



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

**ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON
EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA
LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO
LISBOA, BOGOTÁ D.C**

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

PRESENTADO POR:

MAIRA ALEJANDRA HERNÁNDEZ RUBIO
CÓDIGO: 6100302

ANA MARÍA CHAPARRO QUEVEDO
CÓDIGO: 6100295

TUTOR:

ING. CESAR PALOMINO SAAVEDRA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA – POSGRADOS
BOGOTÁ D.C
2018



TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 2 | ESTADO DEL ARTE | 5 |
| 2.1 | RECICLAJE DEL PAVIMENTO | 5 |
| 2.2 | TIPOS DE MÉTODOS DE RECICLAJE..... | 5 |
| 2.2.1 | USO DE DESECHOS DE PVC EN CAPA DE SUBBASE GRANULAR | 6 |
| 2.2.2 | MÉTODO DE RECICLAJE DEL GRANO CAUCHO DE LLANTAS DESCHADAS PARA MEJORAS MEZCLAS ASFÁLTICAS..... | 6 |
| 2.2.3 | MÉTODO DE RECICLAJE (IN SITU) DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA O ASFALTO ESPUMADO..... | 7 |
| 2.2.4 | MÉTODO DE RECICLAJE EN PLANTA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA O ASFALTO ESPUMADO..... | 7 |
| - | FRESADO | 8 |
| - | AGREGADOS PÉTREOS | 9 |
| - | AGUA | 10 |
| - | EMULSIÓN ASFÁLTICA | 10 |
| 2.3 | CRONOLOGÍA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN EN BOGOTÁ..... | 13 |
| 3 | JUSTIFICACIÓN..... | 15 |
| 4 | OBJETIVOS..... | 16 |
| 4.1 | OBJETIVOS GENERALES | 16 |
| 4.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 5 | MATERIAL EN LA FUENTE, EN LA SUBRASANTE Y ANTECEDENTES DE LA OBRA..... | 17 |
| 5.1 | SEDE DE PRODUCCIÓN..... | 17 |
| 5.2 | DESCRIPCIÓN DEL SITIO DEL TRAMO DE PRUEBA | 18 |
| 5.2.1 | Caracterización del Material Remanente | 20 |



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
Trabajo de Grado

| | | |
|--------|--|----|
| 6 | ALTERNATIVAS DE DISEÑO | 21 |
| 6.1.1 | Diseño con fresado estabilizado | 21 |
| 7 | DESCRIPCIÓN DE MATERIALES | 22 |
| 7.1 | FORMULA DE TRABAJO DEL FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO CRL-1..... | 22 |
| 7.2 | EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO CRL-1 (PENETRACIÓN 100-250)..... | 27 |
| 7.3 | LLENANTES ACTIVOS | 28 |
| 7.4 | SUBBASE GRANULAR SBG-C..... | 28 |
| 7.5 | MEZCLA ASFÁLTICA MD-12 | 29 |
| 8 | REGISTRO FOTOGRÁFICO CRONOLÓGICO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO ... | 31 |
| 9 | EXPERIENCIA DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO | 40 |
| 10 | COMPARACIÓN DE COSTOS | 43 |
| 10.1 | ALTERNATIVAS DE DISEÑO | 43 |
| 10.2 | ANÁLISIS ECONÓMICO | 43 |
| 11 | CONCLUSIONES..... | 48 |
| 11.1 | PROPUESTAS PARA MEJORAR | 48 |
| 11.2 | BUENAS PRÁCTICAS QUE RESALTAR | 49 |
| 11.3 | ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS | 50 |
| 11.4 | VENTAJAS DEL USO DEL MATERIAL..... | 54 |
| 11.4.1 | AMBIENTAL | 54 |
| 11.4.2 | COSTOS | 54 |
| 11.4.3 | INGENIERIL | 55 |
| 11.5 | DESVENTAJAS DEL USO DEL MATERIAL | 56 |
| 12 | BIBLIOGRAFÍA | 57 |



1 INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo es un Estudio de caso que tiene como objetivo describir y observar el comportamiento de un tramo de prueba para el cual se implementó como capa de base en la estructura de pavimento flexible material fresado estabilizado en planta con emulsión asfáltica producido por la UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO VIAL (UAERMV) en Bogotá, dentro de la descripción desarrollada se comparó la fórmula de trabajo y los resultados de laboratorio del material con las correspondientes especificaciones IDU 2011. El trabajo se desarrolló con el propósito de describir las ventajas y desventajas de utilizar material reciclado de fresado estabilizado con emulsión asfáltica como parte de la estructura en pavimentos flexibles, realizando una evaluación económica de los costos directos de una estructura con material reciclado comparándola con los costos directos de un pavimento conformado por capas granulares convencionales.

Esta investigación fue posible realizarla gracias al trabajo conjunto de la Ingeniera Ana María Chaparro Quevedo y la Ingeniera Maira Alejandra Hernández Rubio quienes aportaron al desarrollo de este documento realizando el estudio de caso de la utilización de Fresado estabilizado con emulsión cationica de rompimiento lento como capa de base en la localidad de suba, tramo ubicado en la calle 134 entre Kr 151 a Kr 152 en el barrio Lisboa, Bogotá; y seguimiento del proceso constructivo de la misma vía e investigación del marco normativo aplicable a la implementación de este material como capa estructural de pavimentos flexibles para comparar fórmula de trabajo y resultados de laboratorio del material con valores de referencia en la normatividad vigente para la ciudad capital y compilar finalmente en este documento lo observado. Sin el trabajo conjunto no hubiese sido posible realizar esta investigación y llegar a los resultados obtenidos que sugieren que las desventajas del uso de este material no logran demeritar el uso de fresado estabilizado con emulsión como capa de base puesto que sus ventajas en los ámbitos ingenieril, económico y ambiental tienen mayor impacto. Las partes A y B de este trabajo se presentan en un solo documento que compila los resultados encontrados por los autores.

El proyecto busca conocer y mejorar el proceso de fresado estabilizado con emulsión como capa de base producido e instalado por La UAERMV quien es la entidad que ejecuta directamente obras de infraestructura vial en la ciudad de Bogotá D.C y quien decide realizar esta intervención se debido a que se estaban presentando deterioros prematuros en algunas vías donde se había utilizado este material como parte del diseño de la estructura de pavimento flexible.



Estas prácticas ingenieriles y técnicas de reciclaje han sido implementadas desde mediados de la década de los 70 en Estados Unidos y Países Europeos donde actualmente el reciclado de asfalto son técnicas convencionales que han contribuido significativamente tanto en la reducción de la explotación de recursos de manera irracional como en su impacto social y económico ya que se logran utilizar algunos recursos que se tienen y que garantizan la seguridad y confort de los usuarios mediante procesos adecuados en cuanto a acopio, tratamiento, fabricación de la mezcla, preparación de la superficie, extensión y compactación. Estas prácticas extienden la vida útil de las vías disminuyendo accidentes a causa de los huecos, aumentado la calidad de vida de usuarios, evitando enfermedades respiratorias ocasionadas por el material particulado como es el caso del tramo de prueba.

En la búsqueda de intervenciones sostenibles en las vías es importante conocer y utilizar apropiadamente los materiales producto del reciclaje que se pueden utilizar en la estructura del pavimento como es el caso de un material producto de la remoción del pavimento asfáltico cuando ya cumplió su vida útil con equipo fresadora llamado comúnmente RAP (Recycled Asphalt pavement) el cual para efectos de esta investigación es fresado estabilizado con emulsión asfáltica “en planta”, y conocer su producción, manipulación e instalación ya que este material se puede reciclar en un 100% mejorándolo lo cual es un beneficio ambiental, social y financiero.

A pesar de que el componente bituminoso de dichos materiales ha perdido algunas de sus propiedades físicas y mecánicas a causa del envejecimiento y procesos de oxidación, estos materiales conservan el potencial de ser reutilizados para conformar nuevas capas de una estructura de pavimento mediante procesos de estabilizado y mejora de la granulometría.

Por todo esto, El uso de material recuperado mediante el fresado de las capas asfálticas se ha convertido en un tema de extremo interés en la industria de la construcción vial. Adicionalmente y debido a factores externos al diseño de pavimentos como el limitado espacio disponible en los botaderos y al alto y variable costo del petróleo, el uso este material se ha vuelto bastante atractivo.

De acuerdo con lo anterior, se cuenta con una gran inquietud y compromiso el analizar que estaba sucediendo en todo el proceso desde su producción en planta hasta su colocación en obra y buscar que este material sea una gran alternativa que mejore la calidad de vida de muchas habitantes en la Ciudad de Bogotá D.C.



2 ESTADO DEL ARTE

2.1 RECICLAJE DEL PAVIMENTO

Al hablar de reciclaje como la palabra nos dice es reutilizar un material que ya fue usado y ha cumplido alguna función en su vida útil, por tal motivo el reciclado de pavimentos es el uso de un material producto de un fresado de pavimento el cual alguna vez fue una carpeta asfáltica que cumplió su vida útil y se puede emplear para ser utilizado como parte de la estructura de pavimento el cual debe ser mejorado ya sea con agregado pétreo y/o agentes rejuvenecedores para que dicho material cumpla de nuevo ciertas propiedades de resistencia.

Se debe utilizar actualmente por las siguientes dos razones en principio:

Impacto ambiental

- ✓ Conservación del medio ambiente ya que se explotarán los recursos naturales en menor proporción en las canteras.

Disminución de costos de los siguientes puntos:

- ✓ Disminución de costos de excavación ya que en los diseños que utilizan RAP, el espesor de la estructura de pavimento se disminuye comparado con un diseño de pavimento flexible con subbase y base granular convencional, por tanto, la profundidad de excavación disminuye.
- ✓ Disminución en costos de carga, transporte y botadero.
- ✓ La crisis energética durante las décadas 70 y 80 que aumentó costos en productos derivados del petróleo.
- ✓ Disminución de costos de mano de obra al contar con un mayor rendimiento en obra al comparar con un diseño con material granular convencional.

2.2 TIPOS DE MÉTODOS DE RECICLAJE

A continuación, se conceptualizan términos concernientes a la implementación de varios tipos de materiales para la conformación de capas estructurales en pavimentos flexibles:



2.2.1 USO DE DESECHOS DE PVC EN CAPA DE SUBBASE GRANULAR

De acuerdo con el artículo *“Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase”* publicado en 2006 en la revista Ingenierías Universidad de Medellín se hace referencia a la emergente tendencia de buscar que los materiales que se han utilizado y ya han gastado su vida útil o han estado en funcionamiento se puedan reutilizar o reciclar como es el caso del policloruro de vinilo (CH_2CHCL) es cual se obtiene por la polimerización del cloruro de vinilo el cual es la materia prima de la preparación del PVC.

Este material es producto los desechos de PVC producto de materiales que salen de uso de tuberías luego de cumplir su vida útil, desechos de botellas, juguetes, resinas entre otros) y de productos defectuosos en la producción de tuberías.

Como dato curioso está industria produce aproximadamente 5 toneladas de desecho mensuales de desecho de PVC.

Se realizaron proporciones de material entre (1%, 3% y 5%) de desecho de PVC Como resultado el material presento un aumento de CBR para valores del 3% y del 5%, según la Normatividad INVIAS para un material de subbase granular.¹

DESECHO DE PVC: Su material tiene una granulometría que pasa el tamiz No 200 y se utilizó en porcentajes de 1%, 3% y 5% en el peso de la muestra de subbase granular.

2.2.2 MÉTODO DE RECICLAJE DEL GRANO CAUCHO DE LLANTAS DESCHADAS PARA MEJORAS MEZCLAS ASFALTICAS.

Este método se realiza mediante la adición de un porcentaje entre el 1% y el 3% de grano caucho del peso total de los agregados donde se mejora el comportamiento a la fatiga, la resistencia al envejecimiento evita la susceptibilidad a la temperatura. Este proceso se inicia con la molienda de las llantas y se controlan los tamaños de las partículas.

“Este proceso es conocido como el proceso de molienda a temperatura ambiente, el cual normalmente contiene las actividades de separación de metal, pesado y transporte”²

¹ Rodríguez E., Rondón H., Vélez D., Aguirre L. Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase, 2006.



✓ Reciclado en proceso húmedo

Se adiciona el grano caucho mezclándolo con el cemento asfáltico. Inicialmente se cuenta con el desecho de las llantas donde se ha mencionado anteriormente pasan por la molienda y se genera el grano caucho y posterior se mezcla con el cemento asfáltico y luego los agregados pétreos ya calentados se mezclan todos los materiales para así ser despachado.

✓ Reciclado en proceso en seco

Se realiza mezclándolo con los agregados antes se mezclarse con el cemento asfáltico. Se inicia dando molienda a las llantas desechadas y se mezcla con la fracción fina del agregado pétreo luego esta mezcla entra en una tolva que se calienta y posterior se mezcla con el cemento asfáltico para así producir la mezcla que luego va a ser despachada.

2.2.3 MÉTODO DE RECICLAJE (IN SITU) DEL PAVIMENTO ASFALTICO CON EMULSIÓN ASFALTICA O ASFALTO ESPUMADO.

Este método se realiza en sitio con la maquina recicladora en frio, que puede reciclar parte o total de la capa de pavimento asfáltico y parte de la base granular y adicionado con emulsión o asfalto espumado según dice la normatividad colombiana, posteriormente se mejora la granulometría adicionando los tamaños faltantes para cumplir los requisitos mínimos según normatividad. Dentro de los aditivos que se pueden utilizar en este método pueden ser: emulsión asfáltica, cementos portland, cal y mezclas de cal y cenizas volantes.

2.2.4 MÉTODO DE RECICLAJE EN PLANTA DEL PAVIMENTO ASFALTICO CON EMULSIÓN ASFALTICA O ASFALTO ESPUMADO.

✓ Reciclado en planta en caliente

Esta técnica en caliente realizada en planta hace referencia únicamente al aprovechamiento del RAP para mezclas asfálticas. Una vez fresado el material, se

² Díaz C., Castro L. Tesis de grado, Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá, 2017.



transporta a una central de fabricación donde se mezcla en caliente con agregados pétreos y asfalto. Las mezclas que se obtienen a partir de este método están compuestas en un 50% a 60% por el material recuperado.

- ✓ Reciclado en planta en frio

Este método se realiza en planta transportando a esta el material de fresado de diferentes intervenciones, este método permite una tasa de reutilización del 100% y requiere de la realización de ensayos de granulometría para corregir deficiencias en la gradación según lo estipulado por normatividad colombiana más específicamente para la ciudad capital en la Especificación Técnica 450-11 del IDU y se procede a conformar el nuevo material con la fórmula de trabajo seleccionada y el respectivo curado con emulsión asfáltica, asfalto espumado o cemento portland. Posteriormente se lleva la mezcla en frio al sitio de intervención donde se debe instalar y compactar mediante métodos mecánicos convencionales.

Esta metodología tiene una amplia aplicación, el material recuperado y tratado puede ser usado para la conformación de capas de bases, capas intermedias e incluso de rodadura siempre y cuando sean vías de bajo tránsito.

El tiempo de curado del material obtenido por esta técnica es su flanco débil, pues cuando se usa emulsión asfáltica o cemento portland el tiempo de curado depende de las condiciones atmosféricas (temperatura y humedad) requiriéndose tiempos de curado que varían desde días a meses.

- FRESADO

Es la remoción de la capa asfáltica de un pavimento asfáltico que ya cumplió su vida útil de acuerdo con lineamientos, cotas y espesores indicados en cada proyecto en particular. Esta práctica se realizará sobre el área y espesor acordado y aprobado a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los áridos o las propiedades del bitumen presente.³

Se considera como una técnica fundamental en la rehabilitación de pavimentos asfálticos deteriorados con la cual se puede levantar el espesor defectuoso del

³ INV E 460-13, Fresado de Pavimento Asfáltico.

pavimento sin afectar las partes de capa asfáltica en buen estado. El material fresado resultante se reutiliza tanto para la fabricación de nuevas mezclas asfálticas como para capas estructurales del pavimento ya sea como base o subbase.⁴



Ilustración 1 Fresado de una vía en la localidad de Barrios Unidos – Fuente propia

- AGREGADOS PÉTREOS

Es un material mineral usado en cualquier combinación de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado (plantas de trituración). Son minerales y combinación de estos resultados de las fuerzas geológicas erosivas del agua y del viento que generalmente son encontrados en ríos y valles, donde han sido depositados por las corrientes de agua.

Se puede clasificar según el tamaño de este. Agregado fino aquel que pasa el tamiz No 4 (4,75mm) y queda retenido en tamiz No 200 (0,075mm), y agregado grueso aquel retenido en el tamiz No 4 (4,75mm).⁵, también pueden ser producidos en canteras o en la ribera de los ríos.

⁴ <http://pavimentosyafaltos.es/fresado-de-asfalto/>

⁵ INV E 400-13, Disposiciones generales para la ejecución de riesgos de imprimación, liga, curado, tratamientos superficiales, sellos de arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos.



Ilustración 2 Triturado Lavado de Cantera de 3/4" y proceso de trituración – Fuente: www.agea.com.co/productos.html

- AGUA

Según la Especificación Técnica de Construcción Sección 450-11, el agua requerida para el humedecimiento previo de los agregados pétreos y el agua empleada para la emulsión estará libre de materia orgánica y de elementos químicos que dificulten el proceso de mezclado y el curado de la mezcla. Su pH, medido según norma ASTM D-1293, deberá estar entre cinco y medio y ocho ($5,5 < \text{pH} < 8,0$) y su contenido de sulfatos, expresado como SO_4 , no deberá ser mayor de un gramo por cada litro de agua.⁶

- EMULSIÓN ASFÁLTICA

Es un material de dispersiones en agua de glóbulos de un cemento asfáltico el cual se estabiliza con un agente emulsificante de carácter aniónico contienen glóbulos cargados negativamente o catiónico las cuales contienen glóbulos cargados positivamente, se caracteriza también por su velocidad de rompimiento rápido, medio o lento y su viscosidad y se dividen en seis tipos:

⁶ Especificaciones de Construcción Sección 450-11 IDU, Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Emulsión Asfáltica.



