultados de . Para mayor detalle ver el anexo 4.

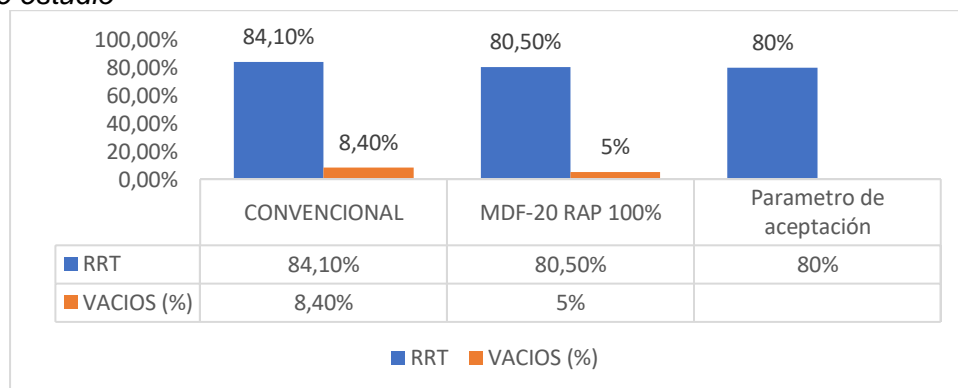
Tabla 8 Resultados de resistencia de susceptibilidad a la humedad

TIPO DE MEZCLA	RRT	RTS	RTH	VACIOS (%)
CONVENCIONAL	84,10%	399,2	335	8,40%
MDF-20 RAP 100%	80,50%	3145	454	5%

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21 Comparación de resultados de resistencia de susceptibilidad a la humedad de las dos mezclas de estudio, se presenta la comparación de los resultados de Resistencia de la susceptibilidad a la humedad de las dos mezclas y el porcentaje de vacíos de cada mezcla.

Figura 21 Comparación de resultados de resistencia de susceptibilidad a la humedad de las dos mezclas de estudio



Fuente: Elaboración propia.



8.2.) Resultados de ensayo de Resistencia a la Deformación Plástica en Pista

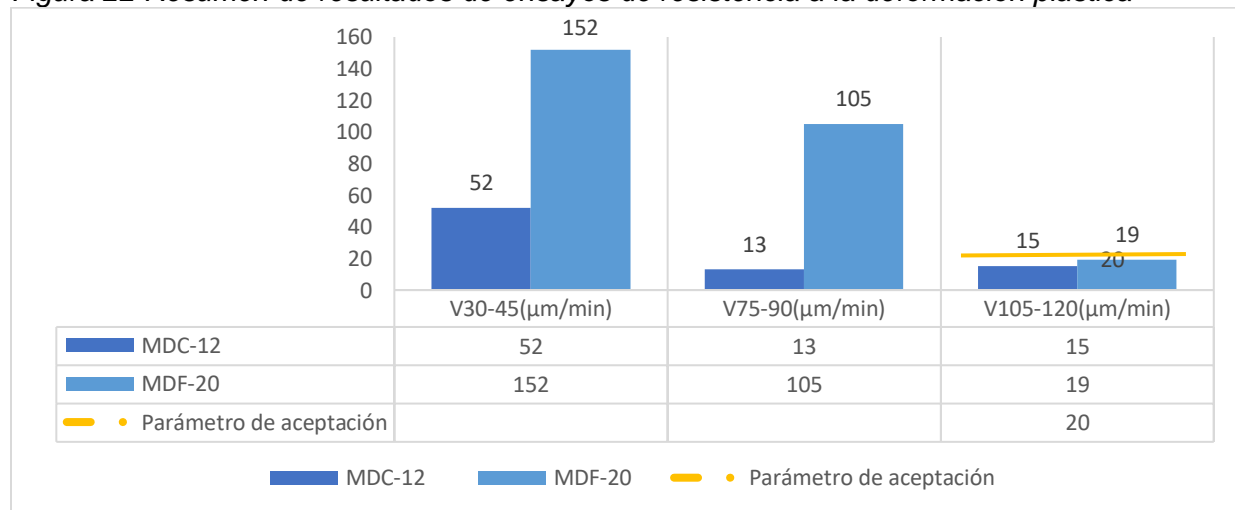
De acuerdo con la periodicidad establecida en la metodología para la medición de este ensayo, se realizó una vez sobre una bachada de la mezcla utilizada durante la instalación de la carpeta de rodadura, el ensayo se realizó siguiendo los lineamientos de la norma de ensayo se realizó siguiendo los lineamientos de la norma de ensayo I.N.V.E-756-13. Los resultados se presentan en la Tabla 9 y Figura 22 Resumen de resultados de ensayos de resistencia a la deformación .

