

ESTUDIO Y DESARROLLO DE UNA BASE TRATADA CON ASFALTO 60-70
(MGEA-A) COMBINADA CON ASFALTITA PROVENIENTE DE ARMERO-TOLIMA

Autor

NICOLAS GIANCARLO MONCAYO CORDOBA

Director

YEE WAN YUNG VARGAS

PhD. Ingeniería-Ingeniería Civil

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, diciembre 07 de 2020

Dedicatoria

La presente tesis la dedico a Dios quién me dio el valor y fortaleza para elegir esta meta.

A mis padres, por darme la educación, inculcarme valores e inspirarme a confiar en mí, brindándome su apoyo y comprensión absoluta para avanzar cada día.

A mi hermano, por siempre estar para mí y darme una mano cuando más lo he necesitado.

Y a mis amigos, a quienes les adeudo sus enseñanzas y amistad constante e incondicional.

Agradecimientos

A Dios principalmente, en quien depósito mi confianza, encomendando mi vida y profesión.

A mi universidad le agradezco grandemente, por brindarme mi formación personal y profesional, contando con maestros realmente valiosos y por quienes he logrado enriquecer mis conocimientos.

A mi guía y apoyo la PhD. Yee Wan Yung Vargas, por permitirme su espacio para orientar el proceso adecuado que me resultó la presente investigación.

A todas las personas que han hecho parte de esta formación académica y a quienes he logrado conocer en su transcurso, por cada momento compartido, gracias.

Abstract

The present research work is based on the study and development of a base treated with asphalt 60-70 (MGEA-A) combined with asphalt from Armero-Tolima, through which it is proposed to establish an alternative asphalt base that is also more friendly with the environment. Likewise, adding this mineral in the structure of a pavement seeks to improve its physical-mechanical properties to provide greater durability, resistance and quality to the routes at a low cost relative to the materials used on traditional pavements. It is important to note that this process is based on the IDU-422 standard, detailing the granulometric analysis and percentage of asphalt in the asphalt, to later characterize the combination of base aggregates as the asphalt mixture. It should be noted that being a natural material, this element does not have properties already established, where its ability to include within the road structure, will depend on its conformation.

El presente trabajo de investigación se fundamenta en el estudio y desarrollo de una base tratada con asfalto 60-70 (MGEA-A) combinada con asfaltita proveniente de Armero-Tolima, a través de la cual se propone establecer una alternativa de base asfáltica que además resulta más amigable con el medio ambiente. De igual forma adicionando este mineral en la estructura de un pavimento se busca mejorar sus propiedades físico-mecánicas para brindar mayor durabilidad, resistencia y calidad a las vías a un bajo costo con relación a los materiales que son utilizados en los pavimentos tradicionales. Es importante tener en cuenta que dicho proceso se basa en la normativa IDU-422, detallando análisis granulométrico y porcentaje de asfalto en la asfaltita, para posteriormente caracterizar la combinación de agregados de la base como la mezcla asfáltica. Cabe resaltar que al ser un material natural, este elemento no cuenta con propiedades ya establecidas, donde su capacidad de inclusión dentro de la estructura vial, dependerá de su conformación.

Tabla de contenido

6

Introducción	18
Planteamiento del problema	19
Problema	19
Hipótesis	20
Justificación	21
Objetivos	22
Objetivo General	22
Objetivos Especificos.....	22
Antecedentes	23
Marco Teórico	26
Asfaltos naturales	28
Formaciones de los asfaltos naturales	28
Clasificación de los depósitos de asfalto natural.....	29
Mezcla asfalto natural	30
Pavimentos viales.....	30
Marco referencial	32
Ubicación geográfica	33
Descripción Geológica.....	34
Fallas Geológicas	36

Marco conceptual	37	7
Marco legal	39	
Diseño de la mezcla IDU-422.3.1	42	
Susceptibilidad a la humedad IDU-422.6.2.5.2	42	
Metodología	43	
Actividades a realizar	44	
Variables de estudio	45	
Granulometría	45	
Porcentaje de asfalto	45	
Temperatura	46	
Diseño metodológico	47	
Caracterización de la asfaltita	47	
Diseño de la mezcla	48	
Caracterización de agregados del diseño	50	
Caracterización de la mezcla asfáltica	57	
Análisis y resultados.....	60	
Caracterización de la asfaltita	60	
Extracción	60	
Gradación y curva granulométrica de la asfaltita.....	62	

Diseño MGA-A con asfaltita	66	8
Dosificación Briquetas	67	
Pesaje del diseño MGA-A con asfaltita	68	
Ensayos realizados a los agregados.....	71	
Desgaste Los ángeles en seco, 500 revoluciones INV E-218-07;.....	71	
Micro Deval Agregado Grueso INV E-238-07	73	
Resultado micro de val.....	75	
Determinación del valor del 10% de finos norma INV E – 224 – 13	76	
Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio norma INV E – 220 – 13	77	
Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras norma INV E – 230 – 13	78	
Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso norma INV E – 227 – 13... ..	80	
Angularidad del Agregado Fino norma INV E-239-07	81	
Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad norma INV-E125 y 126-13	82	
Equivalente de arena de suelos y agregados finos norma INV E – 133 – 13	83	
Valor de azul de metileno en agregados finos norma INV E – 235 – 13.....	84	
Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso norma INV E – 223 – 13.....	85	

Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino norma INV E	9
- 222 - 13.....	86
Ensayos realizados a la base asfáltica	92
GMM diseño MGA-A.....	92
Ensayo Marshall.....	96
Prueba de tracción en seco (TSR)	102
TSR Prueba de tracción en húmedo (TSR)	103
Conclusiones	108
Anexos	109
Lista de referencias	119

Lista de tablas

10

Tabla 1 Normativa IDU-422 (INVIAS y ASTM), Laboratorio CTU.....	39
Tabla 2 Normativa IDU-422 (INVIAS y ASTM), Laboratorio CTU.....	40
Tabla 3. Requisitos de los agregados para capas de material granular estabilizado con cemento asfáltico. Recuperado de IDU-422.....	41
Tabla 4. Granulometrías admisibles para la construcción de capas de material granular estabilizado con cemento asfáltico. Recuperado de IDU-422.	42
Tabla 5. Ensayo 1, Contenido de asfalto. Elaboración propia.	60
Tabla 6. Ensayo 2, Contenido de asfalto. Elaboración propia.	60
Tabla 7. Ensayo 3, Contenido de asfalto. Elaboración propia.	61
Tabla 8, Ensayo 1, Gradación. Elaboración propia.	63
Tabla 9. Ensayo 2, Gradación. Elaboración propia.	64
Tabla 10. Ensayo 3, Gradación. Elaboración propia.	65
Tabla 11, Diseño mezcla MGA-A, INV-E-213.	66
Tabla 12. Determinación peso briqueta.	67
Tabla 13. Dosificación briquetas MGA-A.	68
Tabla 14, Desgaste de los ángeles.....	72
Tabla 15, Micro de val.	75

Tabla 16, 10% de finos.	76	11
Tabla 17, Solidez.	77	
Tabla 18, Índice de alargamiento.	78	
Tabla 19, Índice de aplanamiento.	78	
Tabla 20, Caras fracturadas una o más caras.	80	
Tabla 21, Caras fracturadas dos o más caras.	80	
Tabla 22, Angularidad en finos.	81	
Tabla 23, Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad	82	
Tabla 24, Equivalente de arena.	83	
Tabla 25, Azul de metileno.	84	
Tabla 26, GMM.	95	
Tabla 27, Cálculos diseño de mezcla bituminosa método Marshall 1.	98	
Tabla 28, Cálculos diseño de mezcla bituminosa método Marshall 2.	99	
Tabla 29, TSR.	105	
Tabla 30, TSR 2.	106	
Tabla 31, Características de la mezcla.	107	

Lista de Figuras

12

Figura 1. Fuente Loría Guillermo, Tipos de Pavimentos, Pavimentos	27
Figura 2. Minas de asfaltita en Colombia. Elaboración propia.....	32
Figura 3. Mapa geográfico Mina Asfaltita San Pedro. Referencia de google earth.	33
Figura 4. Mapa geologico Mina Asfaltita San Pedro. Referencia de Servicio Geológico Colombiano.....	34
Figura 5. Referencias Mapa Geológico San Pedro. Referencia de Servicio Geológico Colombiano.....	35
Figura 6. Mapa nivel de amenazas símicas. Referencia de NSR-10.	36
Figura 7. Extracción. Elaboración propia.	47
Figura 8. Tamices. Elaboración propia.	48
Figura 9. Cantera Fusca, Bogotá. Elaboración propia.	49
Figura 10. Arena Guayuriba. Elaboración propia.	49
Figura 11. Desgaste de los Angeles. Elaboración propia.....	50
Figura 12. Micro-deval. Elaboración propia.....	51
Figura 13. 10% de finos. Elaboración propia.	51
Figura 14. Solidez. Elaboración propia.....	52
Figura 15. Aplanamiento y alargamiento. Elaboración propia.	52

Figura 16. Caras fracturadas. Elaboración propia.....	53	13
Figura 17. Angularidad. Elaboración propia.....	53	
Figura 18. Casuela Casagrande. Elaboración propia.	53	
Figura 19. Equivalente de arena. Elaboración propia.	54	
Figura 20. Azul de metileno. Elaboración propia.....	54	
Figura 21. Pignometro. Elaboración propia.....	55	
Figura 22. Gravedad especifica de gruesos. Elaboración propia.	56	
Figura 23. Briquetas.....	57	
Figura 24. Bulk.	57	
Figura 25. Prensa Marshall. Elaboración propia.....	58	
Figura 26. Traccion indicerccta. Elaboración propia.....	59	
Figura 27. Tamices para gradación. Elaboración propia.	62	
Figura 28. Ensayo 1, Curva granulométrica. Elaboración propia.....	63	
Figura 29. Ensayo 2, Curva granulométrica. Elaboración propia.....	64	
Figura 30. Ensayo 3, Curva granulométrica. Elaboración propia.....	65	
Figura 31. Grafica granulométrico diseño MGA-A.....	67	
Figura 32 Diseño de mezcla asfáltica MGA-A.....	68	
Figura 33, triturado Guayuriba ½” equivalente al 10% de la muestra del diseño	69	