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
Trabajo de Grado

| Tipo de carga | Nombre |
|----------------------|---|
| ARR | Emulsión aniónica de rompimiento rápido. |
| ARM | Emulsión aniónica de rompimiento medio. |
| ARL | Emulsión aniónica de rompimiento lento. |
| CRR | Emulsión catiónica de rompimiento rápido. |
| CRM | Emulsión catiónica de rompimiento medio. |
| CRL | Emulsión catiónica de rompimiento lento. |

Tabla 1 Tipos de emulsiones de acuerdo con su carga y rompimiento. Fuente: Ingeniería de Pavimentos, Alfonso Montejo -Tercera edición, 2do tomo.

El contenido de asfalto en las emulsiones podría oscilar entre el 50 % y 65% del peso total.

CRL-1 Son también llamadas emulsiones catiónicas de rompimiento lento que se caracterizan por presentar una alta capacidad de adherencia con la superficie de contacto. Se usa en la elaboración de mezclas asfálticas y diferentes tipos de riegos, tales como mezcla densa, bases estabilizadas (reciclaje de pavimentos, estabilización de suelos), microsuperficies, slurry seal, riegos negros o en riegos de imprimación.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas según reglamentación IDU Sección 210-11 para las emulsiones catiónicas.

| Tipos de emulsiones | Norma de Ensayo INV -07 | Rompimiento rápido | | | | Rompimiento medio | | Rompimiento lento | | | | | |
|--|-------------------------|--------------------|------------|-----------|------------|-------------------|-----|-------------------|-----|-----------|------------|----------|-----|
| | | CRR - 1 | | CRR - 2 | | CRM | | CRL - 0 | | CRL - 1 | | CRL - 1h | |
| | | Min | Máx | Min | Máx | Min | Máx | Min | Máx | Min | Máx | Min | Máx |
| 1. ENSAYO SOBRE EMULSION | | | | | | | | | | | | | |
| Viscosidad | E-763 | | | | | | | | | | | | |
| Saybolt Furol a 25 C Seg | | - | - | - | - | - | - | - | 50 | - | 200 | - | 100 |
| Saybolt Furol a 50 C Seg | | 20 | 100 | 20 | 300 | 20 | 450 | - | - | - | - | - | - |
| Contenido de agua en volumen % | E-761 | - | 40 | - | 35 | - | 35 | - | 50 | - | 43 | - | 43 |
| Estabilidad Almacenamiento Sedimentación a los 7 días % | E-764 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 10 | - | 5 | - | 5 |
| Destilación Contenido de Asfalto Residual % | E-762 | 60 | - | 65 | - | 60 | - | 40 | - | 57 | - | 57 | - |
| Contenido de disolventes % | | - | 3 | - | 3 | - | 12 | 10 | 20 | - | - | - | 0 |
| Tamizado Retenido Tamiz 20 (850 µm) | E-765 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 |
| Rotura Dioctilsulfosuccinato sódico % | E-766 | 40 | - | 40 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mezcla con cemento % | E-770 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Carga Partícula | E-767 | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | |
| PH | E-768 | - | 6 | - | 6 | - | 6 | - | 6 | - | 6 | - | 6 |
| Recubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento Con agregado seco | E-769 | - | - | - | - | Buena | | - | - | - | - | - | - |
| Con agregado seco y acción del agua | | - | - | - | - | Satisfactoria | | - | - | - | - | - | - |
| Con agregado húmedo | | - | - | - | - | Satisfactoria | | - | - | - | - | - | - |
| Con agregado húmedo y acción del agua | | - | - | - | - | Satisfactoria | | - | - | - | - | - | - |
| 2. ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE DESTILACION | | | | | | | | | | | | | |
| Penetración (25°C, 100gr, 5seg) 0.1 mm | E-706 | 60 100 | 100 250 | 60 100 | 100 250 | 100 | 250 | 200 | 300 | 60 100 | 100 250 | 60 | 100 |
| Ductilidad (25°C, 5cm/m) cm. | E-702 | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 40 | - |
| Solubilidad en tricloroetileno % | E-713 | 97 | - | 97 | - | 97 | - | 97 | - | 97 | - | 97 | - |

Tabla 2 Especificaciones para emulsiones catiónicas, Sección 210-11 IDU.



2.3 CRONOLOGÍA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN EN BOGOTÁ

Año 2006 – Resolución IDU 1959 - *“Especificaciones Técnicas generales de Materiales y Construcción para proyectos de Infraestructura Vial y de espacio público en Bogotá D.C”*

Contenido relevante: Mediante esta Resolución el IDU reguló el uso de materiales producto del reciclado de pavimento asfáltico, contemplándose para esta resolución las Especificaciones de Construcción IDU-ET-2005 Sección 450-05 *“Reciclaje de pavimento asfáltico en el sitio con emulsión asfáltica o con asfalto espumado”* y Sección 450-05 *“Reciclaje de pavimento asfáltico en el sitio con cemento portland”*.

Año 2011 – Resolución IDU 4428 - *“Guía para reciclaje de pavimento asfáltico in situ”*

Contenido relevante: Mediante esta Resolución el IDU adoptó las guías para *Reciclaje de pavimento asfáltico in situ estabilizado con aditivos bituminosos o hidráulicos* y la guía para *Estabilización del material producto del reciclaje en frío de pavimentos asfálticos* (GU-GE-001 y GU-GE-010)

Año 2011 – Resolución IDU 4880 - *“Especificaciones Técnicas generales de Materiales y Construcción para proyectos de Infraestructura Vial y de espacio público en Bogotá D.C”*

Contenido relevante: Mediante esta Resolución el IDU se implementan las especificaciones de construcción IDU-ET-2011 que reúnen las secciones 450-11 *“Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Emulsión Asfáltica”*, 451-11 *“Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Asfalto Espumado”* y 454-11 *“Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Cemento Portland”* y los criterios de caracterización del material reciclado, así como también criterios para el diseño de mezclas asfálticas a partir de RAP.

Para la ciudad capital y referente al uso de fresado estabilizado con emulsiones asfálticas se cuenta con los primeros registros de su implementación en el año 2007 por parte de la Unidad de Mantenimiento Vial UMV quienes han requerido de esta opción en pro de la habilitación de vías de tráfico liviano o vías que no han tenido una estructura de pavimento tales como vías de barrios en crecimiento en la periferia de Bogotá con el objeto de mejorar la calidad de vida. Es por esto y como evidencia de las intervenciones que se han realizado por parte de la UMV, que el tramo de prueba se encuentra localizado en un barrio de la periferia metropolitana donde las calle se encuentran con rodadura en material de afirmado y de escombros en malas condiciones, en la mayoría de los casos con ausencia de estructuras de drenaje superficial (sumideros y cunetas) y sin andenes.



Año 2012: Resolución 1115 Secretaría distrital del medio ambiente-*“lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital”*

Contenido relevante: Es obligación del gobierno proteger la diversidad del medio ambiente de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental y el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano; así mismo consagra como deber de las personas y el ciudadano proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano y se buscará reducir en forma permanente y creciente la generación de residuos en todas las actividades, reciclar y revalorizar la mayor cantidad posible de materiales, así como promover la fabricación de productos que estén diseñados para ser reusados en el largo plazo.

Dentro de este concepto, también se buscará mejorar el tratamiento de los escombros que se producen en la ciudad por los procesos de construcción, reincorporándolos al ciclo productivo y utilizándolos para la recuperación ambiental y paisajística de canteras, minas y áreas deterioradas.”

También hablan de Residuos de construcción y demolición – **RCD**:- Se refiere a los residuos de construcción y demolición que se generan durante el desarrollo de un proyecto constructivo, entre los cuales se pueden encontrar el asfalto y nos sugiere ser reciclado como asfalto y como masa para rellenos y donde aplica donde se generen volúmenes de residuos mayores a 6m³ y la cual es de obligatorio cumplimiento.



3 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación de fresado estabilizado “en planta” con emulsión asfáltica utilizado como capa de base granular surge de una preocupación a causa de ver problemas de patologías como piel de cocodrilo y hundimientos en algunas vías de la ciudad de Bogotá que se realizaron por parte de la UAERMV hace aproximadamente 3 años y de la preocupación de que los ingenieros deben saber utilizar los materiales nuevos mejorados con las nuevas tecnologías y cuidar el gasto público.

El desconocimiento de los procedimientos constructivos, de las especificaciones del producto también fue una razón fuerte en el propósito de este estudio donde los ingenieros en Colombia deben saber el proceso constructivo adecuado para garantizar la correcta instalación de estructuras diseñadas por los ingenieros en vías del distrito intervenidas por la UAERMV. Al construirse mejores vías y a su vez reutilizando materiales, se generaría impacto positivo en las comunidades de la ciudad de todos los niveles socioeconómicos de Bogotá, evitar accidentes a causa de huecos que se van formando por patologías como piel de cocodrilo y garantizar la seguridad y comodidad en los usuarios.

Por estos motivos se requiere analizar este caso de estudio en la localidad de Suba de una vía de bajo tráfico, vía que se encontraba conformada en material de afirmado en muy mal estado. Presentando todas las posibles prácticas desfavorables durante todo el proceso para así plantear prácticas adecuadas de aplicación de este material en la ciudad Capital.

Las intervenciones que hace esta entidad en la malla vial de la ciudad capital son de gran importancia y repercuten en la calidad de vida y salud de los habitantes beneficiándolos de manera directa al contar con vías transitables y para el acceso a zonas comerciales o residenciales, que garanticen la seguridad, confort, y transitabilidad.

Contar con el interés por parte de una entidad pionera en conformación, rehabilitación y mantenimiento de vías que plantea el establecimiento de un tramo de prueba para el cual cuentan con el control de la utilización de fresado desde su acopio y curado del material en su propia planta hasta la extensión de este material como base, brindan ventajas técnicas para detectar los inconvenientes y las fallas que se presentaban al usar este material y a su vez, encontrar donde se está errando ya sea en el proceso de producción, propiedades específicas de resistencia del material o inconvenientes constructivos.



4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVOS GENERALES

- ✓ Describir y observar el comportamiento de un tramo de prueba para el cual se implementó como capa de base en la estructura de pavimento flexible material fresado estabilizado en planta con emulsión asfáltica producido por la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) en planta.
- ✓ Observar las características físicas y mecánicas del material utilizado y los resultados de pruebas realizadas al material según normatividad IDU 2011. Esta información será documentada en el desarrollo del proyecto.
- ✓ Describir el proceso constructivo cuando se utiliza fresado estabilizado en planta con emulsión asfáltica como base granular producido en la UAERMV para su adecuado uso en proyectos viales.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Estudiar y comparar los resultados de laboratorio con las especificaciones IDU 2011 correspondientes realizados para el tramo de prueba en el material de fresado estabilizado con emulsión asfáltica utilizado como base y analizar sus resultados.
- ✓ Describir las ventajas y desventajas de utilizar material reciclado de fresado estabilizado con emulsión asfáltica como parte de la estructura en pavimentos flexibles, realizando una comparación económica de este sistema de tratamiento comparado con otras alternativas constructivas.
- ✓ Realizar una evaluación económica de los costos de una estructura con material reciclado comparándola con un pavimento de capas granulares convencionales.

5 MATERIAL EN LA FUENTE, EN LA SUBRASANTE Y ANTECEDENTES DE LA OBRA

5.1 SEDE DE PRODUCCIÓN

La Unidad de Mantenimiento Vial cuenta con un lugar de sede de producción ubicada en el Parque Minero Industrial “El Mochuelo” - predio “La esmeralda-planta el Zuque” en el kilómetro 3 vía a Pasquilla, en la Localidad de Ciudad Bolívar.



Ilustración 3 Localización general de la sede de producción “La Esmeralda” - Fuente: Google maps

La cual contiene las siguientes plantas:

- Dos plantas de mezclas Asfálticas en caliente, tiempo Bachada.
- Una planta dosificadora para la producción de concreto hidráulico.
- Una planta de Asfalto en frío, para aprovechamiento de RAP y producir el fresado estabilizado.



Ilustración 4 Predio La Esmeralda- UAERMV, Fuente: <http://www.umv.gov.co/portal/nuestros-servicios/#1489846767062-e9fe3622-d548>



Ilustración 5 Lugar de acopio del material RAP en la planta predio La Esmeralda Fuente: Informe TP Fresado Estabilizado del 24 de enero de 2018 - UMV.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL SITIO DEL TRAMO DE PRUEBA

| | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| CIV (Código de identificación vial) | 11003861 |
| Dirección | Calle 134 entre kr 151a y kr 152 |
| Barrio | Lisboa |
| Localidad | Suba |
| Tránsito | 81558 – NT1 |

Tabla 3 Datos del tramo de prueba, elaboración propia



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIÓNICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
Trabajo de Grado

La vía antes de iniciar la intervención presentaba una capa de rodadura conformada por material de afirmado y escombros en malas condiciones; también, este tramo no contaba con estructuras de drenaje superficial tales como sumideros y cunetas, ni definido los paramentos de los andenes. El tramo cuenta con una longitud de 103 metros y un ancho promedio de 3,8 metros.

De acuerdo con la Cartera Topográfica realizada durante la primera visita al tramo en el mes de julio del año 2017, el área a intervenir fue de 391,9 m², las profundidades de las excavaciones realizadas en cada tramo abscisado de 5m variaron entre 0,17m y 0,65m excavando un total de 178,58m³ de afirmado existente.

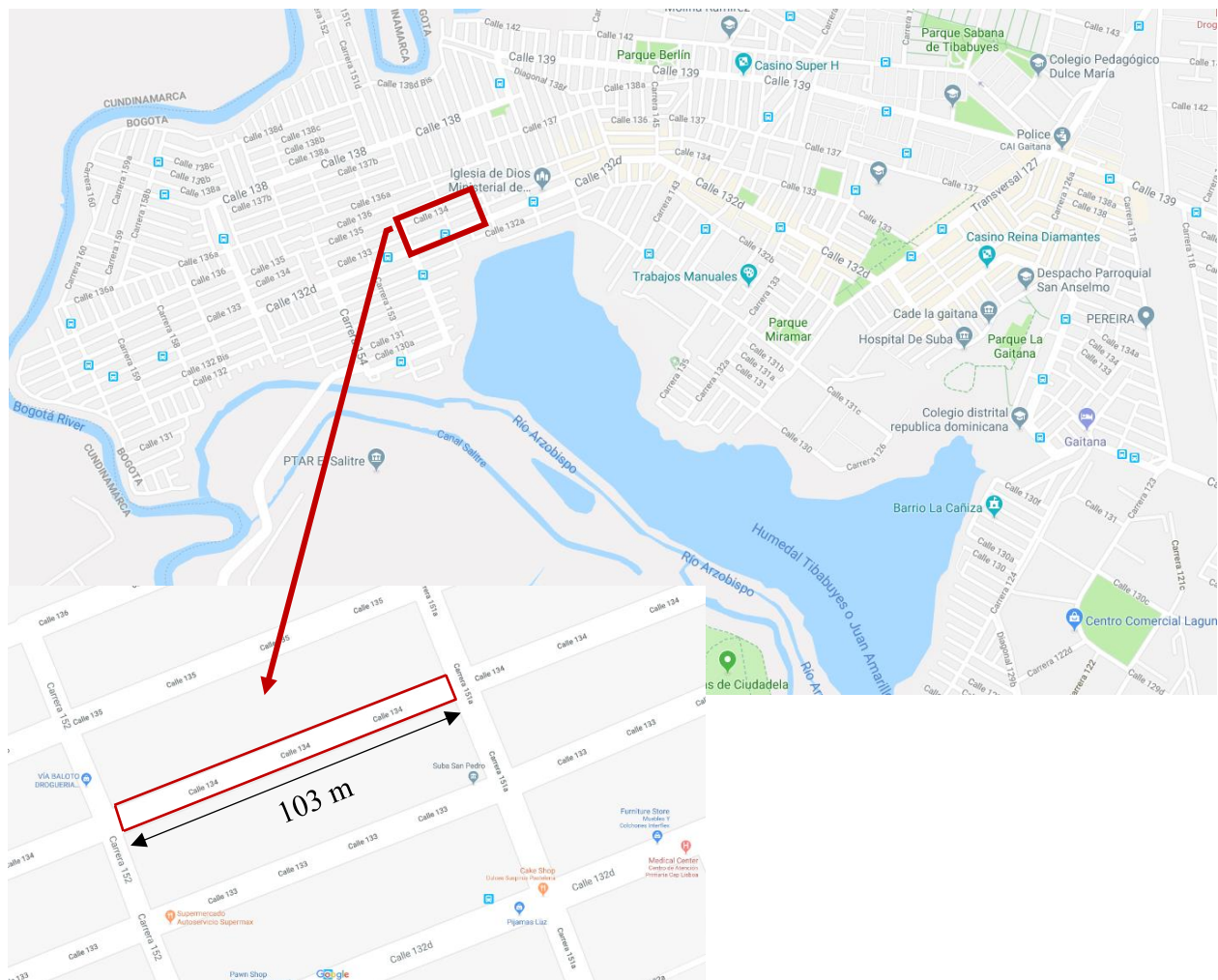


Ilustración 6 Ubicación y longitud del tramo de prueba para la implantación de fresado estabilizado como base – Fuente: Google Maps

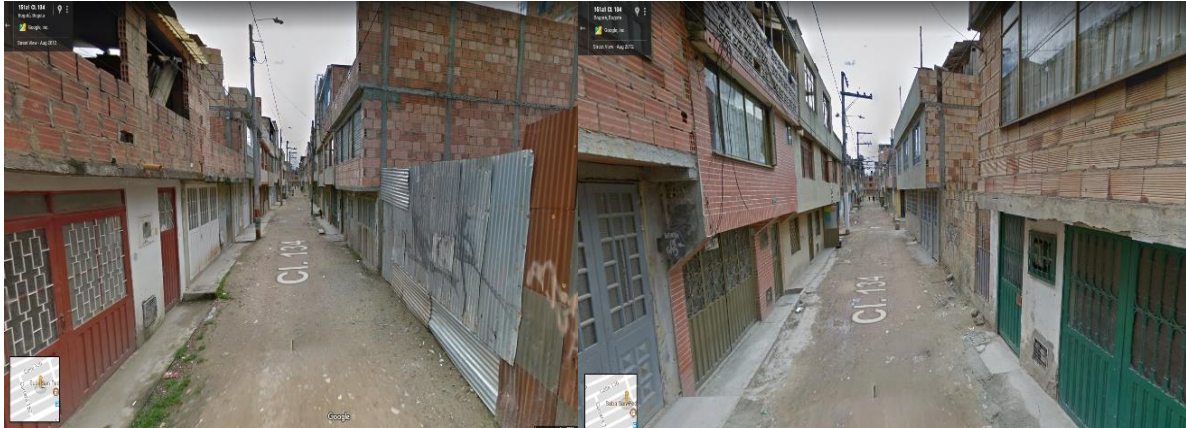


Ilustración 7 Vista tramo de prueba antes de la intervención por parte de la UMV - Fuente: Google Maps, fecha estimada - marzo de 2017.