Tabla 9 Resumen de ensayo de resistencia a la deformación plástica

Tipo Mezcla	V30-45($\mu\text{m}/\text{min}$)	V75-90($\mu\text{m}/\text{min}$)	V105-120($\mu\text{m}/\text{min}$)
MD-12	52	13	15
MDF-20	152	105	19

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22 Resumen de resultados de ensayos de resistencia a la deformación plástica



Fuente: Elaboración propia.

8.3.) Resultados Propiedades Superficiales Del Pavimento

8.3.1) Resultados De Ensayo De Textura Superficial De Un Pavimento Mediante Círculo De Arena

De acuerdo con la periodicidad establecida en la metodología para la medición de este ensayo, este se realizó en los meses de febrero, mayo, julio, septiembre de 2019 y se realizó una medición final en el mes de febrero de 2020, realizando una prueba al desempeño por textura



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

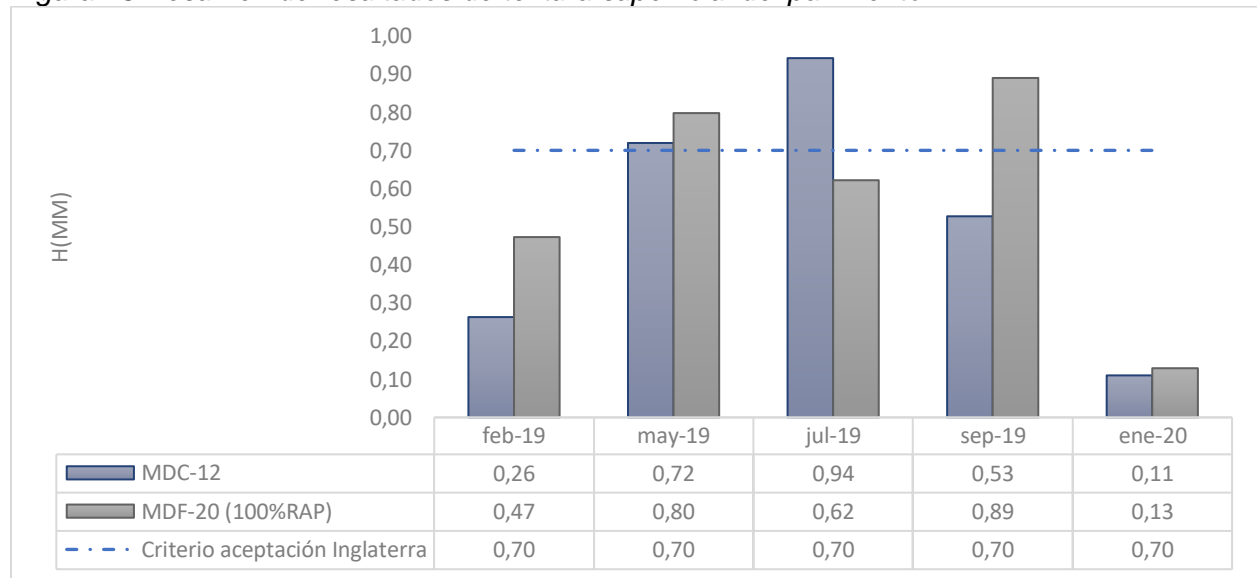
CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

superficial de un pavimento, con el método de círculo de arena, siguiendo los lineamientos de la norma INVIAS 791-13, los resultados se presentan en la Figura 23 Resumen de resultados de textura superficial del pavimento:

Figura 23 Resumen de resultados de textura superficial del pavimento



Fuente: Elaboración propia.

