

EVALUACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL USO DEL
ASFALTO NATURAL PROCEDENTE DE LA MINA LA MILAGROSA (NORCASIA –
CALDAS) EN AFIRMADO, BASE Y SUB BASES GRANULARES

PRESENTADO POR
OSCAR EDUARDO GOMEZ ROJAS
ID: 000200525

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2018

EVALUACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL USO DEL
ASFALTO NATURAL PROCEDENTE DE LA MINA LA MILAGROSA (NORCASIA –
CALDAS) EN AFIRMADO, BASE Y SUB BASES GRANULARES

PRESENTADO POR
OSCAR EDUARDO GOMEZ ROJAS
ID: 000200525

Proyecto de grado presentado para obtener el título de ingeniero civil

Director de proyecto
LUZ MARINA TORRADO GOMEZ
Ingeniera civil docente UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2018

NOTA DE ACEPTACION

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga julio 2018

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado primerio que todo a DIOS porque con él se puede llegar hacer las cosas por mas imposible y difícil que parezca, puesto que cualquier persona que se entrega a él y le pide con fe puede lograr cualquier meta proyecto que se propone

A mis padres que son la base fundamental de mi vida y gracias a ellos soy lo que soy. En este momento quiero agradecerles de corazón por lo que han logrado hacer conmigo

Quiero agradecerle de manera muy especial a la ingeniera Luz Marina Torrado por sacar el valioso tiempo de ella para poder brindarme asesorías y la mejor ayuda, ella es parte fundamental en este trabajo puesto

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle de manera muy sincera a mi directora de proyecto la ingeniera Luz Marina Torrado por todo el tiempo y la disposición que tuvo con el proyecto durante todo el tiempo que transcurrió el mismo, a los laboratoristas encargado de cada laboratorio pues fueran base fundamental y de mucha ayuda durante los procesas experimentales de cada uno de los ensayos; agradezco a todas las personas que me apoyaron y estuvieron conmigo durante este proceso.

Tabla De Contenido

1. Introducción	6
1.1. 1.1. Pregunta problema.....	14
2. Delimitación Del Problema.....	14
3. Objetivos	15
3.1. Objetivo General	15
3.2. Objetivos Específicos.....	15
4. Justificación	16
5. Antecedentes	17
6. Marco Teórico.....	20
6.1. Ventajas Del Uso Del Mapia – Mezcla Asfáltica Natural	21
7. Metodología	22
7.1. Material A Utilizar	23
7.2. Muestra Del Material	24
7.3. Ensayo De Granulometría	25
7.4. Porcentaje De Asfalto %	25
7.5. Ensayo De Determinación Del Límite Líquido, Limite Plástico E Índice De Plasticidad De Los Suelos	26
7.6. Ensayo De Determinación De Contenido De Terrones De Arcillas Y Partículas Deleznales En Los Agregados.....	26
7.7. Ensayo Equivalente De Arena De Suelos Y Agregados Finos	27
7.8. Ensayo De Índice De Alargamiento Y Aplanamiento De Los Agregados Para Carreteras	27
7.9. Ensayo De Porcentaje De Partículas Fracturadas En Un Agregado Grueso.....	28
7.10. Ensayo De Solidez De Los Agregados Frente A La Acción De Soluciones De Sulfato De Sodio O Magnesio	29
7.11. Ensayo De Determinación Del Contenido De Vacíos En Agregados Finos No Compactados (Influenciado Por La Forma De Las Partículas, La Textura Superficial Y La Granulometría)	29
7.12. Ensayo de determinación del valor del 10% de los finos.....	30
7.13. Ensayo De Determinación De La Resistencia Del Agregado Grueso A La Degradación Por Abrasión Utilizando El Aparato Micro-Deval	31

7.14. Ensayo De Resistencia A La Degradación De Los Agregados De Tamaños Menores De 37.5 Mm (1 ½") Por Medio De La Máquina De Los Ángeles	32
8. Análisis Y Resultados	33
8.1. Ensayo De Granulometría Grafica %PASA VS TAMIZ.....	33
8.2. Ensayo Porcentaje De Asfalto.....	35
8.3. Ensayo De Determinación Del Límite Líquido, Limite Plástico E Índice De Plasticidad De Los Suelos	35
8.4. Determinación De Contenido De Terrones De Arcillas Y Partículas Deleznables En Los Agregados.....	36
8.5. Ensayo Equivalente De Arena De Suelos Y Agregados Finos	37
8.6. Ensayo De Índice De Alargamiento Y Aplanamiento De Los Agregados Para Carreteras	37
8.7. Ensayo De Porcentaje De Partículas Fracturadas En Un Agregado Grueso.....	38
8.8. Ensayo De Solides De Los Agregados Frente A La Acción De Soluciones De Sulfato De Sodio O Magnesio	38
8.9. Ensayo De Determinación Del Contenido De Vacíos En Agregados Finos No Compactados (Influenciado Por La Forma De Las Partículas, La Textura Superficial Y La Granulometría)	39
8.10. Ensayo De Determinación Del Valor Del 10% De Los Finos	39
8.11. Ensayo de determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión utilizando el aparato micro-deval	40
8.13. Cuadro Comparativo De Los Ensayos Realizados Y Las Especificaciones Según La Norma Invias 2013	41
9. Conclusiones	42
10. Recomendaciones	43
Referencias Bibliográficas	44

Lista De Tablas

Tabla 2 Datos Ensayo Limite Líquido, Limite Plástico E Índice De Plasticidad	36
Tabla 3 Datos Ensayo Contenido De Terrones De Arcilla	36
Tabla 4 Datos Ensayo Equivalente De Arena.....	37
Tabla 5 Datos Ensayo Índice De Alargamiento Y Aplanamiento	37
Tabla 6 Datos Ensayo Partículas Fracturadas	38
Tabla 7 Datos Ensayo Solides En Soluciones De Sulfato	38
Tabla 8 Datos Ensayo Contenido De Vacíos En Agregados Finos No Compactados.....	39
Tabla 9 Datos ensayo valor del 10% de los finos	39
Tabla 10 Datos Ensayo Degradación Por Abrasión Utilizando Micro-Deval	40
Tabla 11 Datos Ensayo Degradación Por Medio De La Máquina De Los Ángeles	40
Tabla 12 Cuadro Comparativo De Los Ensayos Realizados Y Las Especificaciones Según La Norma Invias 2013.....	41