5.2.1 Caracterización del Material Remanente

La Entidad realizó dos apiques en la vía los cuales se encuentran descritos a continuación:

- Apique No. 1: Presenta una capa de relleno en matriz arenoso color café con escombros sin clasificar, con un espesor de 0,60m, humedad natural del 8,0%, seguido presenta la subrasante constituida por arcilla limosa color habano grisáceo con vetas de oxidación que clasifican como CH, con humedad natural del 49,0%, LL=99%, LP=35% e IP = 64%. Seguido, presenta una capa constituida por arcilla limosa color gris oscuro que clasifica como CH, con humedad natural del 68,5%, LL=97%, LP=36% e IP=61%
- Apique No. 2: Presenta una capa de relleno color café con escombros y basura sin clasificar, con un espesor de 0,20m, humedad natural del 15,4%, seguido, presenta una capa de relleno en matriz limoso, arcilloso color café oscuro sin clasificar, con un espesor de 1,30m, humedad natural del 99,4%.

Los valores de CBR calculados por el laboratorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas - GEOCRETOS son del 1,8% y 2,5% respectivamente.

*Fuente de la información: Informe TP Fresado Estabilizado del 24 de enero de 2018 – UAERMV.

6 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

La Unidad de Mantenimiento Vial UAERMV estableció dos alternativas de estructura de pavimento. Una alternativa con estructura en material granular tradicional y la segunda alternativa con material fresado mejorado y estabilizado con emulsión asfáltica.

A continuación, se presentan dichas alternativas:

| Alternativa 1 | | | Alternativa 2 | | |
|---------------|------|------------------------------|---------------|------|------------------------------|
| ESPESOR | | TIPO DE CAPA | ESPESOR | | TIPO DE CAPA |
| cm | pulg | | cm | pulg | |
| 8 | 3,15 | MD-12 | 8 | 3,15 | MD-12 |
| 15 | 5,91 | FE | 15 | 5,91 | BG-C |
| 15 | 5,91 | MGR-2 | 15 | 5,91 | SBG-C |
| | | Subrasante | | | Subrasante |
| NME | | → Nivel máximo de excavación | NME | | → Nivel máximo de excavación |

Tabla 4 Alternativas diseñadas por la AUERMV Fuente: AUERMV-Diseño de pavimento

La estructura de pavimento instalada en el tramo de prueba por la UAERMV cuenta con los siguientes espesores y materiales.

6.1.1 Diseño con fresado estabilizado

| ESPESOR | | TIPO DE CAPA |
|---------|------|------------------------------|
| cm | pulg | |
| 8 | 3,15 | MD-12 |
| 15 | 5,91 | FE |
| 15 | 5,91 | SBG-C |
| | | Subrasante |
| NME | | → Nivel máximo de excavación |

Tabla 5 Diseño con fresado estabilizado para la vía CIV11003861 en estudio Fuente: UAERMV-Diseño de pavimento

Los ingenieros especialistas de la Unidad de Mantenimiento Vial el día 26 de diciembre de 2017 ajustaron el diseño y se define instalar el material de fresado estabilizado (FE) sobre una capa de material de subbase granular tipo C (SBG-C) con el fin de que esta capa quede apoyada sobre una superficie de trabajo homogénea que mejore la capacidad portante.

7 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES

7.1 FORMULA DE TRABAJO DEL FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO CRL-1

La fórmula de trabajo utilizada para la estabilización con emulsión asfáltica de rompimiento lento fue elaborada por el personal del laboratorio de la UAERMV de fecha 12 de diciembre de 2017 siguiendo la Especificación Técnica "Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Emulsión Asfáltica" Sección 450-11 (IDU).

Comparando la franja granulométrica aceptada de la Especificación Técnica IDU con el material de fresado a ser reutilizado en el tramo de prueba se obtuvo que el material fresado carece de agregado fino (tamaños de partículas menores a 2mm).

| TAMIZ | | Intervalo porcentaje que pasa (Especificación Técnica IDU 450-11) | Resultado UMV (% Pasa) |
|-------|--------------|---|------------------------|
| mm | U.S Standard | | |
| 37,5 | 1 1/2" | 100 - 100 | 96,1 |
| 25 | 1" | 75 - 100 | 87,7 |
| 19 | 3/4" | 65 - 100 | 78,3 |
| 9,5 | 3/8" | 45 - 75 | 50,7 |
| 4,75 | No. 4 | 30 - 60 | 31,4 |
| 2 | No. 10 | 20 - 45 | 18,8 |
| 0,425 | No. 40 | 10 - 30 | 5,1 |
| 0,075 | No. 200 | 5 - 20 | 0,1 |

Tabla 6 Comparación Tabla 450.1 Sección 450-11 IDU vs Granulometría material de fresado a implementar. Fuente: UAERMV-Diseño de pavimento

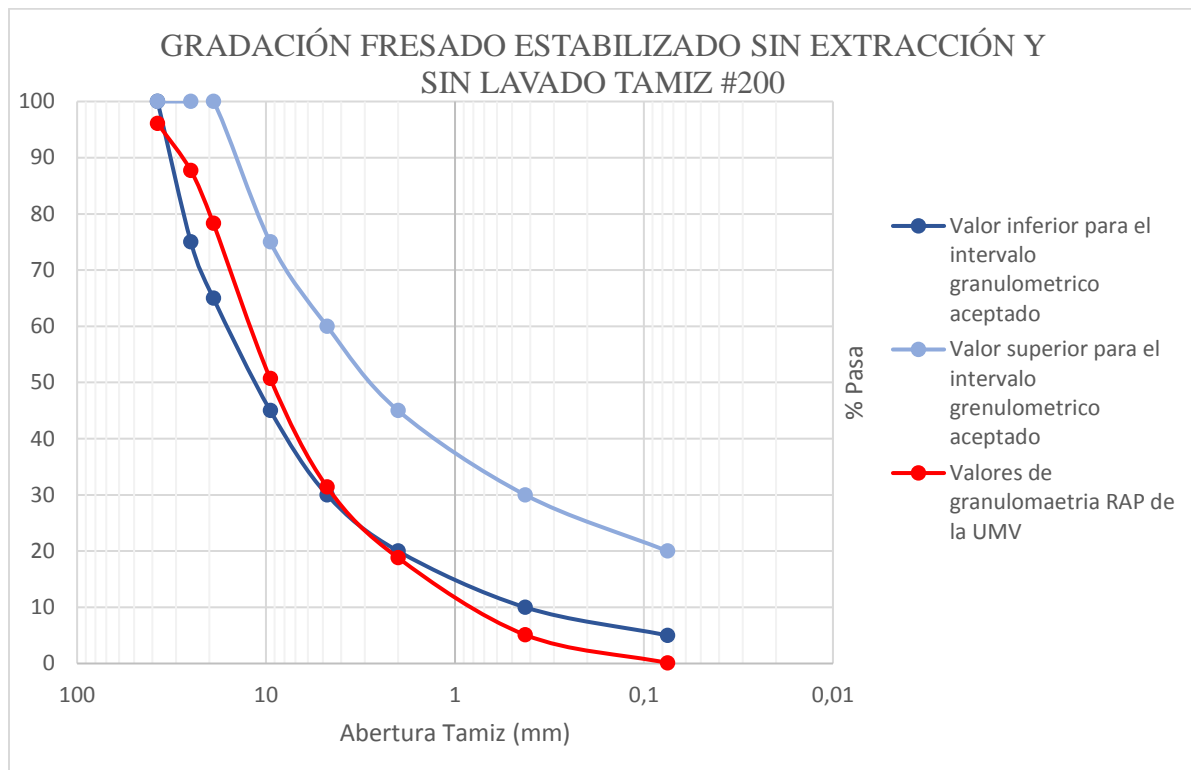


Gráfico 1 Comparación franja granulométrica para material de fresado según IDU vs Granulometría material de fresado a implementar en tramo de prueba. Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 1 logra visualizar con claridad los tamaños de agregado con los que no cuenta el material dentro del rango de porcentaje que pasa según las Especificaciones Técnicas del IDU para Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Emulsión Asfáltica.

Como resultado al incumplimiento de la granulometría, se utilizó el material de subbase granular SBG-A para mejorar la granulometría del material de fresado y así cumplir el requisito de gradación.

La combinación óptima establecida para la corrección de la curva granulométrica fue:

63% de Material de fresado y 37% de Material de SBG-A

Posteriormente se verificó la granulometría definitiva para comprobar que cumpliera dicho requisito exigido en la normatividad IDU. (ver Tabla 7 y Gráfico 2).

| TAMIZ | | Intervalo porcentaje que pasa (Especificación Técnica IDU 450-11) | Resultado UMV |
|-------|--------------|---|---------------|
| mm | U.S Standard | | |
| 37,50 | 1 1/2" | 100 | 100 |
| 25,00 | 1" | 75 – 100 | 94,5 |
| 19,00 | 3/4" | 65 – 100 | 87,4 |
| 9,50 | 3/8" | 45 – 75 | 65,1 |
| 4,750 | No 4 | 30 – 60 | 44,5 |
| 2,00 | No 10 | 20 - 45 | 28,1 |
| 0,425 | No 40 | 10 – 30 | 11,8 |
| 0,075 | No 200 | 5 - 20 | 6,2 |

Tabla 7 Franja granulométrica corregida mediante la adición de material SBG-A del material reciclado con emulsión asfáltica IDU Sección 450-11. Fuente: UAERMV-Diseño de pavimento

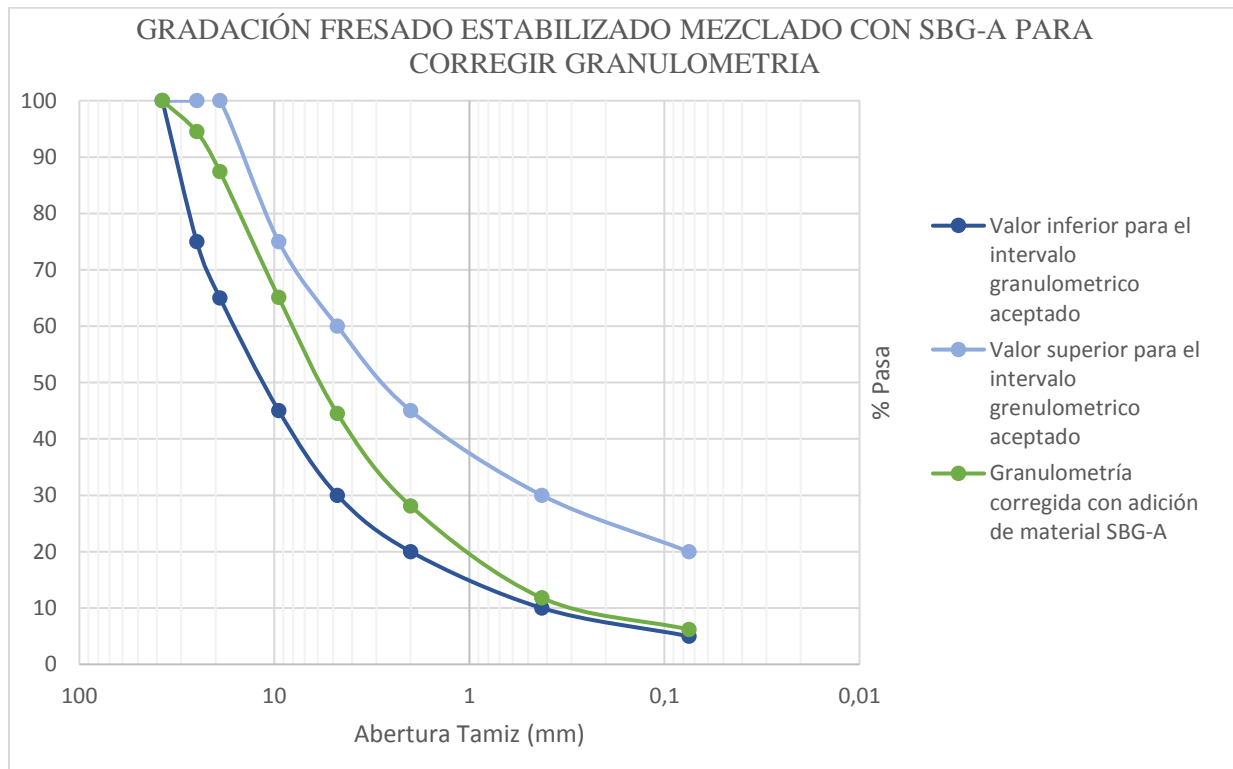


Gráfico 2 Comparación franja granulométrica para material de fresado según IDU vs Granulometría corregida material de fresado a implementar en tramo de prueba. Fuente: Elaboración propia



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
 ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
 Trabajo de Grado

A continuación, se presentan en la (Tabla 8) las especificaciones del material granular a usar como SBG-A reportado por el Laboratorio de la UMV los cuales cumplen los requisitos según IDU para este tipo de subbase granular.

| ENSAYO | | Norma del Ensayo | SBG-A | | Reporte de Laboratorio | Reportado por cantera |
|--|-------------------------------|------------------|-------|------|------------------------|-----------------------|
| | | | Mín. | Máx. | | |
| DUREZA | | | | | | |
| Desgaste de los Ángeles | En seco, 500 rev. (%máx.) | E-218 | | 40 | 36,8 | |
| Micro Deval | Agregado Grueso (%máx.) | E-238 | | 30 | 26,9 | |
| 10% Finos | Valor en seco, kN mín. | E-224 | 60 | | 62 | |
| | Relación húmedo/seco, (%mín.) | | 75 | | 86,5 | |
| DURABILIDAD | | | | | | |
| Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, (%máx.) | Sulfato de magnesio | E-220 | | 18 | 1,1 | |
| LIMPIEZA | | | | | | |
| Límite líquido, (%máx.) | | E-125 | | 25 | 23 | |
| Índice de plasticidad, (%máx.) | | E-126 | | 3 | 2,5 | |
| Equivalente de arena, (%mín.) | | E-133 | 20 | | 20 | |
| Valor de azul de metileno, (máx.) | | E-235 | | 10 | | 7,5 |
| Terrones de arcilla y partículas deleznales, (%máx.) | | E-211 | | 2 | | 1,5 |
| GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS | | | | | | |
| Partículas fracturadas mecánicamente, (%mín.) | 1 caras | E-227 | 50 | | | 99 |
| | 2 caras | | 30 | | | 35 |
| CAPACIDAD DE SOPORTE | | | | | | |
| CBR, (% mín.) | | E-148 | 60 | | | 75 |

Tabla 8 Requisitos de los agregados para subbase granular SBG-A IDU



FORMULA DE TRABAJO (SECCIÓN IDU 450-11)

MATERIAL GRANULAR MEJORADO MEDIANTE ADICIÓN DE SBG-A

El producto del porcentaje que pasa el tamiz de 75 μm (No 200) del agregado combinado por su índice de plasticidad, no podrá ser mayor de setenta y dos (72).⁷

$$\% \text{ Pasa tamiz No. 200} \times \text{IP} \leq 72 \\ 6,2 \times 2,5 = 15,5$$

*Al cumplir con este requisito, la mezcla no requerirá un pretratamiento con cal, cemento u otro ligante

MATERIAL BITUMINOSO

Contenido de Asfalto en Material de Fresado (%) INV E 732-13 → 5,15%

Contenido óptimo de emulsión de acuerdo con ensayo de Inmersión-compresión (%) INV E 738-13 → 5,45%

| PROPIEDADES MECÁNICAS | | <u>VALORES DEL MATERIAL A USAR</u> |
|--|---|------------------------------------|
| Resistencia (Kg/cm^2) $\geq 20 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ | → | 49,90 kg/cm^2 |
| Resistencia conservada tras curado húmedo -INV E 738-13 $\geq 75\%$ | → | 77,80% |
| Densidad seca máxima – INV E 142-13 / Proctor Referencia | → | 1956 gr/cm^3 |
| Humedad optima – INV E 142-13 / Proctor Referencia | → | 5,00% |

El material de fresado estabilizado con emulsión destinado para la conformación de la capa de base para el tramo se realizó en dos producciones en diferentes días (22 y 26

⁷ Especificaciones de Construcción Sección 450-11 IDU, Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Emulsión Asfáltica.



de diciembre del 2017), realizando el extendido de la base en 2 secciones y de esta manera analizar la humedad y asentamiento de cada material.