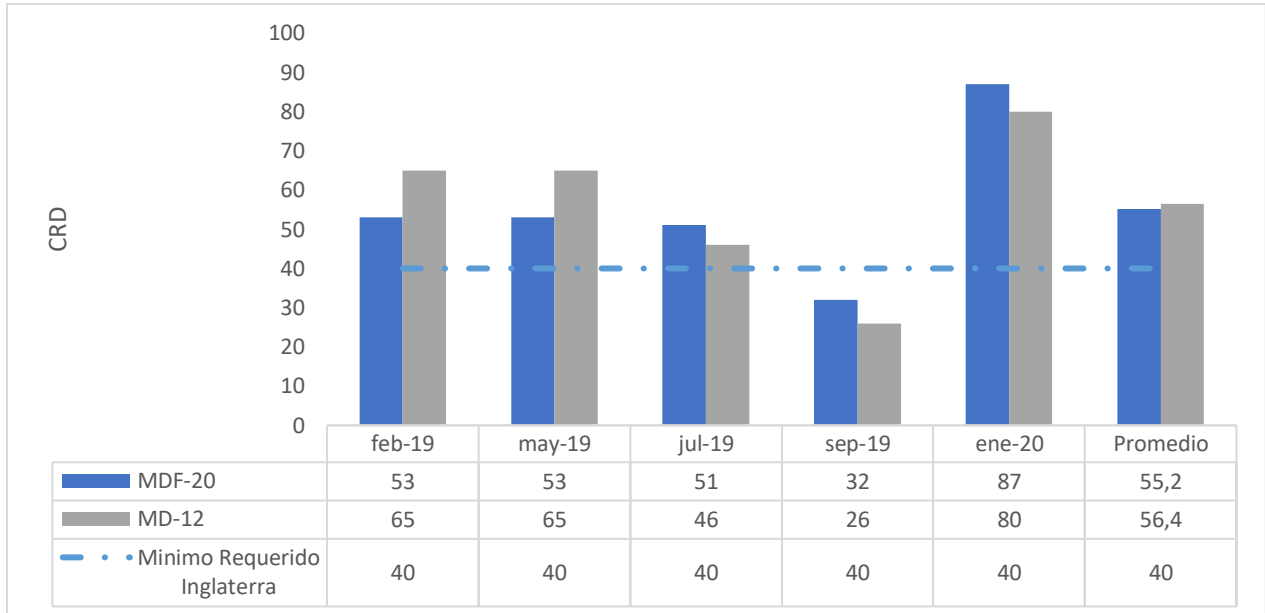
8.3.2) Resultado De Coeficiente De Resistencia Al Deslizamiento Usando El Péndulo Británico Siguiendo Los Lineamiento De La Norma INVIAS I.N.V.E. -792-13

De acuerdo con la periodicidad establecida en la metodología para la medición de este ensayo se realizó en los meses de febrero, mayo, julio y septiembre de 2019 y una medición final en el mes de febrero de 2020, con el equipo de péndulo británico, siguiendo los lineamientos de la norma INVIAS 792-13, los resultados se presentan en la Figura 24 Resumen de resultados de ensayo de resistencia al deslizamiento equipo de péndulo británico:

En la Figura 24 Resumen de resultados de ensayo de resistencia al deslizamiento equipo de péndulo británico, se presenta un histograma con los resultados de resistencia al deslizamiento, de los ensayos resultados para el tramo de prueba multiproyectos.



Figura 24 Resumen de resultados de ensayo de resistencia al deslizamiento equipo de péndulo británico



Fuente: Elaboración propia.