Lista de Imágenes

Imagen 1 Cantera De Mezcla Natural (MAPIA) COLASFALTOS S.A; LA DORADA CALDAS.....	22
Imagen 2 Muestra para realizar los ensayos	24
Imagen 3 Muestras Ensayo Granulometría.....	25
Imagen 4 Muestras Ensayo Porcentaje De Asfalto.....	25
Imagen 5 Ejecución y muestra ensayo limite líquido y limite plástico	26
Imagen 6 Muestras Ensayo Partículas Deleznables Y Contenido De Terrones De Arcilla.....	26
Imagen 7 Muestra Y Ejecución Ensayo Equivalente De Arena	27
Imagen 8 Muestra Ensayo Alargamiento Y Aplanamiento	28
Imagen 9 Muestras Partículas Fracturadas	28
Imagen 10 Muestras Ensayo Solidez Con Sulfatos	29
Imagen 11 Ejecución Ensayo Angularidad De La Fracción Fina.....	29
Imagen 12 Muestra Y Ejecución Ensayo 10% De Los Finos.....	30
Imagen 13 Muestra Para Ensayo Micro- Deval.....	31
Imagen 14 Muestra El Ensayo De Maquina De Los Ángeles	32

Lista de Gráficas

Gráficas 1 Muestra La Gradación Del Material Para Ser Utilizado Como Afirmado	33
Gráficas 2 Muestra La Gradación Del Material Para Ser Utilizado Como Sub-Base Granular	34
Gráficas 3 Muestra La Gradación Del Material Para Ser Utilizado Como Base Granular	34

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL USO DEL ASFALTO NATURAL PROCEDENTE DE LA MINA LA MILAGROSA (NORCASIA – CALDAS) EN AFIRMADO, BASE Y SUB BASES GRANULARES

AUTOR(ES): oscar eduardo gomez rojas

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Ing Msc Luz Marina Torrado

RESUMEN

La MAPIA es una mezcla asfáltica natural conocidas también como Asfaltitas o Asfalto Natural. Es un material compuesto principalmente por arenas finas impregnadas de crudo de petróleo refinado naturalmente, es un producto innovador que resulta de un proceso de explotación de asfalto natural que se deriva de asfálticos creados para brindar tecnología de construcción en frío con calidad técnica y protección del medio ambiente. Se analizaron 2 tipos de materiales en este proyecto los cuales son mapia y mapia mas agregado de pescadero el cual tiene un porcentaje de asfalto de 11.11% lo que lo hace un material muy atractivo para obras de ingeniería, se realizaron los ensayos para afirmado base y sub-base granular segun la norma INVIAS-13 analizando los resultados obtenemos que estos tipos de materiales no se obtuvo limite liquido y limite plastico, es un material sin plasticidad y segun la norma no cumplen con la granulometria lo cual no es un material apto para ser utilizado como afirmado base y sub base granular,

PALABRAS CLAVE:

asfalto, mapia, asfaltita, afirmado, base, estabilizacion, granulometria

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF THE TECHNICAL SPECIFICATIONS FOR THE USE OF THE NATURAL ASPHALT FROM THE MILAGROSA MINE (NORCASIA -CALDAS) IN AFFIRMATION, BASE AND SUB GRANULAR BASES

AUTHOR(S): oscar eduardo gomez rojas

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ing Msc Luz Marina Torrado

ABSTRACT

MAPIA is a natural asphalt mixture also known as Asphaltite or Natural Asphalt. It is a material composed mainly of fine sands impregnated with crude oil naturally refined, is an innovative product that results from a process of exploitation of natural asphalt that is derived from asphalts created to provide cold construction technology with technical quality and environmental protection ambient. We analyzed 2 types of materials in this project which are mapia and mapia plus aggregate of fishmonger which has a percentage of asphalt of 11.11% which makes it a very attractive material for engineering works, the tests were carried out for affirmed base and granular sub-base according to the norm INVIAS-13 analyzing the results obtained that these types of materials were not obtained limit liquid and plastic limit, it is a material without plasticity and according to the norm do not comply with the granulometry which is not a material suitable for be used as affirmed base and granular sub base

KEYWORDS:

asphalt, mapia, asfaltite, affirmed, base, stabilization, granulometry

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. Introducción

La MAPIA es una mezcla asfáltica natural conocidas también como Asfaltitas o Asfalto Natural. Es un material compuesto principalmente por arenas finas impregnadas de crudo de petróleo refinado naturalmente, es un producto innovador que resulta de un proceso de explotación de asfalto natural que se deriva de asfálticos creados para brindar tecnología de construcción en frío con calidad técnica y protección del medio ambiente. (Colombiana De Asfaltos SA, 2013)

El material con el cual se trabajó y se realizó la respectiva evaluación de su viabilidad para ser usado en afirmados, base y sub-base granular, corresponde su procedencia de la mina la milagrosa (NORCASIA, CALDAS) suministrado por Colombiana de Asfaltos S.A. con esto se buscó analizar las propiedades mecánicas de estos materiales y su posible uso para mejoramiento de suelos, evaluando el cumplimiento de las especificaciones técnicas del invias 2013 para estos usos y la viabilidad en los mismos. Así mismo suministrar unas vías de acceso a usuarios de tal manera que se mejore el tránsito vehicular en vías terciarias.

1.1. 1.1. Pregunta problema

¿Es viable el uso del asfalto natural procedente de la mina la milagrosa (Norcasia –Caldas) para utilizarlo en afirmado, base y sub bases granulares según la norma invias 2013?

2. Delimitación Del Problema

Con este proyecto se desea analizar y evaluar el uso de la MAPIA para ser utilizada en afirmado, base y sub base granular en los corredores viales de Colombia. Para ello esto se realizaron los siguientes ensayos: granulometría, porcentaje de asfalto, limite líquido y limite plástico, determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados, equivalente de arena, índice de alargamiento y aplanamiento, caras fracturadas, solides con sulfatos, angularidad de la fracción fina, determinación del 10% de los finos, degradación por abrasión (micro deval), degradación en la máquina de los ángeles. Posteriormente, se analizaron y compararon los resultados obtenidos de los ensayos realizados con las especificaciones técnicas estipulados en la norma INVIAS 2013 para así evaluar la viabilidad del material para ser utilizado en proyectos viales.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Evaluar el cumplimiento de las especificaciones técnicas según la norma invias 2013 para el uso del asfalto natural y asfalto natural con agregado de Pescadero para uso en afirmado, base y sub bases granulares.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades mecánicas del asfalto natural para afirmado base y sub base.
- Analizar los resultados de los ensayos realizados y contrastarlos con las especificaciones técnicas de INVIAS 2013 para afirmados base y sub bases granulares.
- Verificar el uso del asfalto natural como una alternativa en las vías del país, mediante el cumplimiento de este material según las especificaciones técnicas INVIAS 2013.
- Analizar los dos tipos de materiales conformados por mapia pura y la mapia pura mezclada con agregado de pescadero y así comparándolos con la norma INVIAS 2013.