7.2 EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO CRL-1 (PENETRACIÓN 100-250)

Para los reciclajes en frío con emulsión asfáltica, ésta será de rompimiento lento, tipo CRL-1 cuyo residuo de destilación tenga una penetración 100-250, compatible con los agregados pétreos.⁸

En la Tabla 9 se comparan los valores requeridos según norma IDU con los resultados que obtuvo el contratista que abastece la emulsión y la UMV.

| Característica | Unidad | Norma de Ensayo | Especificación CRL-1 | | Reporte de Laboratorio | Fuente |
|--|--------|-----------------|----------------------|------|------------------------|-----------|
| | | | Mín. | Máx. | | |
| Viscosidad Saybolt Furol a 25°C | Seg | E-763 | | 200 | 28 | CTO207/17 |
| Contenido de agua en volumen | % | E-761 | | 43 | 40 | UMV |
| Estabilidad al almacenamiento Sedimentación a los 7 días | % | E-764 | | 5 | 2 | CTO207/17 |
| Destilación contenido de asfalto residual | % | E-762 | 57 | | 60 | UMV |
| Tamizado. Retenido tamiz No. 20 | % | E-765 | | 0,1 | <0,1 | UMV |
| Carga de la partícula | | E-767 | Positiva | | Positiva | CTO207/17 |
| pH | | E-768 | | 6 | 2,8 | CTO207/17 |
| Ensayos sobre el residuo de destilación (E-762) | | | | | | |
| Penetración (25°C) | 0.1mm | E-706 | 60 | 100 | 62 | UMV |
| | | | 100 | 250 | - | UMV |
| Ductilidad (25°C) | cm | E-702 | 40 | | >100 | UMV |
| Solubilidad en tricloroetileno | % | E-713 | 97 | | 99,9 | CTO207/17 |

⁸ Especificaciones de Construcción Sección 450-11 IDU, Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Emulsión Asfáltica.



Tabla 9 Comparación entre especificaciones de la Emulsión usada para estabilizar el material fresado y especificaciones según Sección 210-11 IDU "Emulsión Asfáltica" Fuente: UAERMV-Diseño de pavimento

La emulsión usada para estabilizar el material fresado NO cumple con la normativa IDU ya que según Especificaciones de Construcción 450-11 IDU, *Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Emulsión Asfáltica*, el principal parámetro a evaluarse es la Penetración del Residuo de Destilación el cual debe oscilar entre 100-250. El resultado obtenido del laboratorio se encuentra entre una penetración de 60-100.

7.3 LLENANTES ACTIVOS

Para el material fresado estabilizado con emulsión cationica de rompimiento lento usado en el tramo de prueba, no se adicionó ningún tipo de llenante tal como cal hidratada, cemento o cenizas volantes.

7.4 SUBBASE GRANULAR SBG-C

De acuerdo con lo estipulado en la sección 400-11 de las especificaciones IDU, la clase de subbase SBG-C está estipulada para ser usada en pavimento asfáltico con una categoría de tránsito T0 a T1.

A continuación, se presentan los requisitos de los agregados para subbases según reglamentación IDU Tabla 400.3 de la sección 400-11.

| Ensayo | | Norma de Ensayo | Clase de Subbase Granular | | | |
|---|--|-----------------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | | | SBG_PEA | SBG_C | SBG_B | SBG_A |
| Dureza | | | | | | |
| Desgaste Los Angeles | - En seco, 500 revoluciones, % máximo | INV E-218-07 | 50 | 45 | 40 | 40 |
| Micro Deval, % máximo | - Agregado Grueso | INV E-238-07 | NA | 35 | 35 | 30 |
| 10% de finos | - Valor en seco, kN mínimo - Relación húmedo/seco, % mínimo | INV E-224-07 | NA | 40 65 | 50 70 | 60 75 |
| Durabilidad | | | | | | |
| Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo | - Sulfato de Magnesio | INV E-220-07 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Limpieza | | | | | | |
| Límite Líquido, % máximo | | INV E-125-07 | 40 | 25 | 25 | 25 |
| Índice de Plasticidad, % máximo | | INV E-126-07 | 10 | 6 | 3 | 3 |
| Equivalente de Arena, % mínimo (1) | | INV E-133-07 | | 18 | 18 | 20 |
| Valor de Azul de Metileno, máximo | | INV E-235-07 | | 10 | 10 | 10 |
| Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo | | INV E-211-07 | | 2 | 2 | 2 |
| Geometría de las Partículas | | | | | | |
| Partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo | - 1 cara - 2 caras | INV E-227-07 | NA NA | NA NA | NA NA | 50 30 |
| Índice de Aplanamiento, % máximo (2) | | INV E-230-07 | NA | NA | NA | NA |
| Índice de Alargamiento, % máximo (3) | | INV E-230-07 | NA | NA | NA | NA |
| Angularidad del Agregado Fino, % mínimo (RO) | | INV E-239-07 | NA | NA | NA | NA |
| Capacidad de Soporte | | | | | | |
| CBR, % mínimo - Referido al 95 % de la densidad seca máxima, según el ensayo INV E-142 -07 (AASHTO T 180), método D, después de 4 días de inmersión. | | INV E-148-07 | 20 | 30 | 40 | 60 |

Tabla 10 Requisitos de los agregados para subbases granulares, Sección 400-11 IDU.

7.5 MEZCLA ASFÁLTICA MD-12

De acuerdo con el diseño del pavimento, se utilizará como capa de rodadura una mezcla asfáltica densa en caliente MD-12 de 8 centímetros. La granulometría del agregado para esta mezcla está establecida por la norma IDU sección 510-11 *Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensas, gruesas, y de alto módulo*.

Tabla 510.4
Granulometría de agregados combinados para mezclas asfálticas en caliente

| Tipo de mezcla | | Tamiz (mm / U.S. Standard) | | | | | | | | | |
|----------------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | 37.5 | 25.0 | 19.0 | 12.5 | 9.5 | 4.75 | 2.00 | 0.425 | 0.180 | 0.075 |
| | | 1 1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | No.4 | No.10 | No.40 | No.80 | No.200 |
| | | % Pasa | | | | | | | | | |
| Densa | MD10 | | | | 100 | 80-95 | 59-76 | 36-51 | 15-25 | 9-18 | 5-10 |
| | MD12 | | | 100 | 80-95 | 71-87 | 49-65 | 30-44 | 14-22 | 8-16 | 4-9 |
| | MD20 | | 100 | 80-95 | 66-82 | 59-75 | 42-58 | 27-41 | 12-22 | 8-16 | 4-9 |
| Semidensa | MS12 | | | 100 | 80-95 | 67-83 | 40-56 | 23-39 | 10-20 | 6-13 | 3-8 |
| | MS20 | | 100 | 80-95 | 66-82 | 55-71 | 35-51 | 23-39 | 10-20 | 6-13 | 3-8 |
| | MS25 | 100 | 80-95 | 73-89 | 60-76 | 53-69 | 33-49 | 23-39 | 10-20 | 6-13 | 3-8 |
| Gruesa | MG20 | | 100 | 75-95 | 55-75 | 46-66 | 28-46 | 17-32 | 7-17 | 4-11 | 2-6 |
| | MG25 | 100 | 75-95 | 65-85 | 47-67 | 40-60 | 29-46 | 17-32 | 7-17 | 4-11 | 2-6 |
| Alto módulo | MAM20 | | 100 | 80-95 | 66-82 | 55-71 | 35-51 | 23-39 | 10-20 | 8-14 | 6-9 |

Tabla 11 Requisito granulometrías para mezclas asfálticas en caliente



8 REGISTRO FOTOGRÁFICO CRONOLÓGICO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO


| FECHA | ACTIVIDAD | FOTOGRAFÍA |
|---------------------------------|--|--|
| <p>11 de julio del 2017</p> | <p>Estado inicial de la vía CIV11003861 Área: 391,9m²</p> <p>Se evidencia material de afirmado y relleno pobre sin confinamiento ni drenaje superficial.</p> <p><i>Fuente fotográfica: UAERMV</i></p> |  |
| <p>27 de diciembre del 2017</p> | <p>Superficie de capa de subbase granular (15cm) de espesor instalada en actividades de compactación con equipo compactador WolfPac 6100 de doble rodillo.</p> <p><i>Fuente fotográfica: UAERMV</i></p> |  |

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| <p>28 de diciembre de 2017</p> | <p>Ensayo de cono y arena para verificar densidades de la capa se subbase granular y verificación con una volqueta (prueba de cargue).</p> <p><i>Fuente fotográfica: Elaboración propia</i></p> | |
| <p>28 de diciembre del 2017</p> | <p>Extendida de RAP inicialmente con equipo minicargador y posteriormente se empleó motoniveladora la cual se encontraba en una obra cercana.</p> <p>En la segunda foto se observa el equipo de topografía presente para verificar las cotas del material RAP que eran 10 cm de material suelto.</p> <p><i>Fuente fotográfica: Elaboración propia</i></p> | |

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| <p>28 de diciembre del 2017</p> | <p>Re-nivelación manual por solicitud de topografía, la capa de RAP no alcanzaba los 10 centímetros de material suelto de espesor para la sección 1 (sentido carrera 152 a 151a)</p> <p><i>Fuente fotográfica: Elaboración propia</i></p> | |
| <p>28 de diciembre de 2017</p> | <p>Vista longitudinal del segmento con la capa de RAP extendida sin compactar para la sección 2.</p> <p><i>Fuente fotográfica: Elaboración propia</i></p> | |

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| <p>28 de diciembre de 2018</p> | <p>Compactación mecánica de la capa de RAP con una velocidad promedio del equipo de compactación de 5,6 km/hora.</p> <p><i>Fuente fotográfica: Elaboración propia</i></p> |  |
| <p>28 de diciembre del 2017</p> | <p>Toma de densidades en seis puntos del segmento vial para comparar la densidad máxima seca con cono y arena; y toma de humedades del fresado estabilizado con emulsión compactado.</p> <p>En K0+085: $w_{prom} = 8,5\%$ Proctor %98,7</p> <p>En K0+022: $w_{prom} = 9,2\%$ Proctor %100,3</p> <p><i>Fuente fotográfica: Elaboración propia</i></p> |  |

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| <p>09 de enero del 2018</p> | <p>Toma de 3 núcleos en el tramo intervenido los cuales presentaron falta de compacidad, dureza y curado de la capa de material de fresado estabilizado. Se programa nueva extracción de núcleos en una semana.</p> <p>En K0+090 (en eje): e= 10cm w=7% Proctor 99,8 % En K0+085 (en izq): e= 10cm w=6,2% Proctor 99,7 % En K0+022 (en eje): e= 10cm w=6,8% Proctor 101%</p> <p><i>Fuente fotográfica: UAERMV</i></p> |  |
| <p>10 al 18 de enero del 2018</p> | <p>Instalación de Sardinel prefabricado A10</p> <p><i>Fuente fotográfica: UAERMV</i></p> |  |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| <p>15 de enero del 2018</p> | <p>Extracción de los núcleos de la capa de fresado estabilizado para ensayar.</p> <p>En K0+020 (en eje): w=3,4% Proctor 99,1% En K0+027 (en eje): w=3,2% Proctor 95% En K0+095 (en der): w=3,5% Proctor 100,3%</p> <p><i>Fuente fotográfica: UAERMV</i></p> |  |
| <p>23 de febrero del 2018</p> | <p>Según topografía, la capa compactada de fresado estabilizado usado como base presentó un importante asentamiento (el espesor de la capa era de 10cm y no de 15cm como lo establecía el diseño). Por esta razón, se procede a escarificar y mezclar con más material fresado estabilizado con emulsión para alcanzar así el espesor de diseño (15cm)</p> <p><i>Fuente fotográfica: Elaboración propia</i></p> |  |

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| <p>24 de febrero del 2018</p> | <p>Toma de humedad y proctor en campo</p> <p>En K0+010 (en eje): w=7% Proctor 95,4%</p> <p>En K0+032 (en der): w=7,4% Proctor 96%</p> <p>En K0+055 (en izq): w=7% Proctor 96,1%</p> <p>En K0+075 (en eje): w=7,8% Proctor 95,3%</p> <p><i>Fuente fotográfica: UAERMV</i></p> | |
| <p>1 de marzo del 2018</p> | <p>Toma de humedad y proctor en campo</p> <p>En K0+010 (en izq): w=5% Proctor 103,6%</p> <p>En K0+025 (en eje): w=5% Proctor 100,5%</p> <p>En K0+040 (en eje): w=5% Proctor 99,9%</p> <p>En K0+050 (en der): w=5% Proctor 99,5%</p> <p><i>Fuente fotográfica: UAERMV</i></p> | |

5 de marzo del
2018

Instalación y compactación de capa de rodadura MD-12.
La apertura del tránsito es inmediata a la compactación de la rodadura asfáltica. La capa de fresado estabilizado implementado como base se había compactado hace 10 días y curado al obtenerse la humedad óptima según diseño en obra.

Fuente fotográfica: UAERMV



6 de junio del
2018

Estado actual del tramo intervenido por la UAERMV

En términos generales se observa la vía en buen estado, sin indicios de fisuración prematura o alguna patología proveniente del uso de fresado como capa base.

Solo se detalló un leve hundimiento junto al sardinel en la entrada de una vivienda el cual tiene un área aproximada de $0,06m^2$, este hundimiento puntual pudo presentarse debido al estacionamiento de un vehículo lo cual genera esfuerzos en el pavimento a causa de la carga estática las cuales no deben ser impuestas en el pavimento inmediatamente después a la instalación de la capa de rodadura y a la apertura del tráfico.

Fuente fotográfica: Elaboración propia



9 EXPERIENCIA DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

| | |
|---------------------------------|--|
| <p>27 de diciembre del 2017</p> | <p>Se inician labores en obra.</p> <p>Compactación de capa de subbase granular hasta alcanzar 15cm de espesor.</p> <p>► <i>El diseño inicial contemplaba 15 cm de material remanente como soporte del material fresado, pero en vez de este, fue instada una capa de 15 cm de SBG_C, material que presenta mejores propiedades físicas y mecánicas.</i></p> |
| <p>28 de diciembre del 2017</p> | <p>Extensión del fresado estabilizado con emulsión inicialmente con equipo minicargador y posteriormente se empleó motoniveladora.</p> <p>Compactación mecánica de la capa de RAP con una velocidad promedio del equipo de compactación de 5,6 km/hora.</p> <p>Toma de densidades y humedades del fresado estabilizado con emulsión ya compactado.</p> <p>Humedades entre 8,5% y 9,2% Compactación de la capa entre el 98,7% y el 100,3% del Proctor.</p> <p>► <i>La emulsión asfáltica CRL-1 implementada para la estabilización del material fresado no cumple un requisito establecido por la normatividad IDU (Tabla 9), el residuo de destilación no es de penetración 100-250, la emulsión usada tiene una penetración 60-100.</i></p> |
| <p>09 de enero del 2018</p> | <p>Toma de núcleos los cuales presentaron falta de compacidad, dureza y curado de la capa de material de fresado estabilizado.</p> <p>Humedades variaban alrededor del 6,2% y del 7% Compactación de la capa entre el 99,7% y el 101% del Proctor.</p> |



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
Trabajo de Grado

| | |
|-------------------------------|---|
| <p>15 de enero del 2018</p> | <p>Segunda extracción de núcleos de la capa de fresado estabilizado.</p> <p>Humedades alrededor del 3,2% y del 3,4% Compactación de la capa entre el 99,1% y el 100,3% del Proctor.</p> |
| <p>23 de febrero del 2018</p> | <p>La capa compactada de fresado estabilizado usado como capa de base presentó un importante asentamiento</p> <p>► <i>Asentamiento de 5cm (el espesor de la capa era de 10cm y no de 15cm como lo establecía el diseño). (Anexo 1 – Cartera Topográfica que evidencia el asentamiento)</i></p> <p>Se procede a escarificar y mezclar con más material fresado estabilizado con emulsión para alcanzar el espesor de diseño.</p> |
| <p>24 de febrero del 2018</p> | <p>Toma de humedades y Proctor en campo de la capa de material fresado</p> <p>Humedades alrededor del 7% y del 7,8% Compactación de la capa entre el 95,3% y el 96,1% del Proctor.</p> |
| <p>1 de marzo de 2018</p> | <p>Toma de humedades y Proctor en campo de la capa de material fresado</p> <p>Humedades del 5% Compactación de la capa entre el 99,5% y el 103,6% del Proctor.</p> <p>► <i>El material fresado estabilizado con emulsión asfáltica logró Curar alcanzando la humedad óptima según fórmula de trabajo ($W_{opt}= 5\%$).</i></p> |



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
Trabajo de Grado

| | |
|----------------------------|---|
| <p>5 de marzo del 2018</p> | <p>Instalación y compactación de capa de rodadura MD-12 y apertura inmediata del tránsito.</p> <p>► <i>Instalación de rodadura 10 días después de la compactación de la capa de fresado estabilizado la cual ya había curado.</i></p> |
| <p>6 de junio del 2018</p> | <p>Vía en buen estado. No hay indicios de fisuración prematura en la capa asfáltica ni de ahuellamiento en razón a alguna deficiencia estructural de sus capas.</p> <p>Se presenta solo un leve hundimiento junto al sardinel en la entrada de una vivienda. Este hundimiento puntual pudo presentarse debido al estacionamiento de un vehículo lo cual genera esfuerzos en el pavimento a causa de la carga estática las cuales no deben ser impuestas en el pavimento inmediatamente después a la instalación de la capa de rodadura y a la apertura del tráfico.</p> |

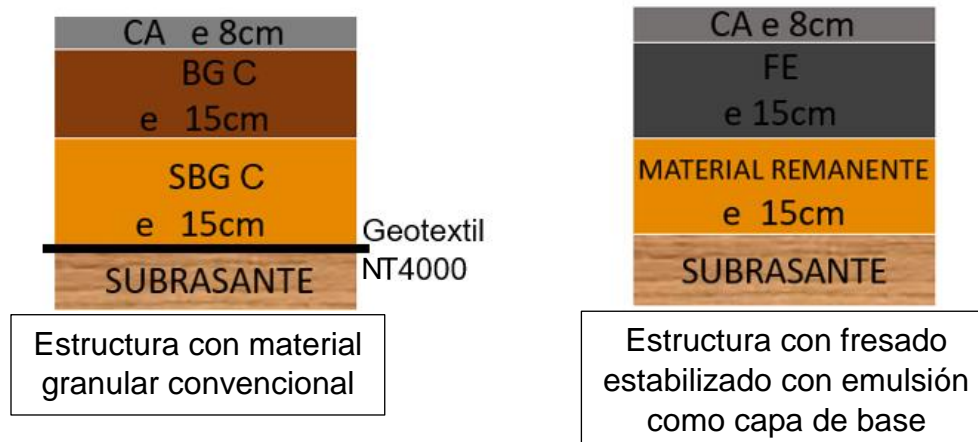
10 COMPARACIÓN DE COSTOS

10.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para el tramo de vía se realizaron dos diseños de pavimento, uno con material granular convencional y el segundo con fresado estabilizado con emulsión como capa de base.