8.4.) Resultados de Evaluación Estructural Con Ensayos No Destructivos

De acuerdo con el programa de ensayos, el ensayo no destructivo (END) de deflectometría con equipo de viga Benkelman, siguiendo los lineamientos de la norma INVIAS 795-13, los resultados se presentan en la tabla 10 y 11 y figura 25 y 26.:

Tabla 8 Resultados deflectometría Eje Derecho

FECHA	MDF-20 (ED)	MD-1212 (ED)
1/03/2019	72	72
27/06/2019	100	48
12/09/2019	104	96
25/02/2020	40	32

Fuente: Elaboración propia.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

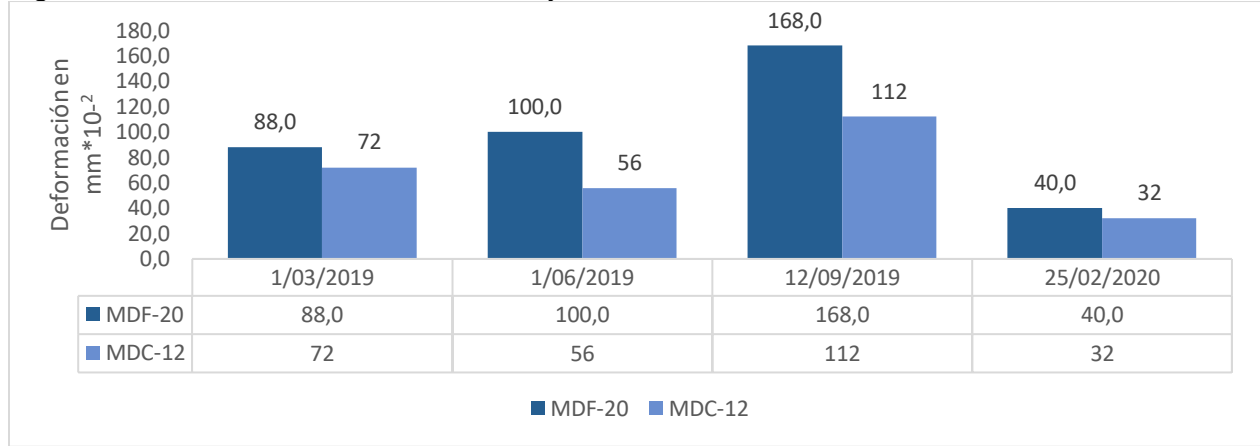
**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

Figura 25 Resultados de deflectometría Eje Derecho



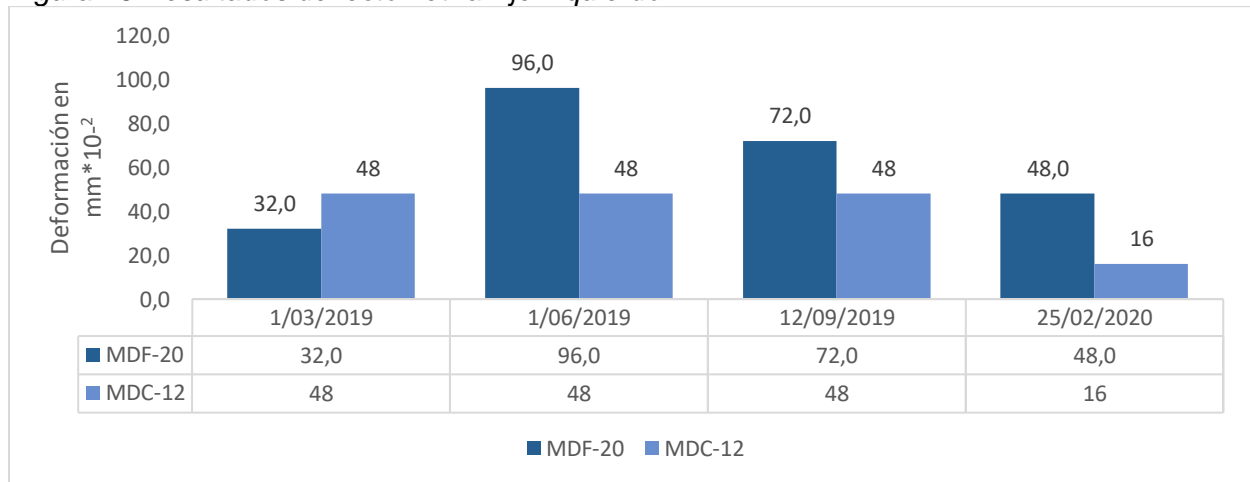
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10 Resultados deflectometría Eje Izquierdo