Figura 34, triturado fusca ¾” mixto equivalente al 10% de la muestra del diseño.	14
Figura 35, asfaltita clasificada equivalente al 20% de la muestra del diseño.	69
Figura 36, triturado fusca 1” equivalente al 25% de la muestra del diseño.	70
Figura 37, arena de Guayuriba triturada equivalente al 13% de la muestra del diseño.	70
Figura 38, arena de Fusca triturada equivalente al 22% de la muestra del diseño.	70
Figura 39, Muestra uno para desgaste de los ángeles.	71
Figura 40, introduccion muestra uno al maquina de los ángeles.	71
Figura 41, Muestra desgastada pasada por el tamiz N° 12.	72
Figura 42, Peso retenido tamiz N°12 despues del desgaste de los ángele	72
Figura 43, Juego de tamices micro de val, y separacion de tamaños de agregados.	73
Figura 44, Peso agregados para microdeval.	73
Figura 45, Peso agregados y masa uno total para microdeval.	73
Figura 46, Peso de esferas e introduccion de mezcla mas adición de agua.	74
Figura 47, rotacion de micro de val por dos horas y muestra dos mas esferas en horno.	74
Figura 48, Masa dos despues del ensayo micro de val.	74
Figura 49. Peso especifico en gruesos.	85
Figura 50. Material peso especifico gruesos.	85
Figura 51, Prueba cono con arena.	86

Figura 52, masa 1,2 y 3 para cada pignometro.	86	15
Figura 53, m2 pignometro 1 aforado.	87	
Figura 54, recipiente 1.	87	
Figura 55, m2 pignometro 2 aforado.	88	
Figura 56, recipiente 2.	88	
Figura 57, m2 pignometro 3 aforado.	89	
Figura 58, recipiente 3.	89	
Figura 59, m3 pignometro1.....	90	
Figura 60, m3 pignometro 2.....	90	
Figura 61, m3 pignometro 3.....	91	
Figura 62, pingnometro aforado solo con agua.	91	
Figura 63, Gmm muestra de asfaltita con 2.5% de asfalto añadido m2(asf real 3.5).	92	
Figura 64, Gmm muestra de asfaltita con 2.5% de asfalto añadido m1(asf real 3.5).	92	
Figura 65, Gmm muestra de asfaltita con 3.0% de asfalto añadido m1(asf real 4).	93	
Figura 66, Gmm muestra de asfaltita con 3.0% de asfalto añadido m2(asf real 4)	93	
Figura 67, Gmm muestra de asfaltita con 3.5% de asfalto añadido m1(asf real 4.5).	93	
Figura 68, Gmm muestra de asfaltita con 3.5% de asfalto añadido m2(asf real 4.5).	94	
Figura 69, Gmm muestra de asfaltita con 4.0% de asfalto añadido m1(asf real 5).	94	

Figura 70, Gmm muestra de asfaltita con 4.0% de asfalto añadido m2(asf real 5).	16
Figura 71, Briquetas diseño MGA-A con asfaltita.	96
Figura 72, Espesor promedio briquetas para bulk.	96
Figura 73, Inmersión de briquetas en agua a 60 °C.	97
Figura 74, Estabilidad y flujo briquetas con 3.5% de asfalto añadido (asf real 4.5).	97
Figura 75, Estabilidad y flujo briquetas con 3% de asfalto añadido (asf real 4).	97
Figura 76, Estabilidad y flujo briquetas con 2.5% de asfalto añadido (asf real 3.5).	98
Figura 77, Diseño de mezcla bituminosa método Marshall. (gráficas)	100
Figura 78, Fallo Briqueta N4 en Seco.....	102
Figura 79, Estabilidad briqueta N4 en seco.	102
Figura 80, Fisura briqueta N4 en seco.	102
Figura 81, Briqueta 1 después de ensayo.....	103
Figura 82, Briqueta 1 para TSR en húmedo.	103
Figura 83, Estabilidad briqueta 1.....	104
Figura 84. Daño por humedad visual.....	104
Figura 85, Muestras San Pedro Asfaltita Clasificada.	109
Figura 86, Código muestra Asfaltita.....	109
Figura 87, Cuarteo Asfaltita.....	110

Figura 88, Extracción Asfaltita.....	110	17
Figura 89, Extracción de asfalto, indicador suciedad gasolina.....	111	
Figura 90, Cocineta con Asfaltita.....	111	
Figura 91, Muestra Asfaltita Gradada.....	112	
Figura 92. Desgaste de los Angeles 2. Elaboración propia.....	112	
Figura 93. Micro-deval 2. Elaboración propia.....	113	
Figura 94. 10% de finos 2. Elaboración propia.....	113	
Figura 95. Equivalente de arena 2. Elaboración propia.....	114	
Figura 96. Azul de metileno 2. Elaboración propia.....	114	
Figura 97. Elaboracion de briquetas. Elaboración propia.....	115	
Figura 98. Briquetas. Elaboración propia.....	115	
Figura 99. Bulk. Elaboración propia.....	116	
Figura 100. Prensa para Marshall y TSR. Elaboración propia.....	116	
Figura 101. Gravedad especifica 2. Elaboración propia.....	117	
Figura 102. Ensayo TSR.....	117	
Figura 103. Ensayo GMM. Elaboración propia.....	118	
Figura 104. Ensayo Marshall. Elaboración propia.....	118	