4. Justificación

En Colombia hay una creciente tendencia hacia la investigación de nuevas técnicas para el mejoramiento de las vías de bajo volumen de tráfico, éstas van desde la caracterización de suelos y materiales disponibles en cada región del país, hasta la fabricación de productos enzimáticos o polímeros y estabilizaciones químicas y tratamientos para suelos de características poco deseables en la construcción vial. (Acuña & Molina, 2015)

Aunque actualmente las entidades que financian proyectos de mejoramientos viales no apoyan proyectos que involucren mejoramientos con adición de material granular de afirmado, las opciones de intervención siguen siendo reducidas, centrándose en la construcción de placa huella, o pavimentación con concreto hidráulico, o asfáltico. No obstante en algunas regiones del país, como Boyacá, Santander, Caquetá y ciertas zonas del eje cafetero, la alternativa del uso de asfaltitas está presentando incremento (Acuña & Molina, 2015). Además de la caracterización de los materiales disponibles en el país, hace falta la calibración de especificaciones para aplicación de ciertas tecnologías o técnicas usadas, como es el ejemplo de la placa huella, que está siendo muy usada en diferentes regiones del país, pero aún no cuenta con una especificación avalada por INVIAS, aunque dicha entidad promueve y financia proyectos que involucren su uso. (Acuña & Molina, 2015)

Debido a que existen vías terciarias que ameritan intervención y permitan el acceso adecuado de cultivos, mercancías, materiales e innumerables tipos de mercancías que se transportan por este tipo de carreteras; se estudiara el uso del asfalto natural como una propuesta para ser utilizado en las vías terciarias del país; es necesario plantear el uso de un material que ofrezca un buen funcionamiento de las vías y que cumpla con todo lo estipulado en la norma INVIAS 2013 para afirmado base y sub base granular.

5. Antecedentes

Se han encontrado estudios que anteceden a este proyecto, en los cuales se ha utilizado la mapia como material para diferentes proyectos viales, los cuales se mencionan a continuación.

Se realizó la caracterización y realización del diseño con material de la región de San Luis, Tolima para el mejoramiento de la red secundaria y terciaria del departamento de Cundinamarca, utilizando como material ligante la mapia – asfaltita, en el cual se evidencio un alto contenido de asfalto en las 3 muestras de asfaltita aun cuando se realizó el cuarteo respectivo para homogenizarlas, se presentaron contenidos de asfalto entre el 19,18 % y el 25,2 % de asfalto lo que resulta muy atractivo para continuar analizando las diferentes posibilidades de uso de este material en particular, ya que generalmente las asfaltitas históricamente trabajadas tienen entre el 5 % y el 9 % de asfalto. Se confirmó que la asfaltita es un material netamente de granulometría fina, ya que los porcentajes de material por encima del tamiz de 3/8” son entre el 0,34 % y el 1,09 %, lo que obliga siempre a hacer el complemento con materiales gruesos (Estupiñan, 2006).

Al mezclar este material con material reciclado (RAP) y con material convencional se obtuvieron los siguientes resultados:

Se obtienen probetas con densidad más alta al utilizar material reciclado que granulares convencionales, de manera que esto puede ayudar a encontrar valores de flujo más bajos, haciendo más probable cumplir con los requisitos solicitados por las normas.

Se encontraron valores de flujo en los siguientes rangos:

- Asfaltita virgen entre 7,9 – 9,6.
- Asfaltita con granular convencional entre 3,9 y 7,2.
- Asfaltita con granular tipo RAP entre 3,9 y 4,9.

Lo que evidencia que es mejor el comportamiento de la asfaltita al mezclarse con material reciclado que con el material convencional, aunque es bueno resaltar que se debe tener mayor control en el mezclado homogéneo de los materiales y la temperatura a la cual se ejecuta la misma operación. (Estupiñan, 2006).

La “Mapia” Y “Asfaltita”, Alternativas De Construcción En Obras De Infraestructura Vial En El Contrato Ruta Del Sol Tramo 1”. Se ha planteado una única alternativa compuesta por material de la fuente “Bocamonte” del K57+000 correspondiente al corredor principal como base granular y MAPIA en proporción (3/1/1) con arena y agregado con tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ”.

La elección de esta alternativa obedece a la naturaleza de la vía y a la facilidad de consecución de los materiales en este caso

El cálculo del tránsito se realizó estimando el volumen de materiales requeridos para la obra en los sub tramos 2 y 3, que van a procesarse y transportarse desde los campamentos; el tránsito resultante de esta estimación se aproxima a los setecientos cincuenta mil (750.000)

Se planteó tres estructuras que, aunque contemplan materiales con las mismas características, presenta variación en los espesores. Esto obedece a que cada una de las estructuras fue propuesta para diferentes periodos en los que se desarrolla un tránsito determinado.

Debido a que el presupuesto inicial contemplaba estructuras menores a las requeridas para llegar al final del periodo de diseño, se han presentado alternativas adicionales de menor

espesor; aclarando que además del mantenimiento rutinario que se deba dar a la estructura, se darán sostenimientos mayores en un corto plazo ante la escasez de la estructura para cubrir los requerimientos impuestos por el tránsito considerado.

Sin embargo, es factible esta propuesta, pues los materiales planteados pueden ser reciclados y en una “Segunda Fase de Construcción” se puede añadir una capa adicional que ayude a llevar a un buen término la estructura del pavimento al final del periodo para el cual está proyectada. (david santos, 2012)

6. Marco Teórico

EL MAPIA es una mezcla asfáltica natural que se encuentra en un determinado sitio en forma de impregnaciones viscosas. Proceden de la refinación natural de un hidrocarburo del petróleo cuyas fracciones volátiles se evaporaron por múltiples situaciones al interior de la tierra durante el fenómeno de migración del petróleo hacia la superficie terrestre. El crudo que existió en esta región en algún momento ascendió y sufrió un proceso de refinación natural, impregnando así el suelo totalmente. (Berry & Reid , 1993)

El asfalto natural es un material que posee grandes beneficios y ventajas está conformado principalmente por arenas finas impregnadas con el crudo del petróleo refinado de una manera natural, es un producto nuevo en comparación con las mezclas asfálticas usadas en las vías, el asfalto natural resulta de un proceso de aprovechamiento conseguido con el pasar de los años en las minas en donde se deriva las asfaltitas naturales la cual se explota para brindar tecnología de construcción y aplicación en temperatura ambiente , frío o caliente con calidad técnica y protección del ecosistema.

Robledo Isaza en 1996 haciendo la veeduría del proyecto Hidroeléctrico Miel, propuso a la Cámara de Comercio de Manizales, incorporar la utilización del MAPIA para el mejoramiento de las vías internas de circulación del proyecto. Idea acogida por el Dr. Mario Aristizabal Muñoz, Gerente del proyecto y el Dr. Ricardo Zapata, Gobernador de Caldas de aquel momento. (CSI INGENIERIA SAS, 2016)

Haciendo parte como contratista del proyecto Hidromiel, el Sr. Antonio Álvarez, conoció este producto y desde aquel entonces lo ha venido utilizando en diferentes obras viales de la región. Con el paso del tiempo se ha venido tecnificando el producto para dar uso adecuado de acuerdo a los requerimientos. (CSI INGENIERIA SAS, 2016)

6.1. Ventajas Del Uso Del Mapia – Mezcla Asfáltica Natural

La metodología de pavimentación con MAPIA es conocida como técnica de pavimentación ECOLÓGICO – ECONÓMICA (Colombiana De Asfaltos SA, 2013)

Ecológica por:

- El proceso de explotación NO requiere el uso de explosivos.
- En la metodología de construcción en frío los consumos energéticos son mínimos.
- NO hay generación de volátiles derivados del petróleo (hidrocarburos) por lo tanto, hay mínima contaminación de la capa de Ozono.
- El MAPIA almacenado e instalado no produce lixiviados contaminantes.
- En la producción, es suficiente el asfalto del MAPIA. No se requiere agregar ningún ligante adicional.