FECHA	MDF-20 (EI)	MD12 (EI)
1/03/2019	88	8
27/06/2019	100	60
12/09/2019	168	112
25/02/2020	48	40

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26 Resultados deflectometría Eje Izquierdo



Fuente: Elaboración propia.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

8.5.) Extracción de núcleos

Para el cierre del proyecto se realizó extracción de núcleos, para el caso de la mezcla MD-12 se obtuvo una muestra y para la MDF-20 se obtuvieron dos muestras con resultados e interpretaciones diferentes.

8.5.1) Núcleo de la carpeta de rodadura MD-12

La muestra está en excelentes condiciones no presenta deterioros estructurales como se evidencia en la figura 27.

Figura 27 Núcleo de mezcla tipo MD-12



Fuente: Elaboración propia.

8.5.2) Primer núcleo muestra MDF-20

La muestra se deshizo a 8 cm de profundidad, durante la extracción del núcleo. Se evidencia la falta de adhesión y cohesión entre la emulsión asfáltica y el agregado (RAP). Como se evidencia en la figura 28.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

Figura 28 Muestra 1 de Mezcla tipo MDF-20 (100% RAP)



Fuente: Elaboración propia.


8.5.3) Segundo núcleo muestra MDF-20 (Segunda muestra)

La muestra está en términos generales se encuentra en buenas condiciones, el deterioro de fisura se presenta en 3 cm medidos desde la superficie a la parte inferior de la carpeta de rodadura. Por lo cual se deberían realizar actividades como por ejemplo restauración para prolongar el tiempo de servicio de la estructura de pavimento. En la figura 29 se registra el estado de la carpeta de rodadura en planta y perfil, del segundo núcleo tomado en el tramo de prueba.

Figura 29 Muestra 2 de Mezcla tipo MDF-20 (100% RAP)



Fuente: Elaboración propia.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

9) Análisis de resultados


Con respecto a los resultados de laboratorio, se identifica que las dos muestras MD-12 y MDF-20, al ser evaluadas al daño potencial por humedad por el método de RRT cumplen los requerimientos de la especificación IDU 510-11 e IDU 550-11 respectivamente.

Se realizó evaluación de desempeño de las mezclas a la resistencia a la deformación plástica en donde se registra que la velocidad de deformación en los intervalos $V_{(105-120)}$ es mayor para la mezcla MDF-20 que para una mezcla convencional en aproximadamente 21%. En ambos casos las mezclas asfálticas cumplen con el parámetro establecido por la norma IDU 510-11 e IDU 550-11 respectivamente.

Con respecto a la evaluación del ensayo de círculo de arena, se evidencia que las dos estructuras tienen un comportamiento similar, sin embargo, la MDF-20 presenta un comportamiento ligeramente mejor desde el punto de vista funcional que la mezcla MD-12.

Con respecto a la evolución de la resistencia al deslizamiento de las dos estructuras, se evidencia, que la estructura con carpeta de rodadura MDF-20, presenta mejor desempeño que la mezcla MD-12. Ambas cumplen con el parámetro inglés de aceptación para recibo de vías nuevas al ser evaluada por resistencia del deslizamiento.