Introducción

La infraestructura vial, es el medio de transporte convencional más utilizado a través del cual se otorga conectividad nacional a un país. En el caso de Colombia es de significativa importancia para su desarrollo, pues por este medio se proporciona una mayor movilidad de personas, bienes y servicios que atribuyen un papel importante en el progreso y crecimiento socioeconómico. Los pavimentos flexibles son los más utilizados en la construcción de obras viales, zonas de parqueo, aeropuertos, autopistas, entre otros. Esto se debe a que su composición proporciona manejabilidad, costos económicos, fácil construcción o mantenimiento, además de ser un material reutilizable para futuras pavimentaciones, reduciendo así el impacto ambiental por contaminación de escombros. Su principal componente es el asfalto que es obtenido artificialmente por la destilación del petróleo, sin embargo, la búsqueda de reservas de hidrocarburos para su producción ha traído consigo impactos ambientales considerables, pues la continua explotación de este material causa deforestación, pérdida de la biodiversidad, afectación al suelo, alteración de flujos de agua y por supuesto, contaminación.

El responsable de este proyecto haciendo uso de las instalaciones la Compañía de trabajos Urbanos – CTU S.A.S, su laboratorio, sus instrumentos, equipos y hojas de cálculo, se ha propuesto realizar una investigación respecto a la viabilidad del uso de la asfaltita proveniente de la mina San Pedro ubicada en Tolima, utilizándola como material complementario en la producción de una base tratada con asfalto 60-70 (MGEA-A) teniendo en cuenta la normativa IDU-422, para efectuar futuras pavimentaciones de carreteras, específicamente vías secundarias y terciarias promoviendo así el uso de materias primas naturales en pro del medio ambiente, además de reducir los costos en el mantenimiento y mejoramiento de las vías, generando innovación y desarrollo como una nueva alternativa para la infraestructura vial en Colombia.

Planteamiento del problema

El sector de la construcción de infraestructura vial en Colombia ha sido descuidado por parte de los entes gubernamentales, esto se evidencia por la falta de inversión e investigación en esta área. Frente a esto la presente investigación se realiza con el fin de acentuar la importancia que tiene el uso de asfaltos naturales como una alternativa más favorable para el cuidado del medio ambiente, además de reducir los costos de manteniendo y mejoramiento de tales vías, de manera que sea igualmente accesible para zonas más vulnerables debido a su economía, beneficiando así tanto a vías terciarias como secundarias. Se busca realizar un diseño de una base asfáltica con asfaltita para posteriormente realizar los ensayos que establecen las normas INVIAS e IDU-422 para comprobar si se logra cumplir con los parámetros que exigen las normas ya mencionadas.

Problema

¿Qué diseño deberá emplearse para la fabricación de una base tratada con asfalto tipo CA 60-70 (MGEA-A, Norma IDU-422) combinada con asfaltita que proviene de Armero-Tolima?

Hipótesis

La producción de una base tratada con asfalto 60-70 (MGEA-A) combinada con asfaltita proveniente de Armero-Tolima logrará disminuir significativamente el impacto ambiental relacionado con la explotación de hidrocarburos, esto debido a que la asfaltita proporcionará un porcentaje de asfalto considerable que mitiga la adición del mismo, además reducirá el costo de producción debido a que el asfalto natural es un material económico poco utilizado en obras de infraestructura vial, principalmente para vías terciarias y secundarias.

Justificación

El proyecto de investigación, estudio y desarrollo de una base tratada con asfalto 60-70 (MGEA-A) combinada con asfaltita proveniente de Armero -Tolima, tiene como propósito generar una MGA-A (mezcla de material granular estabilizado con asfalto) implementando la idea de generar una combinación 20% de asfaltita con un 80% de material granular escogido adecuadamente reduciendo los costos de mantenimiento y mejoramiento de vías de bajos niveles de tránsito, para así posteriormente realizar los respectivo ensayos de laboratorio, para los cuales se hará uso de los laboratorios que se encuentran en las instalaciones de la Compañía de trabajos Urbanos CTU S.A.S entregando así, una mezcla de calidad y que cumpla con las especificaciones de las Normas IDU e INVIAS además de seguridad para la planta y calidad del material.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la fórmula de trabajo para la fabricación de una base tratada con asfalto 60-70 (MGEA-A), con el uso de asfaltita proveniente de Armero-Tolima.

Objetivos Especificos

- Realizar la caracterización granulométrica (INVE-782-13) y porcentaje de asfalto (INVE – 732- 13) de la asfaltita proveniente de Armero-Tolima.
- Elaborar el diseño de la mezcla para una base granular estabilizada con asfalto tipo MGA-A, con la adición de asfaltita.
- Caracterizar los agregados pétreos que componen la base granular estabilizada con asfalto tipo MGA-A combinada con asfalto natural dentro de los parámetros IDU-422.
- Efectuar la caracterización de la mezcla de la base granular estabilizada con asfalto tipo MGA-A combinada con asfalto natural dentro de los parámetros IDU-422, Sección: 422-11.

Antecedentes

La experiencia generalizada en pavimentos ha apuntado al uso de cemento asfáltico manufacturado, dejando a un lado el uso de las minas de asfalto natural por parte del gremio de la infraestructura vial, pues en particular no se ha investigado a fondo los beneficios que estas puede aportar al ser implementada en la elaboración de mezclas asfálticas.