Los diseños iniciales establecidos por la UAERMV fueron:

*Ilustración 8 Esquemas de alternativas para el tramo de vía.
Fuente: Elaboración propia*



10.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico se realizó para el caso de Estructura con fresado estabilizado con emulsión como capa de base con una capa de material remanente (Relleno seleccionado); sin embargo, en obra se instaló subbase granular SBG-C en vez de esta capa en material remanente.

A continuación, se presenta la comparación de costos entre ambas alternativas:

| ACTIVIDAD | UN | VALOR UNITARIO | Cantidades ALT1 FE | Cantidades ALT2 GRANULAR | Valor ALT1 FE | Valor ALT2 GRANULAR |
|--|----|----------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO | M2 | \$ 479.00 | 391.40 | 391.40 | \$ 187,481.00 | \$ 187,481.00 |
| EXCAVACIÓN MECÁNICA (INCLUYE CARGUE, TRANSPORTE Y RETIRO DE ESCOMBROS) | M3 | \$ 41,993.00 | 148.73 | 148.73 | \$ 6,245,703.00 | \$ 6,245,703.00 |
| NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MECÁNICA DE SUBRASANTE | M2 | \$ 1,036.00 | 391.40 | 391.40 | \$ 405,490.00 | \$ 405,490.00 |
| RAP ESTABILIZADO (INCLUYE SUMINISTRO, TRANSPORTE, NIVELACIÓN MECÁNICA Y COMPACTACIÓN) | M3 | \$ 160,214.00 | 58.71 | | \$ 9,406,164.00 | |
| MEZCLA ASFÁLTICA MD-12 (INCLUYE SUMINISTRO, TRANSPORTE, EXTENDIDA MECÁNICA Y COMPACTACIÓN) | M3 | \$ 471,269.00 | 31.31 | 31.31 | \$ 14,756,375.00 | \$ 14,756,375.00 |
| LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRL-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego) | M2 | \$ 1,571.00 | 391.40 | 391.40 | \$ 614,889.00 | \$ 614,889.00 |
| SUB-BASE SBG-C (SUMINISTRO, EXTENDIDO MANUAL, NIVELACION, HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACION, INCLUYE TRANSPORTE) | M3 | \$ 118,819.00 | | 58.71 | | \$ 6,975,863.00 |
| AFIRMADO (SUMINISTRO, EXTENDIDO, NIVELACION, HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACIÓN, INCLUYE TRANSPORTE) | M3 | \$ 50,382.00 | 58.71 | | \$ 2,957,927 | |
| BASE GRANULAR CLASE C (BG_C) (SUMINISTRO EXTENDIDO MANUAL HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACIÓN) | M3 | \$ 113,438.00 | | 58.71 | | \$ 6,659,945.00 |
| SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL T 4000 PARA SEPARACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE Y CAPAS GRANULARES | M2 | \$ 5,796.00 | | 391.40 | | \$ 2,268,554.00 |
| TOTAL | | | | | \$ 34,574,029.00 | \$ 38,114,300.00 |
| Diferencia en costos | | | | | 9,29% | |

Tabla 12 Comparación costos ALT1 y ALT2. Fuente: Elaboración propia

La comparación se realizó con precios de la UAERMV del año 2018.

En este diseño se vislumbró tan solo una reducción en costos del 9,29%. Sin embargo, De acuerdo con Marini (2006), la rehabilitación de pavimentos con técnicas de reciclado podría estimarse en disminución de los costos en un 25%.⁹

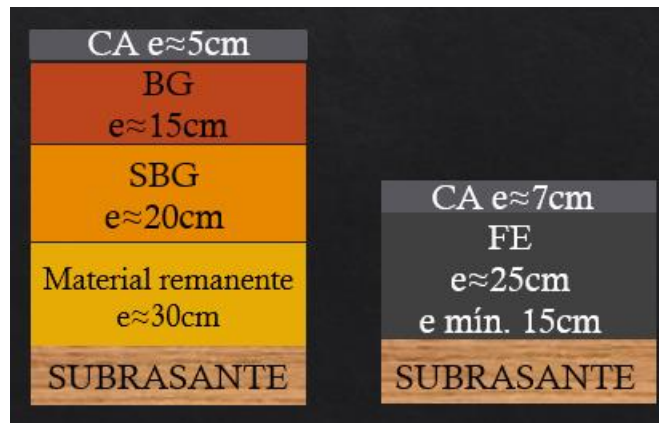
Se realizó una comparación de 10 diseños estructurales de pavimento de la UAERMV analizando los espesores de cada una de las alternativas.

| No | Dirección | CIV | CBR PROM (%) | TRANSITO | ALTERNATIVA 1: Fresado estabilizado - Espesores en cm | | | | ALTERNATIVA 2: Material Granular - Espesores en cm | | | | | Diferencia total de espesor entre alternativas |
|----|----------------------------------|----------|--------------|----------|---|---------|----------------|-----------------|--|-------|------|----------------|-----------------|--|
| | | | | | Material de mejoramiento | Fresado | Capa asfáltica | Σ espesor total | Material de mejoramiento | SBG-B | BG-B | Capa asfáltica | Σ espesor total | |
| 1 | KR 22 ENTRE CLL63C Y CL 63D | 12002641 | 6 | 1790000 | | 30 | 8 | 38 | | 27.5 | 17.5 | 5 | 50 | 12 cm |
| 2 | CLL 75 ENTRE KR28 Y KR 29 | 12000159 | 4.6 | 130000 | | 20 | 5 | 25 | | 15 | 15 | 5 | 35 | 10 cm |
| 3 | kr62 entre calle 98a y calle 98b | 12000048 | 2.45 | 6230000 | | 34 | 8 | 42 | 30 | 32.5 | 20 | 5 | 87.5 | 45.5 cm |
| 4 | CL71 ENTRE KR 27C Y KR 28 | 12002093 | 2.4 | 1770000 | 25 | 26 | 8 | 59 | 30 | 25 | 17.5 | 5 | 77.5 | 18.5 cm |
| 5 | KR66 ENTRE CLL96 BIS Y CLL 97 | 50007115 | 2.5 | 300000 | | 27.5 | 5 | 32.5 | 30 | 17.5 | 15 | 5 | 67.5 | 35 cm |
| 6 | DG74 DESDE KR 28A HASTA KR29 | 12001683 | 4 | 630000 | | 18 | 5 | 23 | 20 | 15 | 15 | 5 | 55 | 32 cm |
| 7 | EJE VIAL CLL 67 A BIS | 12001718 | 4.8 | 90000 | | 15 | 7.5 | 22.5 | 20 | 15 | 15 | 5 | 55 | 32.5 cm |
| 8 | KR67 ENTRE CLL 94 Y CLL 94A | 12000168 | 3.5 | 600000 | | 28.5 | 7.5 | 36 | 30 | 22.5 | 15 | 5 | 72.5 | 36.5 cm |
| 9 | KR 61A ENTRE CLL 94BIS Y CLL 94A | 12000213 | 2.3 | 870000 | | 31 | 7.5 | 38.5 | 30 | 20 | 17.5 | 5 | 72.5 | 34 cm |
| 10 | KR58 ENTRE CLL 80 Y CLL 88 | 12000545 | 2.04 | 290000 | | 26.5 | 7.5 | 34 | 30 | 17.5 | 15 | 7.5 | 70 | 36 cm |

Tabla 13 Comparación en espesor de diseños realizados por la UAERMV con alternativa 1 de fresado estabilizado como base y alternativa 2 estructura convencional con material granular. Fuente: Elaboración propias con información de la UAERMV.

⁹ Marini S., Reciclado de pavimentos en frío, Centro de Investigaciones Viales Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata. Buenos Aires, Argentina, 2006.

Se realizó el mismo ejercicio de comparar los costos esta vez con espesores promedio de cada capa obtenidos de las alternativas de los 10 diseños de la UAERMV donde es más visible la disminución de espesores entre las dos alternativas, lo cual conlleva a una mayor reducción en costos al usar fresado estabilizado como capa de base.



*Ilustración 9 Esquemas de alternativas con espesores promedio de 10 diseños de la UAERMV
Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 14 se presenta la comparación de costos entre alternativas con espesores promedio, se realizaron los cálculos para un tramo de vía de 100 metros de longitud con ancho de calzada de 7,5 metros.

| ACTIVIDAD | UN | VALOR UNITARIO | Cantidades ALT1 FE | Cantidades ALT2 GRANULAR | Valor ALT1 FE | Valor ALT2 GRANULAR |
|--|----|----------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO | M2 | \$ 479.00 | 750.00 | 750.00 | \$ 359,250.00 | \$ 359,250.00 |
| EXCAVACIÓN MECÁNICA (INCLUYE CARGUE, TRANSPORTE Y RETIRO DE ESCOMBROS) | M3 | \$ 41,993.00 | 240.00 | 525.00 | \$ 10,078,320.00 | \$ 22,046,325.00 |
| NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MECÁNICA DE SUBRASANTE | M2 | \$ 1,036.00 | 750.00 | 750.00 | \$ 777,000.00 | \$ 777,000.00 |
| RAP ESTABILIZADO (INCLUYE SUMINISTRO, TRANSPORTE, NIVELACIÓN MECÁNICA Y COMPACTACIÓN) | M3 | \$ 160,214.00 | 187.50 | | \$ 30,040,125.00 | \$ 0.00 |
| MEZCLA ASFÁLTICA MD-12 (INCLUYE SUMINISTRO, TRANSPORTE, EXTENDIDA MECÁNICA Y COMPACTACIÓN) | M3 | \$ 471,269.00 | 52.50 | 37.50 | \$ 24,741,623.00 | \$ 17,672,588.00 |
| LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRL-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego) | M2 | \$ 1,571.00 | 750.00 | 750.00 | \$ 1,178,250.00 | \$ 1,178,250.00 |
| SUB-BASE SBG-C (SUMINISTRO, EXTENDIDO MANUAL, NIVELACION, HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACION, INCLUYE TRANSPORTE) | M3 | \$ 118,819.00 | | 150.00 | \$ 0 | \$ 17,822,850.00 |
| AFIRMADO (SUMINISTRO, EXTENDIDO, NIVELACION, HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACIÓN, INCLUYE TRANSPORTE) | M3 | \$ 50,382.00 | 0.00 | 225.00 | \$ 0 | \$ 11,335,950.00 |
| BASE GRANULAR CLASE C (BG_C) (SUMINISTRO EXTENDIDO MANUAL HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACIÓN) | M3 | \$ 113,438.00 | | 112.50 | 0 | \$ 12,761,775.00 |
| SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL T 4000 PARA SEPARACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE Y CAPAS GRANULARES | M2 | \$ 5,796.00 | | 750.00 | 0 | \$ 4,347,000.00 |
| TOTAL | | | | | \$ 67,174,568.00 | \$ 88,300,988.00 |
| Diferencia en costos | | | | | %23.93 | |

Tabla 14 Comparación costos ALT1 y ALT2 con espesores promedio. Fuente: Elaboración propia

La comparación se realizó con precios de la UAERMV del año 2018. Para este caso de análisis se obtuvo una reducción de costos del 23,93%, valor mayor al presentado en el tramo del estudio de caso.



11 CONCLUSIONES

11.1 PROPUESTAS PARA MEJORAR

- Realizar estudio detallado de los materiales, llevando a cabo la caracterización según Normatividad IDU 2011 para realizar proceso de reciclaje en planta
- Tanto la entidad como sus ingenieros técnicos deben tener conocimiento suficiente de las especificaciones de los materiales y recomendaciones técnicas que detalle las normas pertinentes para el diseño de pavimento, fórmula de trabajo y proceso constructivo.
- Realizar un mejor control en planta de las humedades del material reciclado para que al momento de su puesta en obra este cuente con una humedad adecuada para su correcta compactación y proceso de curado.
- Realizar el seguimiento post construcción de los tramos intervenidos con fresado estabilizado con emulsión y efectuar los mantenimientos periódicos según concepto técnico de profesionales.
- Utilizar emulsión de rompimiento lento cuyo residuo de destilación tenga una penetración 100-250 para el reciclado en frío.
- Se recomienda saber la mineralogía del material de fresado y el de adición para que tengan una mineralogía similar para que el ligante tenga la misma adhesividad con el material de fresado y el material granular adicionado.



11.2 BUENAS PRÁCTICAS QUE RESALTAR

- La fórmula de trabajo dio como resultado 63% de material fresado y 37% de Base granular clase A.
- El curado del tramo de prueba se dio en 6 días ya que se reniveló el fresado estabilizado el día 23 de febrero de 2018 y en los ensayos del día 1 de marzo de 2018 la humedad ya estaba en la óptima del diseño en 5%. Sin embargo, la mezcla se colocó a los 10 días como dice la norma IDU 2011 como mínimo 10 días.
- La apertura al tránsito según normatividad IDU 2001 debe ser mínimo a los 5 días después de terminada la compactación del material fresado. Aspecto que se cumplió en obra ya que la capa se compactó el día 23 de febrero de 2018 y se instaló la rodadura asfáltica a los 10 días. Si el material fresado estabilizado con emulsión asfáltica se hubiese instalado como capa de rodadura, si se debe dar apertura al tránsito no antes de 5 días y con velocidades de 30km /h sin paquear vehículos.
- El espesor de la capa compactada de fresado estabilizado como capa de base (e=15 cm) cumple con las recomendaciones de espesor según Especificación Técnica 450-11, numeral 450.5.7 en la cual se hace referencia a que el espesor de dicha capa no puede ser menor a 15cm ni mayor a 20cm.

11.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

- Analizando la comparación de costos para las alternativas planteadas para el tramo de prueba, se puede concluir que la implementación de material reciclado producto del fresado como capa de base redujo los costos de construcción en aproximadamente un 9,29%. No siendo una reducción tan trascendental, esta reducción puede llegar a ser significativa si se tiene en cuenta que son obras lineales donde la reducción de costos se evalúa por cada metro lineal a intervenir. (Gráfico 3)

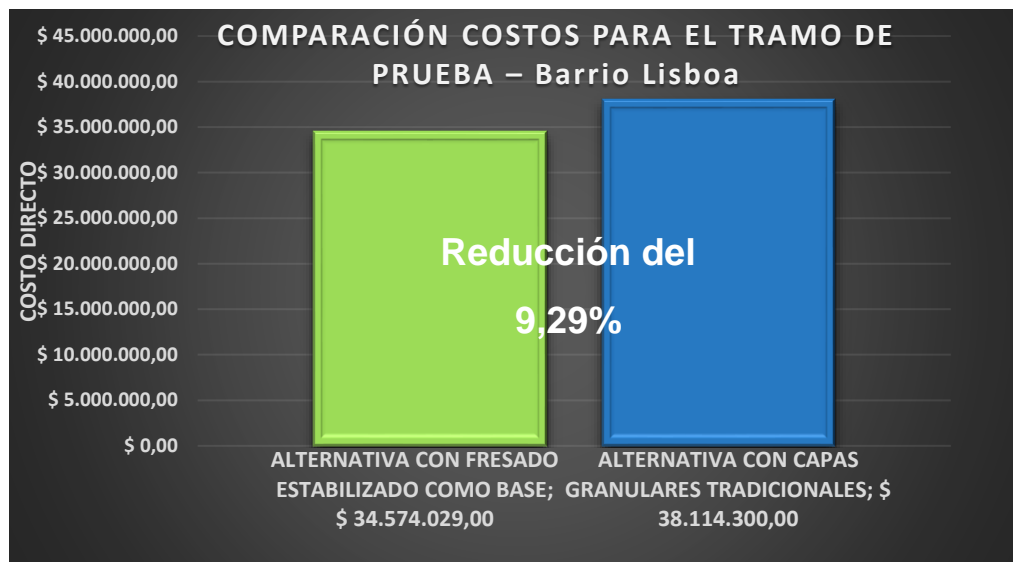


Gráfico 3 Comparación costos totales de alternativas para tramo de prueba en Suba Lisboa – Bogotá D.C. Fuente: Elaboración propia

Análisis comparativo de costos para alternativas de pavimento con espesores promedio obtenidos del estudio de los 10 diseños de pavimentos de la UAERMV.