El tramo de prueba multiproyectos con la puesta en funcionamiento fue sometido a condiciones que incidían en el pulimento acelerado en la superficie del pavimento ya que adicional a las condiciones de tráfico, existían condiciones ambientales propias de planta de producción las cuales incluyen material particulado y agregados en la superficie del pavimento. Así las cosas, en las lecturas tomadas en los 2 y 5 meses la mezcla tipo MDF-20 presentó un mejor comportamiento, mientras que después de transcurrido 7, 9 y 12 meses la mezcla MD-12 presentó un mejor comportamiento. La dispersión de los datos, después de comparar el desempeño de la mezcla tipo MDF-20 con la MD-12, va desde 82% hasta 123%.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

La mezcla convencional tipo MD-12 y la MDF-20, en término de rigidez presentan dos evoluciones diferentes así: Primera etapa (Inicio de aplicación de solicitudes): las dos mezclas presentan valores de rigidez similares ante la misma carga. Para verificar el estado de la carpeta de la mezcla MDF-20, se extrajeron dos núcleos, en el primero se evidencia que las fisuras no cubrían el total del espesor de esta capa (0.16m). Sin embargo, en el segundo núcleo la muestra presentó en un plano de falla en un espesor de (0.08m).

Se evidencia por los resultados de deflectometría que la mezcla tipo MDF-20 con 100% RAP, presenta mayor deformación que la mezcla tipo MD-12. Esto podría indicar que la durabilidad de la MDF-20 es menor que la de la mezcla tipo MD-12, ya que aun cuando ambas tuvieron el mismo periodo de diseño., la mezcla MDF-20 tiende a ser más rígida y tener deformaciones menores que la mezcla patrón.

Se registraron dos escenarios distintos del estado de condición del pavimento durante la extracción de núcleos de la mezcla tipo MDF-20; el primero hace referencia a una muestra que posiblemente tiene deficiencias de adherencia entre el asfalto y el agregado por lo cual no fue posible extraer el núcleo completo; y en el segundo evidencia una muestra con fallas tipo top-down, que podrían tratarse con tratamientos superficiales.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

10) Conclusiones Y Recomendaciones

En términos generales al evaluar el desempeño de las dos mezclas ante las siguientes propiedades; 1) resistencia de susceptibilidad a la humedad, 2) resistencia a la deformación plástica en pista, 3) resistencia al deslizamiento y 4) macrotextura; la mezcla tipo MDF-20 con 100% RAP, presenta un desempeño inferior a la MD-12. Sin embargo, este comportamiento más allá de ser atribuido en su totalidad a la inclusión de RAP en la mezcla, también se asocia a que la inclusión del RAP se realizó en una mezcla en frío, ya que cuando estas son producidas a temperaturas ambiente su desempeño es inferior a una mezcla caliente.

Desde el punto de vista técnico es viable el empleo de la mezcla tipo MDF-20 con 100% RAP como rodadura en vías de bajos volúmenes de tránsito, se debe considerar que al emplear este tipo de mezclas los espesores serán mayores que una estructura con mezcla tipo MD-12, como se identificó en el dimensionamiento de las estructuras de pavimento.

En el caso de la mezcla tipo MDF-20 con 100% RAP, esta debe ser cimentada sobre un paquete estructural con una capacidad de soporte alta, ya que este tipo de mezclas al tener la tendencia a rigidizarse por la adición de cemento, pueden fisurarse prematuramente al sufrir deformaciones elevadas en la fibra inferior de la MDF-20.

Considerando que mientras la UAERMV, sea la entidad encargada de la conservación de la malla vial local, generará RAP continuamente, se debe realizar proyectos tales como:

- Mediano plazo:
 - ✓ Estandarizar el proceso de producción del RAP por fresado, es decir realizar el control de producción desde el instante en que se realiza la demolición de las carpetas asfálticas existentes.
 - Optimizar la logística de almacenaje del RAP, con el fin de mitigar su exposición al intemperismo y a su degradación por efectos de agua, lluvia, material particulado, etc.
 - Optimizar la logística de almacenaje del RAP, con el fin de que este se clasifique en de acuerdo con la metodología de diseño y/o uso a dar, esto permitirá que los procedimientos sean óptimos.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