En el subsuelo existen depósitos de crudo de petróleo, cuando ocurren fallas geológicas la presión de estos depósitos hace que este mineral fluya a través de estas grietas generando láminas de estos depósitos que pueden verse en la superficie a simple vista, dando lugar a las minas de asfaltita; la cantidad y naturaleza de este material que se observa naturalmente depende de un número de procesos naturales, los cuales pueden modificar las propiedades del material. Este producto puede ser considerado un "asfalto natural", a menudo siendo acompañado por materia mineral. (E-asphalt, 2001)

Por más de 5.000 años el asfalto en cada una de sus formas ha sido usado como un impermeabilizante y/o agente ligante. Los Sumerios, 3.800 AC, usaron asfalto y se recuerda este como el primer uso de este producto. En Mohenjo Daro, en el valle Indus, existen tanques de agua particularmente bien preservados los cuales datan del 3.800 AC. En las paredes de este tanque, no solamente los bloques de piedra fueron pegados con un asfalto "natural" sino que también el centro de las paredes tenía "nervios" de asfalto natural. Así fue como se comenzaron a utilizar productos naturales que se obtenían del suelo, dando la llegada al carbón, alquitrán y luego el asfalto manufacturado a partir del crudo de petróleo. Durante el siglo XIX el uso del asfalto estaba limitado por su escasa

disponibilidad, no obstante, a mediados del mismo año, la roca asfáltica participaba en la pavimentación de calles en Europa y después de 1.870, en USA.

El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a principios del siglo XIX debido a dos acontecimientos casi simultáneos: la aparición del automotor con rodado neumático - que sustituyó a la llanta maciza de caucho ideada en 1.869- y la explotación masiva del petróleo cuya industrialización lo convirtió en productor principal de asfaltos. (E-asphalt, 2001)

Según Rondón y Fredey, (2009) en general, las mezclas asfálticas modificadas con asfaltita tienden a poseer un comportamiento rígido. A bajas temperaturas de servicio estas mezclas pueden tener un comportamiento frágil, llevando a pensar que tendrían un mejor desempeño en climas cálidos. Lo anterior permite prever que la asfaltita como modificador de asfaltos puede ser un material que permita mejorar las características de rigidez y resistencia a las deformaciones permanentes de mezclas que sean utilizadas en climas cálidos.

En ese orden de ideas, la asfaltita se constituye como un material natural, factible de utilizar para la estabilización de materiales granulares (sub-base granular y base granular), proporcionando beneficios tanto ambientales como económicos. Este material se encuentra en diferentes zonas del país, entre las cuales se encuentra un municipio colombiano llamado Armero ubicado en el departamento de Tolima cuya cabecera municipal es Guayabal donde se evidencia que la asfaltita de este municipio es un material potencialmente útil para la implementación de proyectos de mejoramiento de la red terciaria del departamento de Cundinamarca y a nivel nacional, puesto que ofrece un

desempeño muy favorable logrando llegar a comportarse dentro de los rangos de una MDC-19. Es importante revisar el caso puntual de la utilización de la asphaltita como base y subbase granular de apoyo de una carpeta de rodadura, ya que al lograr los estándares como una MDC-19, debe ofrecer un comportamiento muy bueno funcionando como soporte. (Niño Diego, 2016)

Marco Teórico

La necesidad del desplazamiento vehicular dentro de una ciudad en constante desarrollo, se vuelve primordial para el avance de diferentes áreas como la económica y social, puesto que la infraestructura del transporte terrestre permite actividades laborales, obtención de insumos y bienes prioritarios para la población. Respecto a ello, en el territorio colombiano tras su constante expansión, se hace indudable la oportunidad de investigación en cuanto al material vial y sus distintas variables, considerando también las fortalezas y debilidades que presenta cada zona a intervenir.

Frente a esto el ministerio nacional de transporte (Mintransporte) ente responsable de la pavimentación vial del país, debió considerar más de las necesidades observadas en cada zona, priorizando la situación medioambiental y financiera. Si bien Mintransporte actualmente entrega una cifra de 162000 km de red vial total dentro de Colombia, son 60000 km los cuales corresponden a la red vial terciaria, donde se encontró diferentes variables que generaban dificultades en el desarrollo y sustento de nuevas vías, por lo cual el instituto nacional de vías (INVIAS) otorgo financiamiento para 26000 km, puesto que las principalmente problemáticas encontradas guardaban estrecha relación con la cantidad de recursos dentro de los entes municipales (Pérez, 2005).

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Básicamente existen dos tipos de pavimentos, rígidos y flexibles, sin embargo, se considera más conveniente el pavimento flexible que el rígido, debido a que el pavimento

flexible resulta más económico en su construcción inicial aumentando las posibilidades de trabajo en zonas que presenten dificultades económicas, así mismos tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica o de rodadura, de una base, de una sub-base y una subrasante (Maldonado, 2012).