La tendencia mundial lleva a que las técnicas de pavimentación con asfalto reduzcan significativamente las temperaturas en cualquier proceso ya que la contaminación ambiental y las personas con la metodología tradicional es exagerada.

Con el MAPIA en tibio se ofrece actualmente productos de calidad frente a la competencia.

Con la metodología de MAPIA en frío se tiene gran ventaja dada por la misma trayectoria.

Económica por:

- El MAPIA puede acopiarse por períodos largos de tiempo y sus propiedades no se alteran.
- Se reduce al máximo el desperdicio de materiales en obra.
- No se requiere maquinaria especializada para su aplicación.
- En la zona cercana a la mina de los precios, frente a la metodología tradicional en caliente, se reducen a la tercera parte.
- Al costo de MAPIA puro, por tratarse de un producto natural está exento del IVA.

- Apertura inmediata al tránsito luego de instalarse.
- Es reutilizable, el material reciclado se mejora fácilmente y se recuperan vías con mínima inversión.
- Existen diferentes alternativas en la instalación del producto

(Colombiana De Asfaltos SA, 2013)

7. Metodología

La metodología llevada a cabo para el desarrollo de este proyecto de grado, se describe a continuación.

El primer paso consistió en la recolección de información posible en cuanto a proyectos realizados con MAPIA como: artículos de investigación, trabajos de grados, revistas etc. Estos fueron la base fundamental para poder iniciar este proyecto, los cuales permitieron desde el inicio realizar un correcto desarrollo de cada paso o actividad a realizar.

El proyecto fue desarrollado con material proveniente de la cantera ubicada en norcacia caldas y suministrado por la empresa COLASFALTOS tal como se muestra en la imagen 1.



Imagen 1 Cantera De Mezcla Natural (MAPIA) COLASFALTOS S.A; LA DORADA CALDAS

Fuente: El autor

En la cantera la explotación del asfalto natural se realiza de la siguiente manera:

Ya definida la zona de explotación se realiza el descapote con excavadora para el retiro de la capa vegetal y material estéril luego se traslada en volqueta el material estéril extraído hasta la disposición final; este material estéril tiene como disposición final la conformación de terrenos que ya han sido explotados, se hace la extracción de Mapia con excavadora, posteriormente, se traslada en volqueta el material (Mapia) extraído según su clasificación hasta el acopio interno definido seguido de la verificación técnica haciendo muestreo cada 100 m³ de los acopios identificados y por ultimo se realiza reforestación del terreno nuevamente para ser entregado en las condiciones que exige el plan de manejo ambiental (Colombiana De Asfaltos SA, 2013)

La empresa COLASFALTOS SA clasifica el material de la siguiente manera:

- MAPIA TIPO 1B → Mezcla asfáltica natural con contenido de asfalto entre 10% y 13%. Debe mezclarse con pétreos (COLASFALTOS, 2013)
- MAPIA TIPO 4C → Mezcla asfáltica natural con contenido de asfalto del 9%, aprox. Utilizado como tratamiento superficial en vías. (COLASFALTOS, 2013)
- MAPIA TIPO 5C → Mezcla asfáltica natural con ajuste granulométrico proporcionado por una arena bien gradada. (COLASFALTOS, 2013)
- MAPIA TIPO 6C → Mezcla asfáltica natural con ajuste granulométrico proporcionado por una arena bien gradada y triturado. (COLASFALTOS, 2013)

7.1. Material A Utilizar

Una vez obtenido el material de estudio el cual es extraído de la mina la milagrosa (Norcacia-caldas) se trasladó a los laboratorios de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

para realizarle los respectivos ensayos de caracterización de acuerdo a la norma INVIAS 2013.

Cada uno de los ensayos realizados en el laboratorio se ejecutaron teniendo como base la norma de ensayo de materiales 2013 del INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, con la finalidad de caracterizar y conocer el comportamiento del material a estudiar y realizar una comparación entre los datos obtenidos en laboratorio y los datos suministrados por la norma INVIAS 2013 con respecto al AFIRMADO, BASE GRANULAR Y SUB BASE GRANULAR.

Para el estudio se utilizaron dos tipos de materiales:

MAPIA natural y MAPIA natural más agregado de 3/8" obtenido de la cantera de Pescadero.

7.2. Muestra Del Material



Imagen 2 Muestra para realizar los ensayos

Fuente: El autor

Muestra para realizar los ensayos la cual es tomada de la cantera de COLASFALTOS ubicada en NORCASIA CALDAS.

A continuación, se describen los ensayos realizados para la caracterización de los materiales:

7.3. Ensayo De Granulometría



Imagen 3 Muestras Ensayo Granulometría

Fuente: El autor

Ensayo de granulometría. Se realizó después de extraer el asfalto del material, se realizaron dos ensayos de granulometría uno para cada material (MAPIA PURA) (MAPIA PURA +AGREGADO DE 3/8)

7.4. Porcentaje De Asfalto %



Imagen 4 Muestras Ensayo Porcentaje De Asfalto

Fuente: El autor

Para sacar el porcentaje de asfalto la muestra se ubica en la maquina centrifuga, según la norma se lava con cloruro de metileno en este caso se lava con gasolina por la ausencia del solvente; el cual arrojo el siguiente resultado.

El peso inicial de la muestra fue: 1.164 gr.

El peso final de la muestra fue: 1.035 gr.

7.5. Ensayo De Determinación Del Límite Líquido, Limite Plástico E Índice De Plasticidad De Los Suelos



Imagen 5 Ejecución y muestra ensayo limite líquido y limite plástico

Fuente: El autor

Este ensayo se realizó luego de extraer el asfalto del material, el cual se realizó en la máquina centrífuga, según la norma **INVIAS E – 125 -13** se pesa una muestra que pase por el tamiz # 40 aproximadamente 150 – 200 gr. Para preparar la muestra se requieren 3 o más tanteos de agua, se procede a hacer la respectiva calibración del equipo.

7.6. Ensayo De Determinación De Contenido De Terrones De Arcillas Y Partículas Deleznable En Los Agregados



Imagen 6 Muestras Ensayo Partículas Deleznable Y Contenido De Terrones De Arcilla

Fuente: El autor

Según la norma **INVIAS E-211-13** la masa del agregado fino deberá ser una masa de no menos de 25 gr de muestra que pase por el tamiz #4 y retenida en el tamiz # 16 la muestra de agregado grueso deberá separar en diferentes tamaños según los tamices #4 3/8” , 3/4” , 1 1/2” las muestras se dejan en reposo durante 24 horas luego con los dedos se aprietan entre el pulgar y el dedo índice las partículas para tratar de partirlas luego se pasa por el tamiz # 8 y # 20 respectivamente.