- Realizar inversiones para industrializar el proceso de elaboración de una mezcla tipo MDF-20, entre los cuales se pueden incluir los siguientes proyectos; 1) optimación de la planta de trituración y 2) conexión de esta planta a la planta de mezcla en frío, evitando los trasiegos.
- Para garantizar un control de calidad de la mezcla tipo MDF-20, es recomendable incluir ensayos de deflectometría, en donde se evalúe el módulo de rigidez del material.
- Es necesario realizar caracterización mecánica y dinámica de este tipo de mezclas periódicamente, con el fin de garantizar que los diferentes materiales utilizados, como el cemento hidráulico y la emulsión no afectan drásticamente propiedades como la rigidez y el ahuellamiento.
- A largo plazo:
 - Realizar la adaptación de la planta en caliente, para poder incluir el RAP a este tipo de mezclas, logrando mezclas con contenidos de RAP más competitivas desde el punto de vista de desempeño, comparada con una mezcla convencional.
- Continuar el seguimiento al tramo de prueba y en una segunda fase realizar actividades de conservación, para determinar los costos de mantenimiento de ambas alternativas.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Unidad Administrativa Especial de
Rehabilitación y Mantenimiento Vial

**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS
INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL
LOCAL**

CÓDIGO: PIV-FM-010

VERSIÓN: 1

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019

11) Glosario

Microtextura: Es la desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda inferior a 0.5 milímetros en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0.001 a 0.2 milímetros.

Macrotextura: se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este caso, las propiedades de la Macrotextura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie.


RAP: Pavimento asfáltico reciclado (RAP, por sus siglas en inglés) es el término que se le da a los materiales del pavimento removidos y/o reprocessados que contienen asfalto y agregados. Estos materiales se generan cuando los pavimentos asfálticos son removidos para reconstrucción o rehabilitación. Cuando se tritura y tamiza apropiadamente, el RAP consiste en agregados de alta calidad, bien distribuidos recubiertos por asfalto.

MBR: El RAP o MBR (mezcla bituminosa reciclada) es el producto de trituración de capas asfálticas deterioradas un fresado, es decir, el paso de una maquinaria llamada fresadora sobre la capa asfáltica.

Mezclas asfálticas en frío: Este tipo de composiciones utilizan casi siempre como ligantes las emulsiones asfálticas o los asfaltos espumados, son fabricadas a temperaturas que oscilan entre 40 °C y 80 °C, se extienden y compactan in situ a la temperatura ambiente. (Rondón Quintana & Fernandez Gomez, 2017).


Restauración: Las estrategias de restauración actúan en etapas tempranas del ciclo de vida del pavimento, y están destinada a prolongar la vida del mismo, por lo cual es de carácter preventivo. (Solminihac T, Echaveguren N., & Alondra Chamorro, 2017).

Análisis de Costo de ciclo de Vida: El ACCV es un proceso sistemático para mantener, mejorar y operar una red de pavimentos, el cual considera la manera como fueron construidos los pavimentos, la manera cómo cambia su condición durante el tiempo y la manera como este proceso de cambio se ve afectado por las diferentes formas de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción. (Amado Sopo & Gil Rincón, 2017)