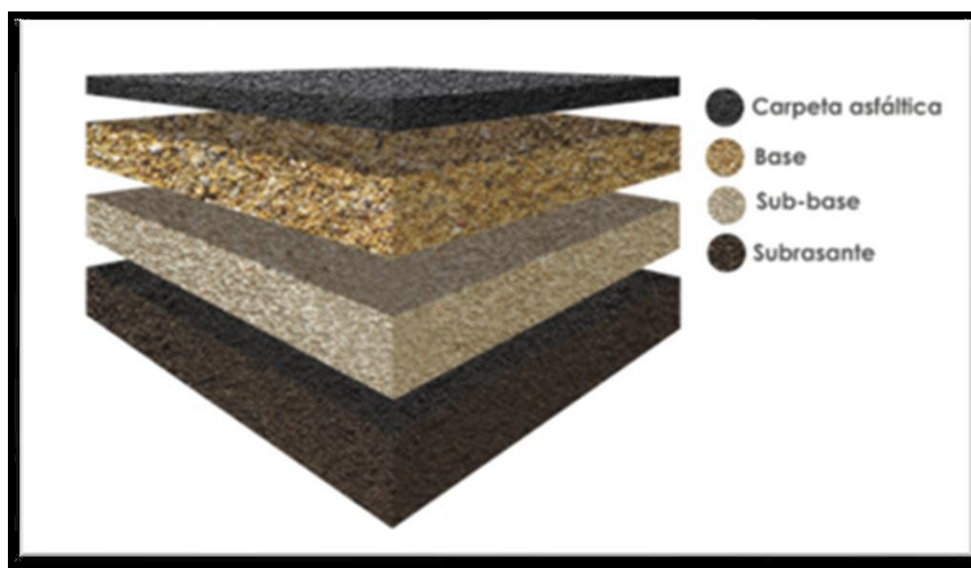


Figura 1. Fuente Loría Guillermo, Tipos de Pavimentos, Pavimentos

En Colombia la infraestructura vial ha presentado múltiples cambios, puesto que en el transcurso de su desarrollo se han incluido variables más complejas a tener en cuenta, como lo son el medio ambiente y la economía de las zonas, factores que antiguamente no se consideraban en el diseño de carreteras. Visto esto empresas privadas como también entes municipales, han optado por nuevos materiales para cubrir dichas novedades, surgiendo así la utilización de asfalto natural como materia prima en la elaboración de mezclas asfálticas.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende diseñar una mezcla en caliente tipo (MGA-A), base estabilizada con asfalto, con agregado de tamaño máximo 25,4 mm y especificación INVIAS e IDU, que se usa generalmente para construir capas de base en vías con tráfico medio y alto; es por ello que es necesario tener noción de los conceptos a utilizar dentro de la investigación, entre los cuales podemos encontrar:

Asfaltos naturales

Son formaciones minerales que afloran a la superficie en forma líquida o sólida. Los asfaltos naturales proceden de la familia de los hidrocarburos del tipo del petróleo y se han formado en la naturaleza por un fenómeno de migración de determinados petróleos naturales hacia la superficie terrestre a través de fisuras y rocas porosas, seguido o combinado con una volatilización de sus componentes más ligeros y la consiguiente concentración de los compuestos asfálticos ya existentes en el mismo, que de otra forma se encuentran normalmente mezclados con mayor o menor proporción de materia mineral, denominados comúnmente agregado (Alarcón, 2014).

Formaciones de los asfaltos naturales

La aparición de los asfaltos sobre la superficie puede presentarse en forma de flujos superficiales, en rocas impregnadas o venas llenas de asfalto. Las formaciones de flujos superficiales se clasifican de la siguiente manera:

Manantiales. Solo se encuentra el petróleo y los asfaltos líquidos los cuales llegan a la superficie a través de una fisura o falla.

Lagos. Son manantiales de gran tamaño; ejemplo de este tipo son los lagos de asfalto de Trinidad y Tobago.

Filtraciones. Se presenta cuando las rocas impregnadas de asfalto están de soporte o en la base de una montaña o peñasco. El peso de tales formaciones o el aumento de temperatura provocada por las radiaciones solares, genera una cierta cantidad de asfalto que fluye al exterior de la roca. Venas llenas de asfalto. Los asfaltos duros se encuentran normalmente llenando fisuras en direcciones que dependen del tipo de falla (Alarcón, 2014).

Clasificación de los depósitos de asfalto natural

De acuerdo con el contenido de asfalto o porcentaje de asfalto, los depósitos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Depósito con alto contenido de asfalto. A este grupo pertenecen las asfaltitas, en las cuales su contenido de asfalto es mayor del 80 %. Aparecen en forma de vetas.

Depósitos con contenido medio de asfalto. Son los depósitos naturales más conocidos en el mundo y contiene asfalto en una proporción del 25 - 80 % asociado con material mineral, arcillas coloidales, arenas y materia orgánica. Se presenta en forma de flujos superficiales

Depósitos con bajo contenido de asfalto. Se presenta como rocas impregnadas de asfalto con proporciones entre el 5 – 15 %. Generalmente, el material mineral está conformado por calizas o areniscas (Alarcón, 2014).

Mezcla asfalto natural

Es un es un material compuesto por un esqueleto mineral y asfalto natural. Estas mezclas pueden usarse para capas de afirmado, sub-base y base en todo tipo de pavimentos y en capas de rodadura, previo análisis granulométrico y la correcta dosificación y adición de un ligante que puede ser emulsión asfáltica o un crudo pesado (Alarcón, 2014).