- Realizando una comparación aislada de costos concernientes a los materiales granulares de ambas alternativas, de acuerdo con el Gráfico 4 se puede detallar una reducción del 28% en costos al implementar material fresado.

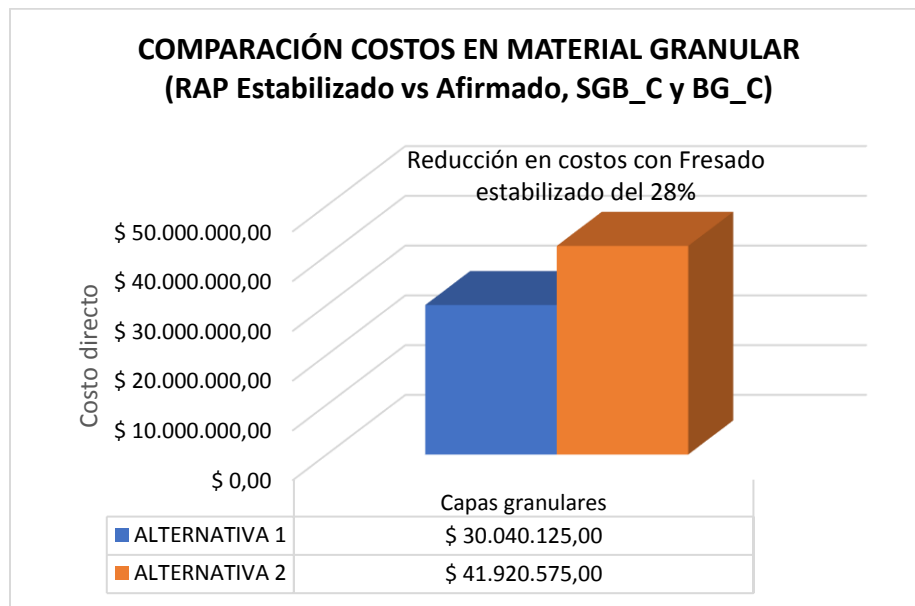


Gráfico 4 Comparación costos en material granular. Fuente: Elaboración propia

- Realizando una comparación aislada de costos concernientes a la conformación de la rodadura de ambas alternativas, de acuerdo con el Gráfico 5 se puede detallar que la reducción en costos al implementar material fresado no proviene de los costos directos de la rodadura. Para los diseños de la UAERMV se observa la implementación de una capa asfáltica de mayor espesor en pavimentos con fresado estabilizado como capa de base (e=7cm) en comparación con una estructura convencional granular (e=5cm).

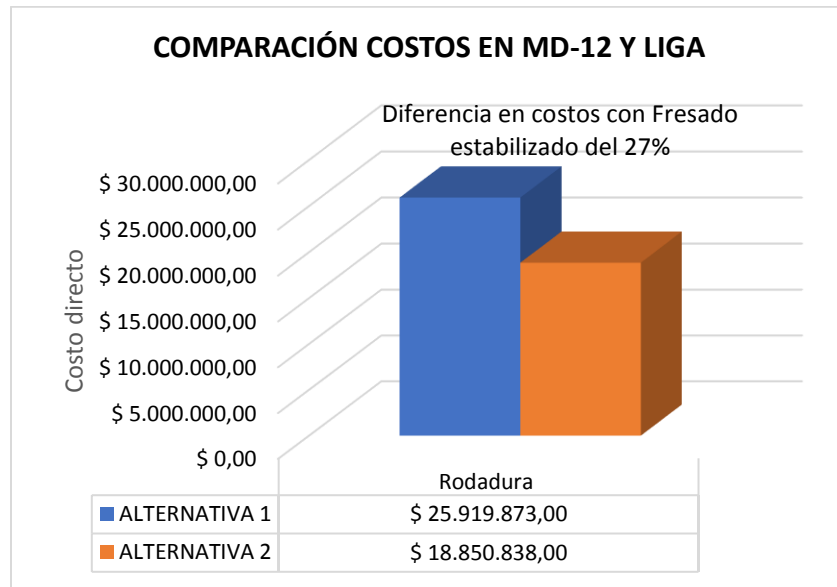


Gráfico 5 Comparación costos en mezcla asfáltica y liga. Fuente: Elaboración propia

- Realizando una comparación aislada de costos concernientes a la localización, excavación, nivelación y compactación en ambas alternativas; de acuerdo con el Gráfico 6 se puede detallar una trascendental reducción en costos al implementar material fresado. La reducción en costos por las actividades de localización, excavación, nivelación y compactación fue del 52%.

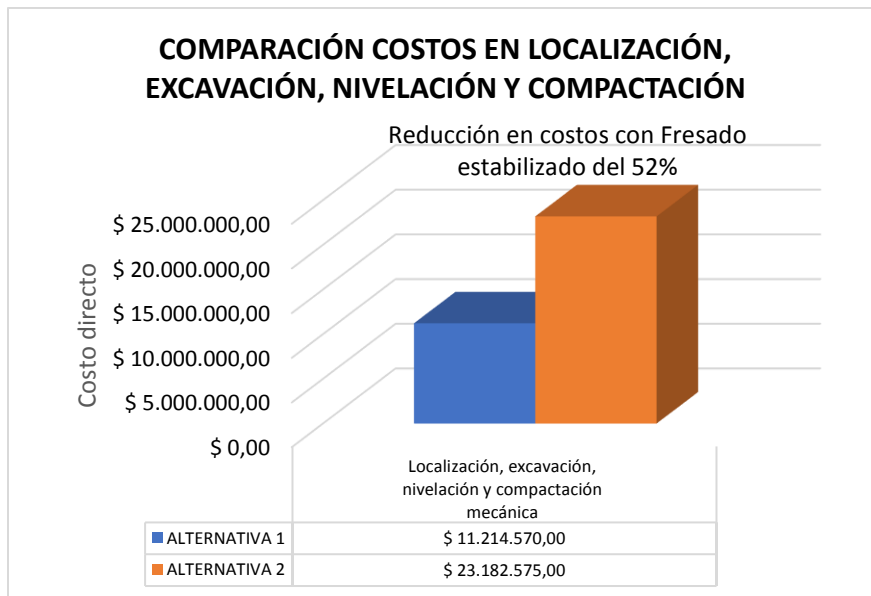


Gráfico 6 Comparación costos en localización, excavación, nivelación y compactación. Fuente: Elaboración propia

- Analizando 10 diseños de pavimentos de la UAERMV para los cuales se plantearon 2 alternativas (Alternativa 1-Fresado estabilizado como capa de base y Alternativa 2- Estructura convencional granular) se puede concluir que la implementación de material reciclado producto del fresado de vías Bogotanas como capa de base reduce los costos de construcción en aproximadamente un 24%. (Gráfico 7)
- Esta reducción se debe principalmente a la necesidad de excavar una menor profundidad; del análisis de los diseños realizados por la UAERMV se puede observar una diferencia de 38cm en la profundidad de excavación requerida. Para el caso los diseños estudiados de la UAERMV, la estructura que implementa fresado estabilizado como base requiere de una excavación de 32cm mientras que la estructura convencional granular requiere excavar una profundidad de 70cm.

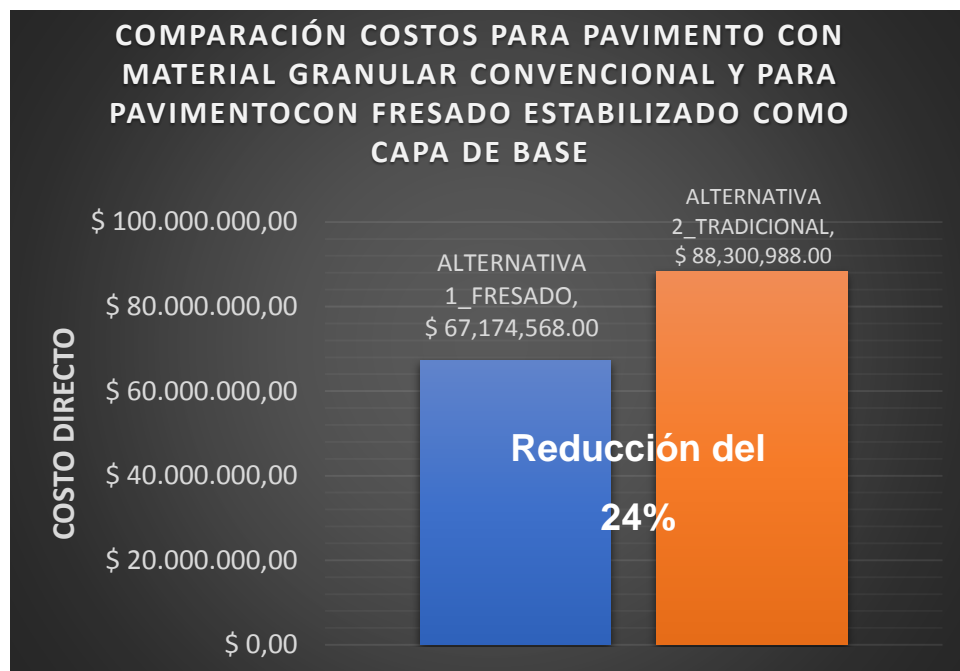


Gráfico 7 Comparación costos totales de alternativas 1 y 2. Fuente: Elaboración propia



11.4 VENTAJAS DEL USO DEL MATERIAL

11.4.1 AMBIENTAL

- Disminuir los impactos ambientales de extracción del material y consumos energéticos en la explotación de canteras y en la producción de granulares.
- Reducción de la vida útil de los rellenos sanitarios o sitios de disposición final.
- Realizar un uso racional de materiales reutilizándolos con algún uso por sus buenas propiedades o reciclando lo cual significa transformar en otro material.
- Disminución de material particulado en el aire mejorando la calidad de vida de los residentes cercanos a la vía.

11.4.2 COSTOS

- La reducción de costos según autores podría ser hasta del 30%¹⁰, la reducción obtenida según el análisis de los 10 diseños de la UAERMV fue del 24%.
- Disminución de costos en las actividades de excavación, material granular al obtener bajos espesores o ningún espesor granular (dependiendo del tránsito y del valor del CBR) y del transporte a botadero o escombrera.
- En el caso de la UAERMV al costar menos las vías realizadas con Fresado estabilizado con emulsión se pueden intervenir más vías en la ciudad de Bogotá.
- Disminución en costos de mantenimiento de vehículos que transitan por la vía.

¹⁰ J. Shoenberger, Cold-Mix Recycling of Asphalt Concrete Pavements, 1992.



11.4.3 INGENIERIL

- Conocer y saber utilizar el material de fresado estabilizado con emulsión como material de la capa de una estructura de pavimento garantizando la calidad de la intervención soportado con ensayos para ser utilizado de manera más frecuente ya que la normatividad colombiana cada vez es más estricta con los materiales de desecho de construcción y demolición de obras y en sus requerimientos nos dice que el asfalto debe ser reciclado en asfalto.
- Este material producido correctamente cumpliendo con los ensayos y normatividad IDU 2011 es un material mucho mejor que una base granular convencional ya que se mejoran propiedades de resistencia y hace que el módulo sea superior haciendo intervenciones más durables y resistentes.
- El buen estado y comportamiento que presenta la vía intervenida luego de tres meses de dar apertura al tránsito evidencia que durante el proceso constructivo se realizaron los ensayos de control y calidad de los materiales.
- Cabe resaltar que fueron solo dos aspectos técnicos que no se llevaron a cabo según normatividad IDU 2011. La emulsión catiónica de rompimiento lento CRL-1 no cumplió con el requisito relacionado con los ensayos sobre el residuo de destilación (INV E-762) en donde de acuerdo con la penetración calculada en laboratorio, la emulsión debía clasificar como una CRL-1 de penetración 100-250, requisito que no se cumplió ya que la penetración medida para la emulsión utilizada es 60-100. Así mismo, no se realizó estudio petrográfico al granular presente en el material fresado para descartar posibles problemas en el agregado que generen alguna patología.
- Al tener que realizar excavaciones de menor profundidad producto de la implementación de fresado estabilizado como capa base el cual requiere menores espesores que una estructura de pavimento con capas granulares tradicionales, se reducen la posibilidad de ocasionar daños en tuberías de red de acueducto o de gas.



11.5 DESVENTAJAS DEL USO DEL MATERIAL

- Se pueden presentar retrasos en la obra por no controlar humedades en planta, lo cual conlleva a presentar un asentamiento excesivo del material y a poseer un material con deficiente compacidad y resistencia.
- A diferencia de la instalación de una capa granular convencional, la instalación de material fresado estabilizado con emulsión asfáltica implementado como capa de base requiere de tiempo de curado lo cual implica un periodo más largo durante el cual se tiene cerrada la vía al tránsito.
- Para la utilización de este material como capa de base, se requieren ensayos de calidad previos para determinar correctamente la fórmula de trabajo los cuales implican una inversión adicional al diseño de pavimento.
- No hay Especificaciones Nacionales que traten puntualmente el reciclaje de pavimento asfáltico en planta en frío con emulsión asfáltica para base y subbase.



12 BIBLIOGRAFÍA

- Informe TP Fresado Estabilizado– UAERMV, 24 de enero de 2018.
- Bitácora de Obra, tramo de prueba ubicado en la calle 134 entre kr 151 a y kr 152 en el barrio Lisboa, Bogotá D.C.
- Evaluación y diseño estructural método AASHTO para tramo CIV (Código de identificación vial) 11003861, UAERMV.
- Informe De Ensayos, Densidad en el terreno Método del Cono de Arena INV E161-13 y Determinación de la humedad INV E150-13. Laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV.
- Cartera topográfica del levantamiento topográfico del material fresado estabilizado con emulsión como capa de base en tramo de prueba, UAERMV, 9 de enero de 2018.
- Especificaciones de Construcción Sección 450-11 IDU, Reciclaje de Pavimento Asfáltico en el sitio con Emulsión Asfáltica.
- Especificación Técnica Sección 400-11 IDU, Capas Granulares de Base y Subbase.
- Especificación Técnica Sección 210-11 IDU, Emulsión Asfáltica.
- Especificación Técnica Sección 510-11 IDU, Mezclas Asfálticas en Caliente Densas, Semidensa, Gruesas, y De Alto Módulo.
- Especificación técnica INV E 460-13, Fresado de Pavimento Asfáltico.
- Norma de ensayos de materiales INV E 732-13, Extracción cuantitativa del Asfalto en mezclas para Pavimentos.
- Norma de ensayos de materiales INV E 738-13, Efectos del agua sobre la resistencia a la comparación de las mezclas asfálticas compactadas (Ensayo de Inmersión-Compresión).



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
Trabajo de Grado

- Marini S., Reciclado de pavimentos en frio, Centro de Investigaciones Viales Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata. Buenos Aires, Argentina, 2006.
- Rodríguez E., Rondón H., Vélez D., Aguirre L. Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase, 2006.
- Díaz C., Castro L. Tesis de grado, Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá, 2017.
- Shoenberger J., Cold-Mix Recycling of Asphalt Concrete Pavements, 1992.
- Hernández P., Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas utilizando pavimento reciclado, ligantes hidráulicos y emulsiones asfálticas, 2014.
- Montejo A. Ingeniería de Pavimentos, tercera edición, 2do tomo.