	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	


12) Referencias

- (IDU), I. d. (2018-2). *Estadísticas Malla Vial Urbana*. Obtenido de IDU Portal Web: <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/innovacion/portafolio>
- Burgos, P. A. (2015). *Diagnóstico sobre el empleo de material asfáltico reciclado (RAP) en Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad De Los Andes.
- Ibarra, J. A., & Alarcón Ibarra, J. (2003). *Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta*. Catalunya : Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- INVIAS. (2007). COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO EL PÉNDULO. *Norma Técnica*. Colombia: INVIAS.
- INVIAS. (2008). *Guía metodología para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras*. Bogotá D.C.: INVIAS.
- Leiva, F. (2015). *Normativa para evaluar la resitencia al deslizamiento superficial de los pavimentos*. Costa Rica: LANAME.
- Ortiz, O. J. (2018). *Informe final convenio 469 de 2017*. UMNG - UMV, Estudiar la respuesta mecánica y dinámica de mezclas asfálticas fabricadas con pavimento reciclado RAP.
- Reyes et al, O. J. (2018). *(RAP), Estudiar la respuesta mecánica y dinámica de mezclas asfálticas fabricadas con pavimento reciclado*. Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimeinto Vial & Universidad Militar Nueva Granada.
- Rondón Quintana et al, H. A. (2017). *Desarrollo de una mezcla asfáltica tibia bajo criterios técnicos y ambientales*. Bogotá D.C.: UD Editorial.
- Rondón Quintana, H. A., & Fernandez Gomez, W. D. (2017). *Desarrollo de una mezcla asfáltica tibia bajo criterios técnicos y ambientales*. Bogotá D.C.: UD Editorial.
- Rondón Quintana, H. A., Ruge Cárdenas, J. C., & Moreno Anselmi, L. Á. (s.f.). *Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa*.
- SDA, S. D. (2012). *Por medio de la cual se adoptan los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital*. Bogotá D.C.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

13) Bibliografía

- (IDU), I. d. (2018-2). *Estadísticas Malla Vial Urbana*. Obtenido de IDU Portal Web: <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/innovacion/portafolio>
- Burgos, P. A. (2015). *Diagnóstico sobre el empleo de material asfáltico reciclado (RAP) en Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad De Los Andes.
- Ibarra, J. A., & Alarcón Ibarra, J. (2003). *Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta*. Catalunya : Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- INVIAS. (2007). COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO EL PÉNDULO. *Norma Técnica*. Colombia: INVIAS.
- INVIAS. (2008). *Guía metodología para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras*. Bogotá D.C.: INVIAS.
- Leiva, F. (2015). *Normativa para evaluar la resitencia al deslizamiento superficial de los pavimentos*. Costa Rica: LANAME.
- Ortiz, O. J. (2018). *Informe final convenio 469 de 2017*. UMNG - UMV, Estudiar la respuesta mecánica y dinámica de mezclas asfálticas fabricadas con pavimento reciclado RAP.
- Reyes et al, O. J. (2018). *(RAP), Estudiar la respuesta mecánica y dinámica de mezclas asfálticas fabricadas con pavimento reciclado*. Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Manteneimnto Vial & Universidad Militar Nueva Granada.
- Rondón Quintana et al, H. A. (2017). *Desarrollo de una mezcla asfáltica tibia bajo criterios técnicos y ambientales*. Bogotá D.C.: UD Editorial.
- Rondón Quintana, H. A., & Fernandez Gomez, W. D. (2017). *Desarrollo de una mezcla asfáltica tibia bajo criterios técnicos y ambientales*. Bogotá D.C.: UD Editorial.
- Rondón Quintana, H. A., Ruge Cárdenas, J. C., & Moreno Anselmi, L. Á. (s.f.). *Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa*.
- SDA, S. D. (2012). *Por medio de la cual se adoptan los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital*. Bogotá D.C.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial</p>	FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE PROYECTOS INVESTIGACIÓN ESTRÁTEGICA PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL	
	CÓDIGO: PIV-FM-010	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2019	

14) Anexos

Anexo 1: Exploración Geotécnica tramo de prueba.

Anexo 2: Evaluación de tránsito.

Anexo 3: Diseño metodología AASHTO 93.

Anexo 4: Resultados ensayos de susceptibilidad a la humedad.

Anexo 5: Resultados de ensayos de Resistencia a la deformación permanente.

Anexo 6: Resultados de ensayo de textura superficial del pavimento mediante circulo de arena.

Anexo 7: Resultado de ensayo de coeficiente de Resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico.

Anexo 8: Resultados de evaluación estructural con ensayos no destructivos.

Anexo 9: Caracterización de materiales