La asfaltita o asfalto natural se caracteriza por tener propiedades similares a las del petróleo, esta se puede utilizar para distintas aplicaciones, entre estas tenemos:

Pavimentos viales

La incorporación de la asfaltita al ligante asfáltico convencional, del tipo comúnmente empleado en mezclas asfálticas en caliente para pavimentación de calles y rutas, produce importantes mejoras de sus propiedades como; aumento de la viscosidad del ligante modificado a altas temperaturas, sin que se vean afectadas sus propiedades a bajas temperaturas, también provee ventajas como:

- Disminuye el ahuellamiento.
- Aumento de la estabilidad Marshall: del orden del 40% en las mezclas asfálticas.
- Aumento de la resistencia al agua de las mezclas.
- Aumento del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla, siendo más resistentes a las deformaciones permanentes bajo el accionar de cargas lentas (E-asfalto, 2010).

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó la normativa del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). La cual está basada es su homónima norteamericana, principalmente la elaborada por la ASTM, también se tendrán en consideración los parámetros estipulados en la norma IDU- 422, la cual hacer referencia a las capas de material granular estabilizado en caliente con cemento asfáltico.

Marco referencial

En el país se conocen cinco yacimientos de asfaltita. En la siguiente Figura 2. Minas de asfaltita en Colombia. Elaboración propia. ,se presenta la ubicación de cada uno de estos.

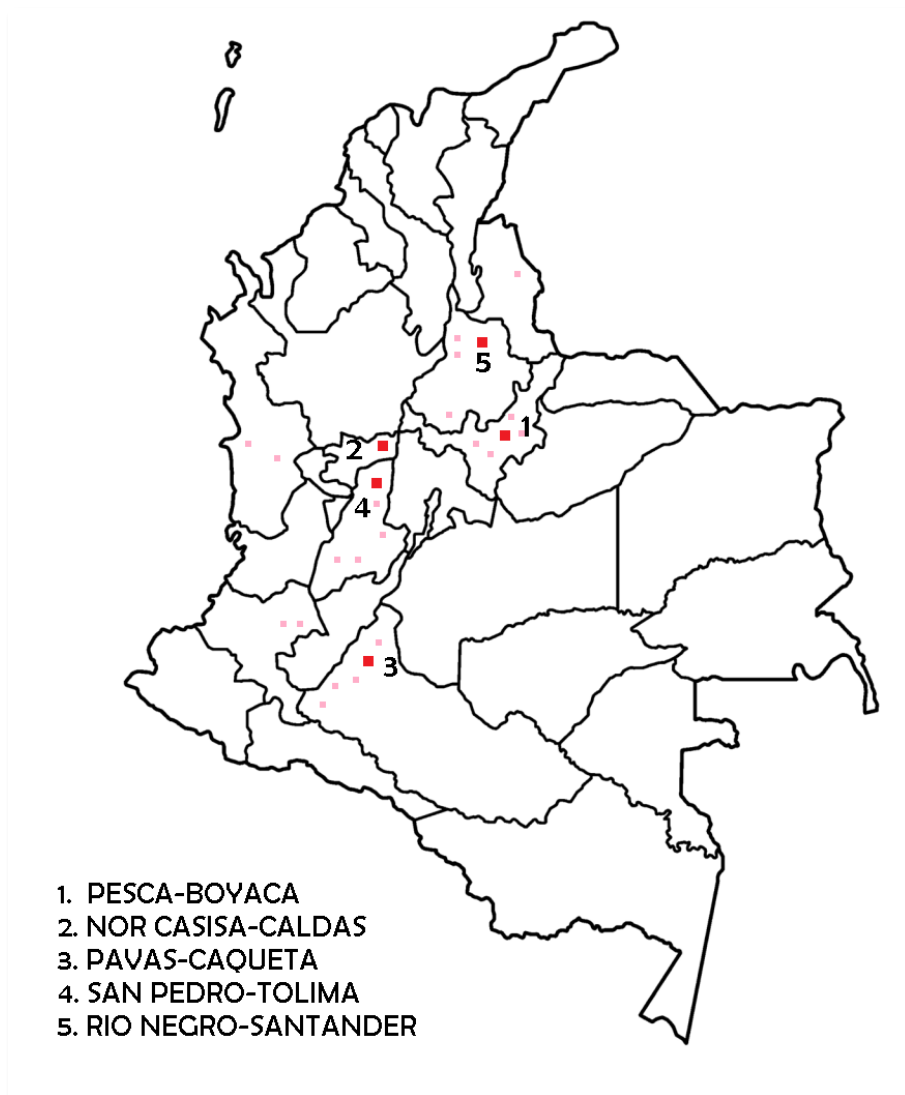


Figura 2. Minas de asfaltita en Colombia. Elaboración propia.

Ubicación geográfica

La vereda San Pedro se encuentra localizada a 31 km y a dos horas distante a la cabecera municipal de Rovira, cuenta con 53 viviendas (de las cuales 19 localizadas a lado y lado de la vía forman un pequeño caserío a orillas del río Cucuana) y 209 habitantes, con una temperatura de 25°C aproximadamente, igualmente posee 23 predios o parcelas productivas.