7.7. Ensayo Equivalente De Arena De Suelos Y Agregados Finos



Imagen 7 Muestra Y Ejecución Ensayo Equivalente De Arena
Fuente: El autor

Según la norma **INVIAS E-133-13** se obtiene una muestra de material que pase por el tamiz #4 de no menos de 1500 gr; se vierte la solución del cloruro de sodio (3.78 lt) al cilindro graduado, se golpea el cilindro con la palma de la mano para eliminar las burbujas; luego se deja reposar la muestra durante 12 min y se toma la lectura de la arcilla y de la arena.

7.8. Ensayo De Índice De Alargamiento Y Aplanamiento De Los Agregados Para Carreteras

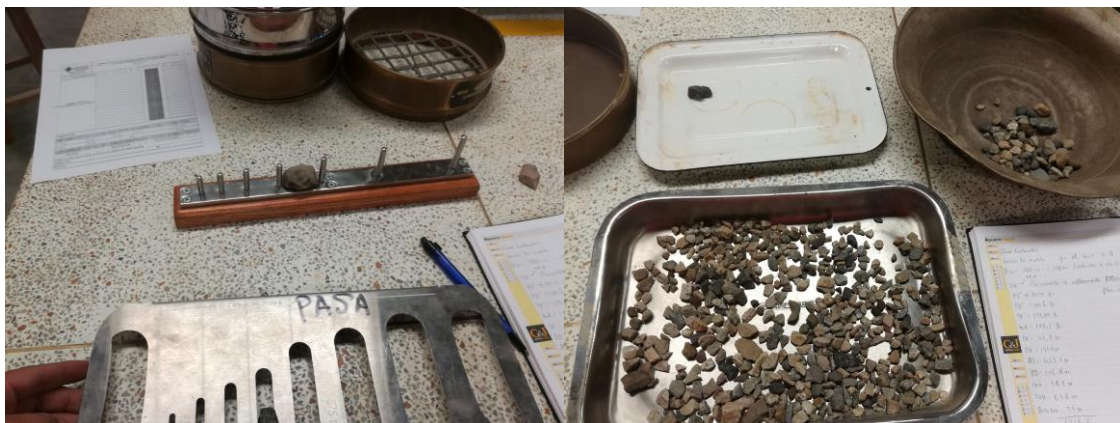


Imagen 8 Muestra Ensayo Alargamiento Y Aplanamiento

Fuente: El autor

Según la norma **INVIAS E-230-13** se realiza una granulometría según la norma INV-E-213 se pesa cada uno del material retenido en los tamices (R_i) la suma de la masa de cada fracción se llamará (M_i).

M_3 = masa de las partículas que pasan la barra de las ranuras del calibrador.

M_1 = masa total de las partículas utilizadas en el ensayo de índice de alargamiento.

7.9. Ensayo De Porcentaje De Partículas Fracturadas En Un Agregado Grueso



Imagen 9 Muestras Partículas Fracturadas

Fuente: El autor

Según la norma **INVIAS E-227-13** se tamiza el material según la INV E-213 se utiliza el material retenido en el tamiz #4, para un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ " la masa mínima es 500 gr.

P= porcentaje de partículas con el numero especificado de caras fracturadas.

F= masa o número de partículas fracturadas con al menos el número de caras fracturadas especificado.

N= masa o número de partículas de no fracturas que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.

7.10. Ensayo De Solidez De Los Agregados Frente A La Acción De Soluciones De Sulfato De Sodio O Magnesio



Imagen 10 Muestras Ensayo Solidez Con Sulfatos

Fuente: El autor

Según la norma **INVIAS E-220-13** se prepara una solución en sulfato de magnesio con una relación de 350 gr de sulfato por 1 litro de agua, la solución a emplear se deja disolverse a temperatura ambiente durante 48 horas; la muestra se deja en inmersión en un tiempo no mayor de 16-18 horas y se repite el procedimiento durante 5 ciclos.

7.11. Ensayo De Determinación Del Contenido De Vacíos En Agregados Finos No Compactados (Influenciado Por La Forma De Las Partículas, La Textura Superficial Y La Granulometría)



Imagen 11 Ejecución Ensayo Angularidad De La Fracción Fina

Fuente: El autor

Según la norma INV - E 239-13 el material se ensaya por el método de prueba A muestra gradada estándar; se pesan 190 gr de material que pase por el tamiz # 4, se mezcla cada muestra con una espátula hasta que quede una muestra homogénea, se retira el dedo y se deja llenar el cilindro sin alterar la muestra, se pesa el cilindro más muestra.

V= volumen del medidor del cilindro

F= masa neta del agregado fino dentro del cilindro

G= gravedad específica del agregado fino

U= porcentaje de vacíos sin compactar

7.12. Ensayo de determinación del valor del 10% de los finos



Imagen 12 Muestra Y Ejecución Ensayo 10% De Los Finos

Fuente: EL autor

Según la norma INV E-224 - 13 se coloca el cilindro y se va llenando por 3 capas; se deja caer una barra para un número de golpes total a 25 veces para cada capa con una altura de caída no mayor a 25, se inserta el pistón de manera que quede horizontal a la plancha de la máquina y se aplica la carga de manera que el pistón alcance una profundidad de 2 cms en un lapso de 10 min.

7.13. Ensayo De Determinación De La Resistencia Del Agregado Grueso A La Degradación Por Abrasión Utilizando El Aparato Micro-Deval



Imagen 13 Muestra Para Ensayo Micro- Deval

Fuente: El autor

Según la norma **INVIAS E-245 -13** se pesa una masa de 500 gr de material, se somete la muestra a inmersión en 0.75 litros de agua durante 20 min, se insertan 1250 gr de esferas de acero al recipiente micro deval se hace girar la maquina a 100 rpm durante 15 min o programar 1500 revoluciones, se retira las esferas con un tamiz de $\frac{1}{4}$ ", se pesa y se registra el peso.

7.14. Ensayo De Resistencia A La Degradación De Los Agregados De Tamaños Menores De 37.5 Mm (1 ½”) Por Medio De La Máquina De Los Ángeles



Imagen 14 Muestra El Ensayo De Maquina De Los Ángeles

Fuente: El autor

Según la norma **INVIAS E-218-13** este ensayo se trabaja con una granulometría tipo B se pesa 2500 gr de agregado de 3/8 y 2500 gr de agregado de ½” , se coloca en el tambor y se hace girar a una velocidad entre 188 y 208 rad/min 30-33 rpm hasta completar 500 revoluciones; la muestra se pasa por un tamiz No 12 para eliminar los finos se lava la muestra , se seca al horno y se registra el peso.