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
Trabajo de Grado

ANEXO CARTERA TOPOGRÁFICA



FORMATO INFORME DE TOPOGRAFÍA

CÓDIGO: IMV-FM-004

VERSIÓN: 004

FECHA DE APLICACIÓN: JULIO DE 2017 CIV 11003861

| ABSCISA | SUB-BASE | | | FRESADO | | | ESP | ESP | ESP | PRO | ANCHO | AREA | VOL |
|-----------|----------|---------|---------|------------------|---------|---------|--------------|-------|-------|--------------|----------|---------|--------|
| | BVD | EJE | BVI | BVD | EJE | BVI | | | | | | | |
| K0+000.00 | 498.720 | 498.695 | 498.705 | 498.735 | 498.759 | 498.755 | 0.015 | 0.064 | 0.050 | 0.043 | 3.8 | | |
| K0+002.50 | 498.770 | 498.760 | 498.780 | 498.815 | 498.822 | 498.828 | 0.045 | 0.062 | 0.048 | 0.051 | 3.8 | 9.500 | 0.449 |
| K0+005.00 | 498.825 | 498.845 | 498.815 | 498.895 | 498.885 | 498.900 | 0.070 | 0.040 | 0.085 | 0.065 | 3.8 | 9.500 | 0.553 |
| K0+007.50 | 498.878 | 498.900 | 498.864 | 498.949 | 498.950 | 498.953 | 0.071 | 0.050 | 0.089 | 0.070 | 3.8 | 9.500 | 0.642 |
| K0+010.00 | 498.958 | 498.956 | 498.912 | 499.003 | 499.015 | 499.006 | 0.045 | 0.059 | 0.094 | 0.066 | 3.8 | 9.500 | 0.647 |
| K0+012.50 | 499.019 | 499.019 | 499.011 | 499.077 | 499.077 | 499.080 | 0.058 | 0.058 | 0.068 | 0.061 | 3.8 | 9.500 | 0.605 |
| K0+015.00 | 499.077 | 499.080 | 499.080 | 499.150 | 499.139 | 499.153 | 0.073 | 0.059 | 0.073 | 0.068 | 3.8 | 9.500 | 0.616 |
| K0+017.50 | 499.072 | 499.068 | 499.070 | 499.172 | 499.158 | 499.159 | 0.100 | 0.090 | 0.089 | 0.093 | 3.8 | 9.500 | 0.766 |
| K0+020.00 | 499.063 | 499.063 | 499.073 | 499.194 | 499.176 | 499.165 | 0.131 | 0.113 | 0.092 | 0.112 | 3.8 | 9.500 | 0.974 |
| K0+022.50 | 499.058 | 499.058 | 499.083 | 499.190 | 499.166 | 499.161 | 0.131 | 0.108 | 0.077 | 0.106 | 3.825 | 9.531 | 1.037 |
| K0+025.00 | 499.013 | 499.038 | 499.055 | 499.185 | 499.156 | 499.156 | 0.172 | 0.118 | 0.101 | 0.130 | 3.85 | 9.594 | 1.132 |
| K0+027.50 | 499.013 | 499.018 | 499.038 | 499.168 | 499.152 | 499.136 | 0.155 | 0.133 | 0.098 | 0.129 | 3.85 | 9.625 | 1.247 |
| K0+030.00 | 498.995 | 499.003 | 499.028 | 499.151 | 499.147 | 499.116 | 0.156 | 0.144 | 0.088 | 0.129 | 3.85 | 9.625 | 1.242 |
| K0+032.50 | 498.993 | 498.988 | 498.992 | 499.136 | 499.124 | 499.113 | 0.143 | 0.136 | 0.121 | 0.133 | 3.85 | 9.625 | 1.264 |
| K0+035.00 | 498.979 | 498.973 | 498.963 | 499.121 | 499.101 | 499.110 | 0.142 | 0.128 | 0.147 | 0.139 | 3.85 | 9.625 | 1.311 |
| K0+037.50 | 498.981 | 498.958 | 498.938 | 499.091 | 499.081 | 499.098 | 0.110 | 0.123 | 0.160 | 0.131 | 3.825 | 9.594 | 1.294 |
| K0+040.00 | 498.963 | 498.938 | 498.948 | 499.061 | 499.060 | 499.086 | 0.098 | 0.122 | 0.138 | 0.119 | 3.8 | 9.531 | 1.192 |
| K0+042.50 | 498.952 | 498.943 | 498.963 | 499.048 | 499.054 | 499.069 | 0.096 | 0.111 | 0.106 | 0.104 | 3.775 | 9.469 | 1.058 |
| K0+045.00 | 498.943 | 498.938 | 498.953 | 499.035 | 499.047 | 499.052 | 0.092 | 0.109 | 0.099 | 0.100 | 3.75 | 9.406 | 0.960 |
| K0+047.50 | 498.925 | 498.925 | 498.943 | 499.015 | 499.033 | 499.034 | 0.090 | 0.107 | 0.091 | 0.096 | 3.775 | 9.406 | 0.923 |
| K0+050.00 | 498.908 | 498.908 | 498.913 | 498.995 | 499.018 | 499.016 | 0.087 | 0.110 | 0.103 | 0.100 | 3.8 | 9.469 | 0.929 |
| K0+052.50 | 498.908 | 498.895 | 498.900 | 499.004 | 499.011 | 499.018 | 0.096 | 0.115 | 0.117 | 0.110 | 3.8 | 9.500 | 0.996 |
| K0+055.00 | 498.898 | 498.888 | 498.891 | 499.013 | 499.003 | 499.019 | 0.115 | 0.115 | 0.128 | 0.119 | 3.8 | 9.500 | 1.088 |
| K0+057.50 | 498.871 | 498.863 | 498.853 | 498.997 | 498.992 | 499.006 | 0.126 | 0.129 | 0.153 | 0.136 | 3.8 | 9.500 | 1.213 |
| K0+060.00 | 498.858 | 498.843 | 498.848 | 498.981 | 498.981 | 498.993 | 0.123 | 0.138 | 0.145 | 0.135 | 3.8 | 9.500 | 1.289 |
| K0+062.50 | 498.833 | 498.833 | 498.868 | 498.939 | 498.941 | 498.945 | 0.105 | 0.108 | 0.076 | 0.097 | 3.8 | 9.500 | 1.102 |
| K0+065.00 | 498.813 | 498.813 | 498.848 | 498.896 | 498.901 | 498.896 | 0.083 | 0.088 | 0.048 | 0.073 | 3.8 | 9.500 | 0.806 |
| K0+067.50 | 498.793 | 498.803 | 498.833 | 498.878 | 498.881 | 498.880 | 0.084 | 0.078 | 0.046 | 0.070 | 3.8 | 9.500 | 0.678 |
| K0+070.00 | 498.783 | 498.773 | 498.783 | 498.859 | 498.861 | 498.863 | 0.076 | 0.088 | 0.080 | 0.081 | 3.8 | 9.500 | 0.717 |
| K0+072.50 | 498.743 | 498.748 | 498.763 | 498.840 | 498.849 | 498.838 | 0.096 | 0.100 | 0.075 | 0.091 | 3.8 | 9.500 | 0.817 |
| K0+075.00 | 498.743 | 498.737 | 498.753 | 498.820 | 498.836 | 498.813 | 0.077 | 0.099 | 0.060 | 0.079 | 3.8 | 9.500 | 0.804 |
| K0+077.50 | 498.723 | 498.718 | 498.738 | 498.810 | 498.826 | 498.810 | 0.087 | 0.107 | 0.071 | 0.089 | 3.8 | 9.500 | 0.795 |
| K0+080.00 | 498.703 | 498.683 | 498.693 | 498.800 | 498.815 | 498.806 | 0.097 | 0.132 | 0.113 | 0.114 | 3.8 | 9.500 | 0.963 |
| K0+082.50 | 498.700 | 498.675 | 498.673 | 498.788 | 498.799 | 498.800 | 0.087 | 0.124 | 0.126 | 0.113 | 3.8 | 9.500 | 1.077 |
| K0+085.00 | 498.650 | 498.653 | 498.660 | 498.775 | 498.783 | 498.793 | 0.125 | 0.130 | 0.133 | 0.129 | 3.8 | 9.500 | 1.149 |
| K0+087.50 | 498.630 | 498.640 | 498.660 | 498.775 | 498.769 | 498.770 | 0.145 | 0.128 | 0.109 | 0.128 | 3.8 | 9.500 | 1.221 |
| K0+090.00 | 498.640 | 498.620 | 498.625 | 498.775 | 498.754 | 498.746 | 0.135 | 0.134 | 0.121 | 0.130 | 3.8 | 9.500 | 1.224 |
| K0+092.50 | 498.625 | 498.608 | 498.600 | 498.762 | 498.718 | 498.715 | 0.136 | 0.109 | 0.114 | 0.120 | 3.8 | 9.500 | 1.188 |
| K0+095.00 | 498.617 | 498.582 | 498.572 | 498.748 | 498.681 | 498.683 | 0.131 | 0.099 | 0.111 | 0.114 | 3.8 | 9.500 | 1.111 |
| K0+097.50 | 498.597 | 498.560 | 498.560 | 498.738 | 498.671 | 498.673 | 0.141 | 0.111 | 0.113 | 0.122 | 3.8 | 9.500 | 1.118 |
| K0+100.00 | 498.577 | 498.535 | 498.540 | 498.728 | 498.661 | 498.663 | 0.151 | 0.126 | 0.123 | 0.133 | 3.8 | 9.500 | 1.211 |
| K0+103.00 | 498.520 | 498.503 | 498.495 | 498.708 | 498.641 | 498.643 | 0.188 | 0.138 | 0.148 | 0.158 | 3.8 | 11.400 | 1.661 |
| | | | | | | | | | | | 3.804762 | | |
| | | | | ESPOSOR PROMEDIO | | | | | | | 0.104 | | |
| | | | | | | | VOLUMEN REAL | | | | TOTAL M3 | 391.900 | |
| | | | | | | | AREA | | | | TOTAL M3 | | 41.068 |

Elaboró _____
Nombre _____
Cargo _____

Aprobo _____
Nombre _____
Cargo _____

| |
|--------|
| |
| |
| |
| |
| |
| ACUM |
| |
| 1.002 |
| 1.644 |
| 2.291 |
| 2.896 |
| 3.512 |
| 4.278 |
| 5.252 |
| 6.289 |
| 7.421 |
| 8.669 |
| 9.911 |
| 11.175 |
| 12.486 |
| 13.780 |
| 14.972 |
| 16.030 |
| 16.991 |
| 17.913 |
| 18.842 |
| 19.838 |
| 20.926 |
| 22.138 |
| 23.427 |
| 24.529 |
| 25.335 |
| 26.013 |
| 26.730 |
| 27.547 |
| 28.351 |
| 29.146 |
| 30.109 |
| 31.186 |
| 32.335 |
| 33.556 |
| 34.780 |
| 35.968 |
| 37.079 |
| 38.197 |
| 39.408 |
| 41.068 |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |



ESTUDIO DE CASO (PARTE B): UTILIZACIÓN DE FRESADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO COMO CAPA DE BASE EN LA LOCALIDAD DE SUBA, CALLE 134 ENTRE KR 151 A Y KR 152 EN EL BARRIO LISBOA, BOGOTÁ D.C

UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
Trabajo de Grado

ANEXO INFORMES DE ENSAYOS DE LABORATORIO



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad de Mantenimiento Vial

INFORME DE ENSAYOS
DENSIDAD EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA INV E-161-13 Y
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INV E-150-13

CÓDIGO: PRO-FM-037

VERSIÓN: 3.0

FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE 2017

| | | | | | |
|--|---|---|-----------------------|------------------------------------|----------------------|
| CLIENTE: | | UMV | | FECHA DE ENSAYO: 28/12/2017 | |
| LOCALIDAD Y/O BARRIO: | | SUBA | | CIV: 11003861 | |
| DIRECCIÓN Y/O UBICACIÓN: | | CALLE 134 CON CARRERA 151 A Y CARRERA 152 | | | |
| DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: | | MATERIAL R.A.P ESTABILIZADO | | | |
| EQUIPOS: | | | | | |
| BALANZA No. | 1 | HUMEDOMETRO No. | 1 | CONO No. | 1 |
| DATOS DE CAMPO | | | | | |
| Ensayo No: | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Localización (abscisa) | | K0+022 | K0+022 | K0+022 | |
| Lado (eje, izquierdo o derecho) | | DERECHO | EJE | IZQUIERDO | |
| Capa del material (1 ^{ra} , 2 ^{da} etc.) / Espesor | | 8 PASADAS VIBRO | 10 PASA PASADAS VIBRO | 4 PASADAS STOP | |
| A=Masa Frasco + Arena inicial | g | 5524 | 5453 | 5367 | |
| B=Masa Frasco + Arena final | g | 2077 | 2144 | 1997 | |
| C=A-B Masa Total Arena Usada | g | 3447 | 3309 | 3370 | |
| D=Constante del Cono | g | 1601 | 1601 | 1601 | |
| E=C-D Masa arena en el Hueco | g | 1846 | 1708 | 1769 | |
| F=Densidad de la Arena | g/cm ³ | 1,401 | 1,401 | 1,401 | |
| G=E/F Volumen del Hueco | cm ³ | 1317,63 | 1219,13 | 1262,67 | |
| H= Masa suelo húmedo (material extraído) | g | 2741 | 2577 | 2721 | |
| HUMEDAD DEL SUELO INV E-150-13 | | | | | |
| Masa de la muestra (aprox. 25 g) | g | 25 | 25 | 24 | |
| I=Humedad | % | 9,4 | 9,4 | 8,8 | |
| CÁLCULOS | | | | | |
| J=H/G = Densidad Húmeda en el terreno | g/cm ³ | 2,08 | 2,11 | 2,15 | |
| K=J/(1+I/100) Densidad Seca material de ensayo | g/cm ³ | 1,90 | 1,93 | 1,98 | |
| L=K*9,807 Peso Unitario seco en el terreno | kN/ m ³ | 18,6 | 18,9 | 19,4 | |
| Método: INV E 142-13 Proctor Referencia | M=Densidad Seca Máxima γ_d | g/cm ³ | 1,96 | 1,96 | 2,14 |
| | Humedad óptima | % | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| N=K/M*100 Grado Compactación (Di) | % | 100,4 | 100,3 | 100,2 | |
| Masa de sobre tamaños | g | 253 | 201 | 209 | |
| Porcentaje de sobre tamaños, tamiz de 3/4" | % | 9,2 | 7,8 | 7,7 | |
| (%) Valor promedio | | 100,3 | | Cumple: | SI |
| (CRITERIO DE ACEPTACIÓN) | ESPECIFICACIONES | | IDU ET-400-11 | | IDU ET-450-11 |
| | Material | SUBBASE | BASE | RAP ESTABILIZADO | |
| | % compactación (γ_d) | ≥ 95 | ≥ 100 | ≥ 98 | |
| Observaciones: Este informe de ensayo no incluye corrección por sobretamaños | | | | | |
| La densidad media (Dm) cumple con el 95% de la densidad maxima en laboratorio para RAP estabilizado, especificaciones IDU-ET-2011 seccion 450-11.La densidad maxima se determina mediante el ensayo de compresion inmersión norma INV-E-738-2007 | | | | | |
| Elaboró: | | Revisó: | | Aprobó: | |
| Firma: | | Firma: | | Firma: | |
| Nombre y Apellido: Juan Ospina | | Pablo Vargas | | Edison Garzón | |
| Cargo: | | | | | |
| Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV. | | | | | |
| Laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV Sede de Producción Parque Minero Industrial El Mochuelo Kilometro 3 vía Pasquilla localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. - Colombia Tel: 3779555 Ext 1145 E- mail: p.laboratorio@umv.gov.co | | | | | |



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad de Mantenimiento Vial

INFORME DE ENSAYOS
DENSIDAD EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA INV E-161-13 Y
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INV E-150-13

CÓDIGO: PRO-FM-037

VERSIÓN: 3.0

FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE 2017

| | | | | | |
|--|---|---|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| CLIENTE: | | INTERVENCIÓN | | FECHA DE ENSAYO: 28/12/2017 | |
| LOCALIDAD Y/O BARRIO: | | SUBA | | CIV: 11003861 | |
| DIRECCIÓN Y/O UBICACIÓN: | | CALLE 134 CON CARRERA 151 A Y CARRERA 152 | | | |
| DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: | | MATERIAL R.A.P ESTABILIZADO | | | |
| EQUIPOS: | | | | | |
| BALANZA No. | 1 | HUMEDOMETRO No. | 1 | CONO No. | 1 |
| DATOS DE CAMPO | | | | | |
| Ensayo No: | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Localización (abscisa) | | K0+085 | K0+085 | K0+085 | |
| Lado (eje, izquierdo o derecho) | | DERECHO | EJE | IZQUIERDO | |
| Capa del material (1 ^{ra} 2 ^{da} etc.) / Espesor | | cm | 8 PASADAS VIBRACIÓN ESTANDAR | 10 PASADAS STOP | 4 PASADAS VIBRACIÓN ESTANDAR |
| A=Masa Frasco + Arena inicial | | g | 5759 | 5677 | 5609 |
| B=Masa Frasco + Arena final | | g | 2118 | 2039 | 2075 |
| C=A-B Masa Total Arena Usada | | g | 3641 | 3638 | 3534 |
| D=Constante del Cono | | g | 1601 | 1601 | 1601 |
| E=C-D Masa arena en el Hueco | | g | 2040 | 2037 | 1933 |
| F=Densidad de la Arena | | g/cm ³ | 1,401 | 1,401 | 1,401 |
| G=E/F Volumen del Hueco | | cm ³ | 1456,10 | 1453,96 | 1379,73 |
| H= Masa suelo húmedo (material extraído) | | g | 3149 | 3005 | 2857 |
| HUMEDAD DEL SUELO INV E-150-13 | | | | | |
| Masa de la muestra (aprox. 25 g) | | g | 25 | 24 | 24 |
| I=Humedad | | % | 8,6 | 8,6 | 8,4 |
| CÁLCULOS | | | | | |
| J=H/G = Densidad Húmeda en el terreno | | g/cm ³ | 2,16 | 2,07 | 2,07 |
| K=J/(1+I/100) Densidad Seca material de ensayo | | g/cm ³ | 1,99 | 1,90 | 1,91 |
| L=K*9,807 Peso Unitario seco en el terreno | | kN/ m ³ | 19,5 | 18,7 | 18,7 |
| Método: INV E 142-13 Proctor Referencia | | M=Densidad Seca Máxima γ_d g/cm ³ | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| | | Humedad óptima % | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| N=K/M*100 Grado Compactación (Di) | | % | 100,4 | 100,3 | 100,2 |
| Masa de sobre tamaños | | g | 253 | 201 | 209 |
| Porcentaje de sobre tamaños, tamiz de 3/4" | | % | 9,2 | 7,1 | 9,8 |
| (%) Valor promedio | | | 100,3 | | Cumple: SI |
| (CRITERIO DE ACEPTACIÓN) | | ESPECIFICACIONES | | IDU ET-400-11 | |
| | | Material | | SUBBASE | BASE |
| | | % compactación (γ_d) | | ≥ 95 | ≥ 100 |
| | | | | IDU ET-450-11 | |
| | | | | RAP ESTABILIZADO | |
| | | | | ≥ 98 | |
| Observaciones: Este informe de ensayo no incluye corrección por sobretamaños | | | | | |
| La densidad media (Dm) cumple con el 95% de la densidad maxima en laboratorio para RAP estabilizado, especificaciones IDU-ET-2011 seccion 450-11.La densidad maxima se determina mediante el ensayo de compresion inmersión norma INV-E-738-2007 | | | | | |
| Elaboró: | | Revisó: | | Aprobó: | |
| Firma: | | Firma: | | Firma: | |
| Nombre y Apellido: Juan Ospina | | Nombre y Apellido: Pablo Vargas | | Nombre y Apellido: Edison Garzón | |
| Cargo: | | Cargo: | | Cargo: | |
| Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV. | | | | | |
| Laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV Sede de Producción Parque Minero Industrial El Mochuelo Kilometro 3 vía Pasquilla localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. - Colombia Tel: 3779555 Ext 1145 E- mail: p.laboratorio@umv.gov.co | | | | | |