Finalmente, se realizó el respectivo análisis de resultados y la comparación con respecto a la norma INVIAS 2013 de los datos obtenidos mediante las pruebas de laboratorio.

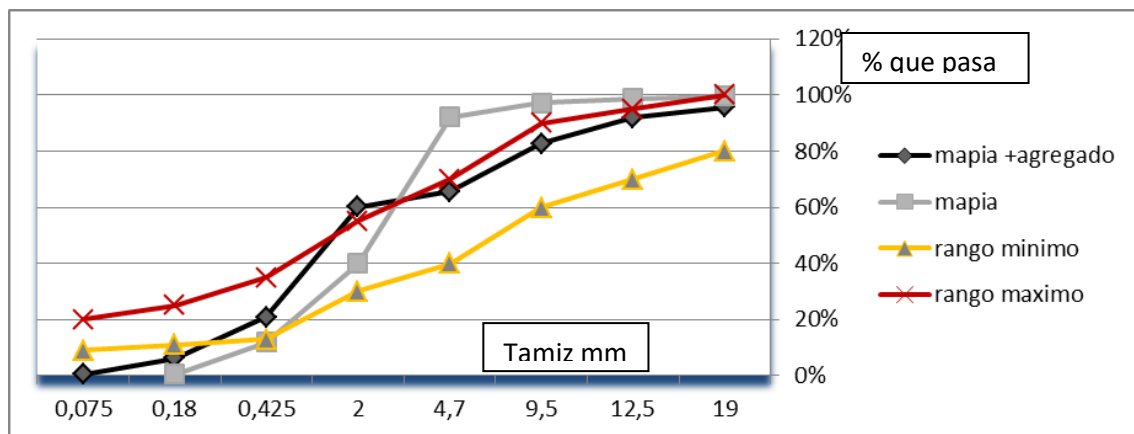
8. Análisis y Resultados

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos y su respectivo análisis.

8.1. Ensayo De Granulometría Grafica %PASA VS TAMIZ

Los resultados correspondientes a las granulometrías realizadas se muestran a continuación.

En la grafica 1 se muestran las franjas granulométricas correspondientes a la mapia y a la mapia pura + agregado asi con las franjas granulométricas estipuladas en las especificaciones técnicas de INVIAS numeral 311-2

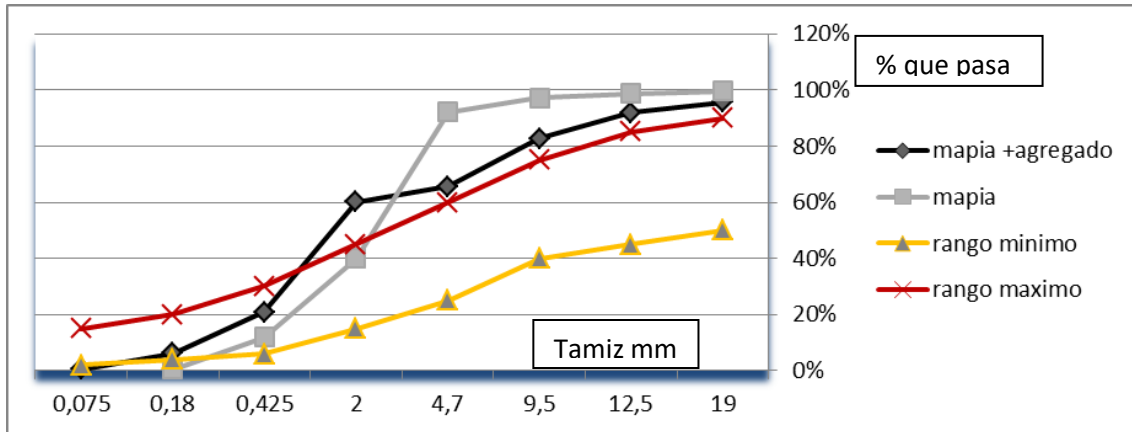


Gráficas 1 Muestra La Gradación Del Material Para Ser Utilizado Como Afirmado

Fuente: El autor

Analisis

Como se puede observar en la gráfica 1, tanto la muestra de Mapia pura como la muestra de mapia + agregado de 3/8, no cumplen con los requisitos de la norma INVIAS-13 para afirmado, este material presenta incumplimiento de la normatividad en lo referente al Porcentaje que pasa el tamiz No 10, pero se observa que el material compuesto por mapia + agregado de 3/8" se ajusta más a la franja granulométrica dad por INVIAS.

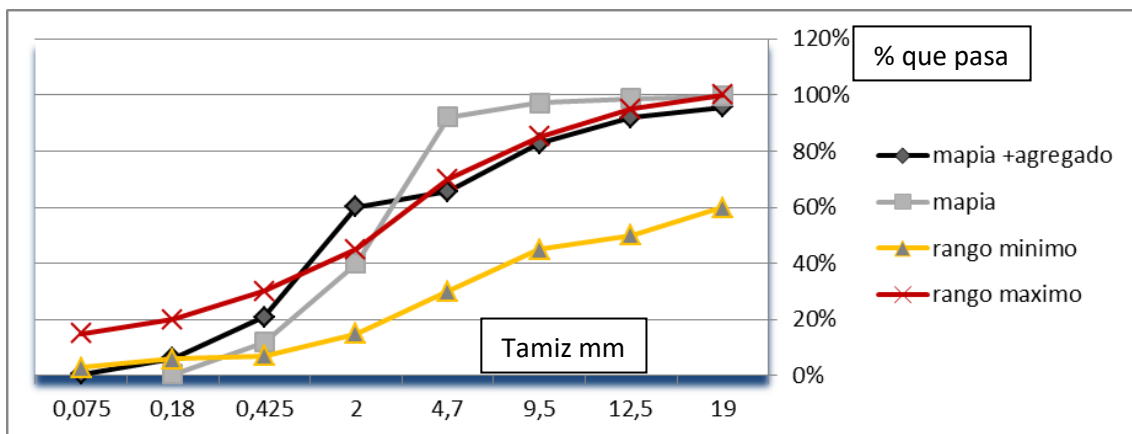


Gráficas 2 Muestra La Gradación Del Material Para Ser Utilizado Como Sub-Base Granular

Fuente: El autor

Análisis

Como se puede observar en la gráfica 2, tanto la muestra de Mapia pura como la muestra de mapia + agregado de 3/8, no cumplen con los requisitos de la norma INVIAS-13 para afirmado, este material presenta incumplimiento de la normatividad en lo referente al Porcentaje que pasa el tamiz No 10, pero se observa que el material compuesto por mapia + agregado de 3/8” se ajusta más a la franja granulométrica dad por INVIAS.



Gráficas 3 Muestra La Gradación Del Material Para Ser Utilizado Como Base Granular

Fuente: El autor

Análisis

Como se puede observar en la gráfica 3, tanto la muestra de Mapia pura como la muestra de mapia + agregado de 3/8, no cumplen con los requisitos de la norma INVIAS-13 para base granular, este material presenta incumplimiento de la normatividad en lo referente al Porcentaje que pasa el tamiz No 10 y muestra la misma tendencia presentada para subbase granular.

8.2. Ensayo Porcentaje De Asfalto

El peso inicial de la muestra fue: 1.164 gr

El peso final de la muestra fue: 1.035 gr

$\% \text{ de asfalto} = (\text{peso inicial} - \text{peso final}) / (\text{peso inicial})$

$\% \text{ de asfalto} = (1164 - 1035) / (1164)$

% de asfalto: 11.1%

De acuerdo a los resultados obtenidos se deduce que el material clasifica de acuerdo a COLOMBIANA DE ASFALTOS 2013 en un material TIPO 1B el cual contiene un porcentaje de asfalto entre 10% y 13%.

8.3. Ensayo De Determinación Del Límite Líquido, Limite Plástico E Índice De Plasticidad De Los Suelos

Tabla 1 *Datos Ensayo Limite Líquido, Limite Plástico E Índice De Plasticidad*

Muestras	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
Muestra 1	NL	NP	NI
Muestra 2	NL	NP	NI
Muestra 3	NL	NP	NI

Fuente: El autor

De acuerdo a los resultados obtenidos y registrados en la tabla 2, tanto la Mapia como el material Mapia + agregado de 3/8 no poseen plasticidad.

8.4. Determinación De Contenido De Terrones De Arcillas Y Partículas Deleznables En Los Agregados

Tabla 2 *Datos Ensayo Contenido De Terrones De Arcilla*

Peso Retenido	Peso (gr)	Tipo de material	Formula	P (%)
Tamiz #4	435 gr	Material Grueso	$P = \left(\frac{M-R}{M} \right) \times 100$	1,38%
Tamiz # 8	429.3 gr			
Tamiz # 16	44,7	Material Fino		3,13%
Tamiz # 20	43.3			

Fuente: El autor

Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables para material fino = 3.13%

Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables para material grueso = 1.38%

Según la norma INVIAS E-211-13 para afirmado, base y sub-base granular el requerimiento es un porcentaje de contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables de máximo 2% ,por lo que se puede deducir que el material no cumple

8.5. Ensayo Equivalente De Arena De Suelos Y Agregados Finos

Tabla 3 Datos Ensayo Equivalente De Arena

Materiales	Lectura De Arcilla	Lectura De Arena	Formula	EA (%)
Material 1	2,8	2,7	$EA = \left(\frac{L_{arena}}{L_{arcilla}} \right) \times 100$	96,42%
Material 2	2,7	2,6		96,30%

Fuente: El autor

$$EA = ((\text{lectura arena}) / (\text{lectura arcilla})) \times 100$$

$$EA = \text{material 1} = 96.42 = 97$$

$$EA = \text{material 2} = 96.3 = 97$$

Según la norma INVIAS E-133-13 para sub-base granulares el equivalente de arena debe ser mínimo 25% y para base granular mínimo 30%, por lo tanto, se puede deducir que el material analizado cumple con el requerimiento mínimo para cualquier nivel de tráfico.

8.6. Ensayo De Índice De Alargamiento Y Aplanamiento De Los Agregados Para Carreteras

Tabla 4 Datos Ensayo Índice De Alargamiento Y Aplanamiento

Datos	Peso Material Pasante Lamina Aplanamiento	Peso Material Pasante Lamina Alargamiento	Peso Material Total Muestra	IA (%)	IL (%)
Peso (Gr)	41,7	80,12	1776	2,35	4,5
FORMULA	$IA = \left(\frac{M3}{(M1 \text{ o } M2)} \right) \times 100$	$IL = \left(\frac{M3}{(M1 \text{ o } M2)} \right) \times 100$	N/A	N/A	N/A
			N/A	N/A	N/A

Fuente: El autor

$$\text{INDICE DE APLANAMIENTO} = 2.35\%$$

$$\text{INDICE DE ALARGAMIENTO} = 4.5\%$$

Según la norma INVIAS E-230-13 el % máximo de índice de alargamiento y aplanamiento es de 35% para base-granular se puede deducir que si cumple con el requerimiento mínimo para cualquier nivel de tráfico

8.7. Ensayo De Porcentaje De Partículas Fracturadas En Un Agregado Grueso

Tabla 5 Datos Ensayo Partículas Fracturadas

Dato	Masa De Partículas Fracturadas	Masa De Partículas No Fracturadas	Formula	P (%)
peso (gr)	362	128,2	$P = \left(\frac{F}{F+N}\right) \times 100$	73,8(%)

Fuente: El autor

P= 73.8 %

Según la norma INVIAS E-227-13 el mínimo porcentaje para una base granular clase C nivel de tránsito 1 es de 100% se puede deducir que este tipo de agregado cumple para una clase A y clase B nivel de tráfico 1 y 2 respectivamente.

8.8. Ensayo De Solides De Los Agregados Frente A La Acción De Soluciones De Sulfato De Sodio O Magnesio

Tabla 6 Datos Ensayo Solides En Soluciones De Sulfato

Tamaño Del Tamiz	Peso Material Antes Del Ensayo(Gr)	Peso Material Después Del Ensayo (Gr)	% Perdidas
Pasa Tamiz # 4	411	408	0,8
Pasa Tamiz 3/8" Retenido # 4	226,8	226	0,35
Pasa Tamiz 1/2" Retenido 3/8	116	116	0
Material Retenido 1/2"	109	108	0,9

Fuente: El autor

Según la norma INVIAS-13 el % de pérdidas máximo es 18 para una solución de sulfato de magnesio, se puede deducir que si cumple con lo estipulado en la norma y es apto para cualquier nivel de tráfico.

8.9. Ensayo De Determinación Del Contenido De Vacíos En Agregados Finos No Compactados (Influenciado Por La Forma De Las Partículas, La Textura Superficial Y La Granulometría)

Tabla 7 Datos Ensayo Contenido De Vacíos En Agregados Finos No Compactados

Muestras	Peso Material + cilindro(gr)	Peso Cilindro (gr)	Peso Material (gr)	Formula	U(%)
muestra #1	474	319	155	$U = \left(\frac{v - \left(\frac{F}{G} \right)}{V} \right) \times 100$	10,3
muestra #2	475	319	156		10,6

Fuente: El autor

PESO ESPECIFICO MAPIA = 1,7 TON/M3

U= 10.6%

Según la norma INVIAS-13 el % mínimo de angularidad de la fracción fina es de 35% para nivel de transito 3 y 2 se puede deducir que se puede utilizar para una base-granular con nivel de transito 1 o clase C.