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad de Mantenimiento Vial

INFORME DE ENSAYOS
DENSIDAD EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA INV E-161-13 Y
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INV E-150-13

CÓDIGO: PRO-FM-037 VERSIÓN: 3.0

FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE 2017

CLIENTE: GERENCIA DE INTERVECIÓN **FECHA DE ENSAYO:** 2018-01-09

LOCALIDAD Y/O BARRIO: SUBA **CIV:** 11003861 **CÓDIGO:** S1,00118

DIRECCIÓN Y/O UBICACIÓN: CALLE 134 CON CARRERA 151 A -152

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: FRESADO

EQUIPOS:

BALANZA No. 1 HUMEDOMETRO No. 1 CONO No. 1

DATOS DE CAMPO

| Ensayo No: | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| Localización (abscisa) | K0+090 | K0+085 | K0+022 | |
| Lado (eje, izquierdo o derecho) | EJE | IZQUIERDO | EJE | |
| Capa del material (1 ^{ra} , 2 ^{da} etc.) / Espesor | cm | FRESADO / 10 | FRESADO / 10 | FRESADO / 10 |
| A=Masa Frasco + Arena inicial | g | 5608 | 5606 | 5578 |
| B=Masa Frasco + Arena final | g | 2313 | 2143 | 2176 |
| C=A-B Masa Total Arena Usada | g | 3295 | 3463 | 3402 |
| D=Constante del Cono | g | 1621 | 1621 | 1621 |
| E=C-D Masa arena en el Hueco | g | 1674 | 1842 | 1781 |
| F=Densidad de la Arena | g/cm ³ | 1,401 | 1,401 | 1,401 |
| G=E/F Volumen del Hueco | cm ³ | 1194,86 | 1314,78 | 1271,23 |
| H= Masa suelo húmedo (material extraído) | g | 2495 | 2723 | 2681 |

HUMEDAD DEL SUELO INV E-150-13

| | | | | |
|----------------------------------|---|------------|------------|------------|
| Masa de la muestra (aprox. 25 g) | g | 23,0 | 24,5 | 23,2 |
| I=Humedad | % | 7,0 | 6,2 | 6,8 |

CÁLCULOS

| | | | | |
|--|---|-------------|-------------|--------------|
| J=H/G = Densidad Húmeda en el terreno | g/cm ³ | 2,09 | 2,07 | 2,11 |
| K=J/(1+I/100) Densidad Seca material de ensayo | g/cm ³ | 1,95 | 1,95 | 1,97 |
| L=K*9,807 Peso Unitario seco en el terreno | kN/ m ³ | 19,1 | 19,1 | 19,4 |
| Método: INV E 142-13 Proctor Referencia | M=Densidad Seca Máxima γ_d g/cm ³ | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| | Humedad óptima % | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| N=K/M*100 Grado Compactación (Di) | % | 99,8 | 99,7 | 101,0 |
| Masa de sobre tamaños | g | 256 | 352 | 229 |
| Porcentaje de sobre tamaños, tamiz de 3/4" | % | 10,3 | 12,9 | 8,5 |

| (CRITERIO DE ACEPTACIÓN) | ESPECIFICACIONES | IDU ET-400-11 | | IDU ET-450-11 |
|--------------------------|-------------------------------|---------------|--------------|------------------|
| | Material | SUBBASE | BASE | RAP ESTABILIZADO |
| | % compactación (γ_d) | ≥ 95 | ≥ 100 | ≥ 98 |

Observaciones: Este informe de ensayo no incluye corrección por sobretamaños
La densidad media (Dm) cumple con el 95% de la densidad maxima en laboratorio para RAP estabilizado, especificaciones IDU-ET-2011 seccion 450-11. La densidad maxima se determina mediante el ensayo de compresion inmersión norma INV-E-738-2007

Elaboró: **Revisó:** **Aprobó:**

Firma:

Nombre y Apellido: Juan Ospina Pablo Vargas Sonia Gaviria

Cargo: Laboratorista Coord. Técnico lab. Lider de laboratorio

Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV.

Laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV
Sede de Producción Parque Minero Industrial El Mochuelo Kilometro 3 vía Pasquilla localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. - Colombia
Tel: 3779555 Ext 1145 E- mail: p.laboratorio@umv.gov.co



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Unidad de Mantenimiento Vial

INFORME DE ENSAYOS
DENSIDAD EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA INV E-161-13 Y
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INV E-150-13

CÓDIGO: PRO-FM-037 VERSIÓN: 3.0

FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE 2017

CLIENTE: GERENCIA DE INTERVECIÓN **FECHA DE ENSAYO:** 2018-01-15

LOCALIDAD Y/O BARRIO: SUBA **CIV:** 11003861 **CÓDIGO:** S-100132

DIRECCIÓN Y/O UBICACIÓN: CALLE 139 ENTRE CARRERA 151 A Y CARRERA 152

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: RAP ESTABILIZADO

EQUIPOS:

BALANZA No. 1 HUMEDOMETRO No. 1 CONO No. 1

DATOS DE CAMPO

| Ensayo No: | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-------------------|--------|---------|-------|
| Localización (abscisa) | K0+020 | K0+270 | K0+095 | |
| Lado (eje, izquierdo o derecho) | EJE | EJE | DERECHO | |
| Capa del material (1 ^{ra} , 2 ^{da} etc.) / Espesor | cm | 2 RAP | 2 RAP | 2 RAP |
| A=Masa Frasco + Arena inicial | g | 6204 | 6185 | 6161 |
| B=Masa Frasco + Arena final | g | 3107 | 2606 | 2970 |
| C=A-B Masa Total Arena Usada | g | 3097 | 3579 | 3191 |
| D=Constante del Cono | g | 1601 | 1601 | 1601 |
| E=C-D Masa arena en el Hueco | g | 1496 | 1978 | 1590 |
| F=Densidad de la Arena | g/cm ³ | 1,401 | 1,401 | 1,401 |
| G=E/F Volumen del Hueco | cm ³ | 1068 | 1412 | 1135 |
| H= Masa suelo húmedo (material extraído) | g | 2141 | 2707 | 2305 |

HUMEDAD DEL SUELO INV E-150-13

| | | | | |
|----------------------------------|---|-----|-----|-----|
| Masa de la muestra (aprox. 25 g) | g | 25 | 25 | 25 |
| I=Humedad | % | 3,4 | 3,2 | 3,5 |

CÁLCULOS

| | | | | |
|--|---|------|------|-------|
| J=H/G = Densidad Húmeda en el terreno | g/cm ³ | 2,01 | 1,92 | 2,03 |
| K=J/(1+I/100) Densidad Seca material de ensayo | g/cm ³ | 1,94 | 1,86 | 1,96 |
| L=K*9,807 Peso Unitario seco en el terreno | kN/ m ³ | 19,0 | 18,2 | 19,2 |
| Método: INV E 142-13 Proctor Referencia | M=Densidad Seca Máxima γ_d g/cm ³ | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| | Humedad óptima % | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| N=K/M*100 Grado Compactación (Di) | % | 99,1 | 95,0 | 100,3 |
| Masa de sobre tamaños | g | | | |
| Porcentaje de sobre tamaños, tamiz de 3/4" | % | | | |

| (CRITERIO DE ACEPTACIÓN) | ESPECIFICACIONES | IDU ET-400-11 | | IDU ET-450-11 |
|--------------------------|-------------------------------|---------------|-------|------------------|
| | Material | SUBBASE | BASE | RAP ESTABILIZADO |
| | % compactación (γ_d) | ≥ 95 | ≥ 100 | ≥ 98 |

Observaciones: Este informe de ensayo no incluye corrección por sobretamaños
La densidad media (Dm) cumple con el 95% de la densidad maxima en laboratorio para RAP estabilizado, especificaciones IDU-ET-2011 seccion 450-11.La densidad maxima se determina mediante el ensayo de compresion inmersión norma INV-E-738-2007

Elaboró: **Revisó:** **Aprobó:**



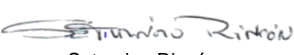
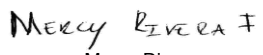
Firma:



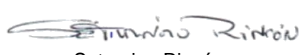
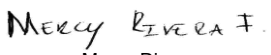
Nombre y Apellido: David Galvis Pablo Vargas Sonia Gaviria

Cargo: Laboratorista Coord. Técnico lab. Lider de laboratorio

Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV.

Laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV
Sede de Producción Parque Minero Industrial El Mochuelo Kilometro 3 vía Pasquilla localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. - Colombia
Tel: 3779555 Ext 1145 E- mail: p.laboratorio@umv.gov.co

|  | | INFORME DE ENSAYOS DENSIDAD EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA INV E-161-13 Y DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INV E-150-13 | | | |
|--|---|---|---|------------------------------------|--------------------------|
| | | CÓDIGO: PRO-FM-037 | | VERSIÓN: 3.0 | |
| | | FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE 2017 | | | |
| CLIENTE: | | GERENCIA DE INTERVENCIÓN | | FECHA DE ENSAYO: 2018-02-24 | |
| LOCALIDAD Y/O BARRIO: | | SUBA LISBOA | CIV: | 11003861 | CÓDIGO: S-1002124 |
| DIRECCIÓN Y/O UBICACIÓN: | | CALLE 134 CON CARRERA 151 A -152 | | | |
| DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: | | RAP ESTABILIZADO | | | |
| EQUIPOS: | | | | | |
| BALANZA No. | 1 | HUMEDOMETRO No. | 1 | CONO No. | 1 |
| DATOS DE CAMPO | | | | | |
| Ensayo No: | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Localización (abscisa) | | K0+010 | K0+032 | K0+055 | K0+075 |
| Lado (eje, izquierdo o derecho) | | CENTRO | DERECHO | IZQUIERDO | CENTRO |
| Capa del material (1 ^{ra} , 2 ^{da} etc.) / Espesor | cm | 15 | 15 | 15 | 15 |
| A=Masa Frasco + Arena inicial | g | 6464 | 6452 | 6439 | 6410 |
| B=Masa Frasco + Arena final | g | 3204 | 3241 | 3289 | 3018 |
| C=A-B Masa Total Arena Usada | g | 3260 | 3211 | 3150 | 3392 |
| D=Constante del Cono | g | 1601 | 1601 | 1601 | 1601 |
| E=C-D Masa arena en el Huevo | g | 1659 | 1610 | 1549 | 1791 |
| F=Densidad de la Arena | g/cm ³ | 1,401 | 1,401 | 1,401 | 1,401 |
| G=E/F Volumen del Huevo | cm ³ | 1184 | 1149 | 1106 | 1278 |
| H= Masa suelo húmedo (material extraído) | g | 2418 | 2370 | 2274 | 2628 |
| HUMEDAD DEL SUELO INV E-150-13 | | | | | |
| Masa de la muestra (aprox. 25 g) | g | 25 | 25 | 25 | 25 |
| I=Humedad | % | 7,0 | 7,4 | 7,0 | 7,8 |
| CÁLCULOS | | | | | |
| J=H/G = Densidad Húmeda en el terreno | g/cm ³ | 2,04 | 2,06 | 2,06 | 2,06 |
| K=J/(1+I/100) Densidad Seca material de ensayo | g/cm ³ | 1,91 | 1,92 | 1,92 | 1,91 |
| L=K*9,807 Peso Unitario seco en el terreno | kN/ m ³ | 18,7 | 18,8 | 18,9 | 18,7 |
| Método: INV E 142-13 Proctor Referencia | M=Densidad Seca Máxima γ _d | g/cm ³ | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| | Humedad óptima | % | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| N=K/M*100 Grado Compactación (Di) | % | 95,4 | 96,0 | 96,1 | 95,3 |
| Masa de sobre tamaños | g | | | | |
| Porcentaje de sobre tamaños, tamiz de 3/4" | % | | | | |
| (%) Valor promedio | | | 95,7 | | Cumple: Si |
| (CRITERIO DE ACEPTACIÓN) | ESPECIFICACIONES | | IDU ET-400-11 | | IDU ET-450-11 |
| | Material | SUBBASE | BASE | RAP ESTABILIZADO | |
| | % compactación (γ _d) | ≥ 95 | ≥ 100 | ≥ 98 | |
| Observaciones: Este informe de ensayo no incluye corrección por sobretamaños | | | | | |
| La densidad media (Dm) cumple con el 95% de la densidad maxima en laboratorio para RAP estabilizado, especificaciones IDU-ET-2011 seccion 450-11. La densidad maxima se determina mediante el ensayo de compresion inmersión norma INV-E-738-2007 | | | | | |
| Elaboró: | | Revisó: | | Aprobó: | |
| Firma: |  |  |  | | |
| Nombre y Apellido: | Victor Cristancho | Saturnino Rincón | Mercy Rivera | | |
| Cargo: | Laboratorista | Coord. Operativo lab. | Lider de Calidad | | |
| <small>Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV.</small> | | | | | |
| <small>Laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV Sede de Producción Parque Minero Industrial El Mochuelo Kilometro 3 vía Pasquilla localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. - Colombia Tel: 3779555 Ext.1145 E- mail: p.laboratorio@umv.gov.co</small> | | | | | |

|  | | INFORME DE ENSAYOS DENSIDAD EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA INV E-161-13 Y DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INV E-150-13 | | | |
|--|---|---|---|----------------|-------------------------|
| | | CÓDIGO: PRO-FM-037 | | VERSIÓN: 3.0 | |
| FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE 2017 | | | | | |
| CLIENTE: | GERENCIA DE INTERVENCIÓN | FECHA DE ENSAYO: | 2018-03-01 | | |
| LOCALIDAD Y/O BARRIO: | SUBA | CIV: | 11003861 | CÓDIGO: | DN-10-03-07 |
| DIRECCIÓN Y/O UBICACIÓN: | CALLE 134 ENTRE CARRERA 152 Y 151 A | | | | |
| DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: | RAP ESTABILIZADO- TRAMO DE PRUEBA | | | | |
| EQUIPOS: | | | | | |
| BALANZA No. | 1 | HUMEDOMETRO No. | 1 | CONO No. | 1 |
| DATOS DE CAMPO | | | | | |
| Ensayo No: | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Localización (abscisa) | | K0+010 | K0+025 | K0+040 | K0+055 |
| Lado (eje, izquierdo o derecho) | | IZQUIERDO | EJE | EJE | DERECHO |
| Capa del material (1 ^{ra} , 2 ^{da} etc.) / Espesor | cm | | | | |
| A=Masa Frasco + Arena inicial | g | 5882 | 5867 | 5826 | 5800 |
| B=Masa Frasco + Arena final | g | 2688 | 2799 | 2693 | 2705 |
| C=A-B Masa Total Arena Usada | g | 3194 | 3068 | 3133 | 3095 |
| D=Constante del Cono | g | 1601 | 1601 | 1601 | 1601 |
| E=C-D Masa arena en el Hueco | g | 1593 | 1467 | 1532 | 1494 |
| F=Densidad de la Arena | g/cm ³ | 1,401 | 1,401 | 1,401 | 1,401 |
| G=E/F Volumen del Hueco | cm ³ | 1137 | 1047 | 1094 | 1066 |
| H= Masa suelo húmedo (material extraído) | g | 2474 | 2210 | 2295 | 2228 |
| HUMEDAD DEL SUELO INV E-150-13 | | | | | |
| Masa de la muestra (aprox. 25 g) | g | 25 | 24 | 26 | 24 |
| I=Humedad | % | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| CÁLCULOS | | | | | |
| J=H/G = Densidad Húmeda en el terreno | g/cm ³ | 2,18 | 2,11 | 2,10 | 2,09 |
| K=J/(1+I/100) Densidad Seca material de ensayo | g/cm ³ | 2,07 | 2,01 | 2,00 | 1,99 |
| L=K*9,807 Peso Unitario seco en el terreno | kN/ m ³ | 20,3 | 19,7 | 19,6 | 19,5 |
| Método: INV E 142-13 Proctor Referencia | M=Densidad Seca Máxima γ_d | g/cm ³ | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| | Humedad óptima | % | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| N=K/M*100 Grado Compactación (Di) | % | 103,6 | 100,5 | 99,9 | 99,5 |
| Masa de sobre tamaños | g | | | | |
| Porcentaje de sobre tamaños, tamiz de 3/4" | % | | | | |
| (%) Valor promedio | | | 100,9 | Cumple: | Si |
| (CRITERIO DE ACEPTACIÓN) | ESPECIFICACIONES | | IDU ET-400-11 | | IDU ET-450-11 |
| | Material | | SUBBASE | BASE | RAP ESTABILIZADO |
| | % compactación (γ_d) | | ≥ 95 | ≥ 100 | ≥ 98 |
| Observaciones: Este informe de ensayo no incluye corrección por sobretamaños | | | | | |
| La densidad media (Dm) cumple con el 95% de la densidad máxima en laboratorio para RAP estabilizado, especificaciones IDU-ET-2011 seccion 450-11.La densidad maxima se determina mediante el ensayo de compresion inmersión norma INV-E-738-2007 | | | | | |
| Elaboró: | | Revisó: | | Aprobó: | |
| Firma: |  |  |  | | |
| Nombre y Apellido: | William Suarez | Saturnino Rincón | Mercy Rivera | | |
| Cargo: | Laboratorista | Coord. Operativo lab. | Lider de Calidad | | |
| Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV. | | | | | |
| Laboratorio de suelos y pavimentos de UAERMV Sede de Producción Parque Minero Industrial El Mochuelo Kilometro 3 vía Pasquilla localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. - Colombia Tel: 3779555 Ext.1145 E- mail: p.laboratorio@umv.gov.co | | | | | |