8.10. Ensayo De Determinación Del Valor Del 10% De Los Finos

Tabla 8 Datos ensayo valor del 10% de los finos

Muestras	Carga Aplicada En (KN)	Material Pasante(Gr)	Formula	F (%)
Muestra # 1	373,95	316	$F = \left(\frac{14(f)}{m+4} \right) \times 100$	16,13
Muestra # 2	368,921	319		15,99

Fuente: El autor

Muestra 1= F = 16.36 = F = 17 KN

Muestra 2= F = 15.99 =F = 16 KN

Promedio de las dos fuerzas

F promediada= (17+16) / 2

F promediada = 16.5 KN valor del 10 % de los finos

Análisis

Según la norma INVIAS-13 la fuerza mínima del valor del 10% de los finos en KN es de 70 KN para nivel de tránsito 2 y 90 KN para nivel de tránsito 3; se puede deducir que se puede utilizar para una base granular con nivel de tráfico 1.

8.11. Ensayo de determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión utilizando el aparato micro-deval

Tabla 9 Datos Ensayo Degradación Por Abrasión Utilizando Micro-Deval

masa A (gr)	masa B (gr)	formula	%perdidas
1502	1374	$\%P = \left(\frac{m_A - m_B}{m_A}\right) \times 100$	8,52

Fuente: El autor

% PERDIDAS = 8.52 %

Según la norma INVIAS-13 para base granular y sub-base granular el % de pérdidas máximo es de 35% se puede deducir que se puede utilizar para cualquier tipo de nivel de tráfico

8.11. Ensayo De Resistencia A La Degradación De Los Agregados De Tamaños Menores De 37.5 Mm (1 ½”) Por Medio De La Máquina De Los Ángeles

Tabla 10 Datos Ensayo Degradación Por Medio De La Máquina De Los Ángeles

masa 1 (gr)	masa 2 (gr)	formula	%perdidas
		$\%P = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1}\right) \times 100$	
5000	4113		17,94

Fuente: El autor

% PERDIDAS = 17.94 %

Según la norma INVIAS-13 el porcentaje de perdidas máximo para un ensayo con 500 revoluciones es de 50% para afirmado y sub-base granular y de 40 % para base granular, se puede deducir que se puede utilizar para cualquier tipo de nivel de tráfico.

8.13. Cuadro Comparativo De Los Ensayos Realizados Y Las Especificaciones Según La Norma Invias 2013

Ensayos realizados	Nivel de tránsito T1 – T2 (NT1 – NT2)		
	Para afirmados	Para base granular	Para sub- base granular
Granulometría	No cumple	No cumple	No cumple
Limite liquido- limite plástico	No cumple	No cumple	No cumple
Contenido de terrones de arcilla	Cumple	Cumple	Cumple
Equivalente de arena	Cumple	Cumple	Cumple
Alargamiento y aplanamiento	Cumple	Cumple	Cumple
Caras fracturadas	Cumple	Cumple	Cumple
Solidez con sulfatos	Cumple	Cumple	Cumple
Angularidad de la fracción fina	Cumple	Cumple	Cumple
Valor del 10% de los finos	Cumple	Cumple	Cumple
Abrasión utilizando micro-deval	Cumple	Cumple	Cumple
Ensayo máquina de los angeles	Cumple	Cumple	Cumple

Tabla 11 Cuadro Comparativo De Los Ensayos Realizados Y Las Especificaciones Según La Norma Invias 2013

Fuente: *El autor*

9. Conclusiones

La gradación no cumple para ninguno de los dos tipos de mezcla puesto que ninguna entra entre las franjas granulométricos según el INVIAS, se recomienda para el cumplimiento de este requerimiento realizar un reajuste granulométrico al material conformado con MAPIA + AGREGADO DE 3/8.

Debido a que los ensayos de resistencia mecánica por el método del 10% de los finos, la angularidad de la fracción fina no cumple al igual que la granulometría y la plasticidad con respecto a los parámetros estipulados en la norma INVIAS INV-13 no se puede utilizar este tipo de material para ningún nivel de tráfico

El porcentaje de asfalto determinado en este proyecto para los materiales analizados fue del 11.11%, lo que resulta más bajo que los encontrados por Estupiñan, 2006, que fueron entre el 19,18 % y el 25,2 %, lo que resulta igualmente interesante para continuar analizando su uso ya que generalmente las asfaltitas históricamente trabajadas tienen entre el 5 % y el 9 % de asfalto.

Se confirmó que la asfaltita es un material netamente de granulometría fina, ya que los porcentajes de material por encima del tamiz de 3/8" son entre el 1.03 % y el 4,45 %, lo que obliga siempre a hacer el complemento con materiales gruesos.

10. Recomendaciones

Se recomienda en los futuros ensayos acoplarse a la norma INVIAS-13 con respecto a la cantidad de material a utilizar y el paso a paso para ejecutar cada ensayo de laboratorio puesto que puede variar de manera muy notable las especificaciones, la exactitud y plenitud de los resultados

Para futuros ensayos se recomienda seguir investigando y revisando más a fondo sobre las vías construidas con este material ya que a futuro puede ser una alternativa innovadora ya que tiene un porcentaje de asfalto muy bueno para proyectos de ingeniería y es económica con respecto a los costos de materia prima

Referencias Bibliográficas

- Acuña, W., & Molina, C. (2015). Evaluación de alternativas de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito [Trabajo de Grado]. Bogotá D.C: Universidad Católica De Colombia.
- Berry & Reid, (1993) Estabilización de vías y tratamiento superficial con MAPIA
- COLASFALTO. (2013). Mezcla asfáltica empacada, cartilla colombiana de asfaltos, Prefabricados con MAPIA para pavimentos articulados – Adoquines (Laboratorio Colombiana de asfaltos S.A.)
- Colombiana De Asfalto SA. (2018). Mapia Material Pétreo Impregnado de Asfalto. Obtenido de <http://www.colombianadeasfaltos.com/index.php/producto>
- Estupiñan, D. (2016). *Caracterizar y realizar el diseño con material de la región de San Luis, Tolima para el mejoramiento de la red secundaria y terciaria del departamento de Cundinamarca, utilizando como material litigante la MAPIA – ASFALTITA* [Trabajo de Grado]. Bogotá D.C: Universidad Militar Nueva Granada.
- Pérez, G., & González, W. (2016). *Comparación del comportamiento de la mezcla asfáltica natural (MAPIA) y la mezcla asfáltica convencional* [Tesis de Grado]. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Ruiz, Acero, Reyes, Ortiz, & Moreno, Anselmi, (2016). Evaluación del comportamiento mecánico del asfalto natural a partir de muestras a temperatura ambiente provenientes de Caquetá, Colombia, Caquetá- Colombia.
- Salamanca, E Santos, C. (2012). Caracterización de las asfaltitas de pesca-Boyacá cantera santa teresa Carlos Hernando Higuera Sandoval M.Sc. en Ingeniería de Vías Terrestres Escuela de Transporte y Vías Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.
- Santos, D, & Luna, R. (2012). *Asfaltos naturales: “La MAPIA” y “ASFALTITA”, alternativas de construcción en obras de infraestructura vial en el contrato ruta del SOL Tramo 1* [Monografía de Especialización]. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.