San Pedro (Lugar poblado)

Departamento: Tolima Municipio: Armero

Latitud: 4.93333 Longitud: -74.8833

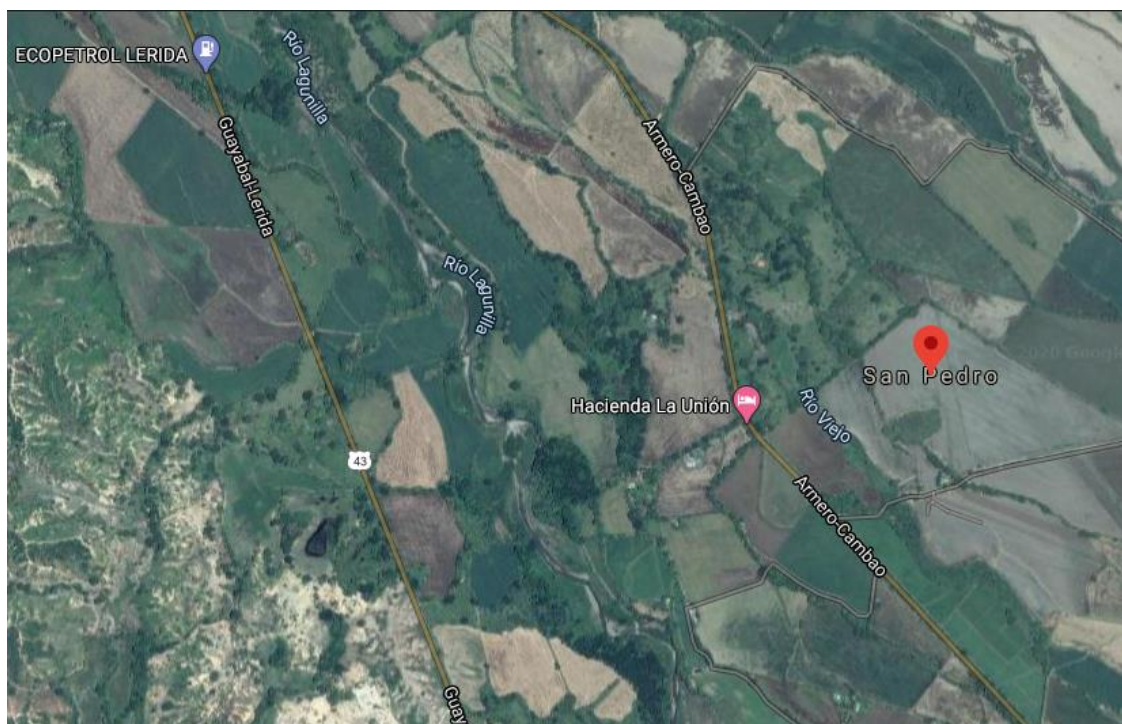


Figura 3. Mapa geográfico Mina Asfaltita San Pedro. Referencia de google earth.

Descripción Geológica

La Mina de San Pedro ubicada a 4 kilómetros al norte del antiguo Armero, contiene en su geología 100 hectáreas de gravas areno-limosas. Debajo de este estrato, se encuentra la misma composición granulométrica pero impregnada de un crudo de petróleo con capacidad ligante, lo que ha permitido desarrollar el uso de la asphaltita de San Pedro en capas de afirmado y subbases que presentan permanencia de las capas y capacidad de soporte. La asphaltita presenta buena adherencia con los ligantes bituminosos y en particular con la emulsión asfáltica y el crudo de Castilla, razón por la cual se ha comenzado la aplicación de este recurso natural como material para subbases, bases y carpetas asfálticas después de seleccionarse y complementarse la gradación y la cantidad de ligante asfáltico residual. Actualmente la asphaltita es un recurso técnicamente explotado, cuyo sistema tiende a mejorarse. (Asfaltitas para asfaltos, 2001)

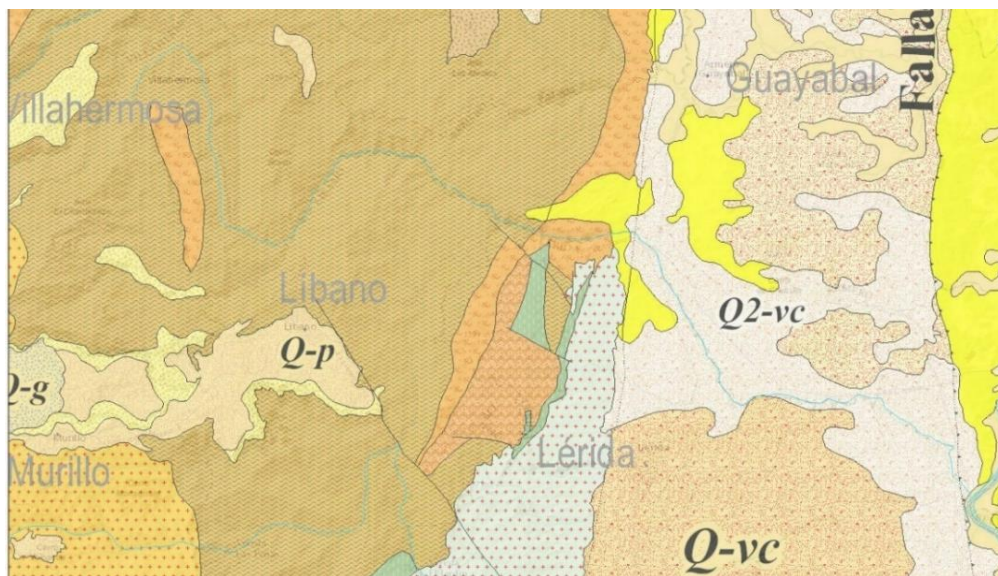
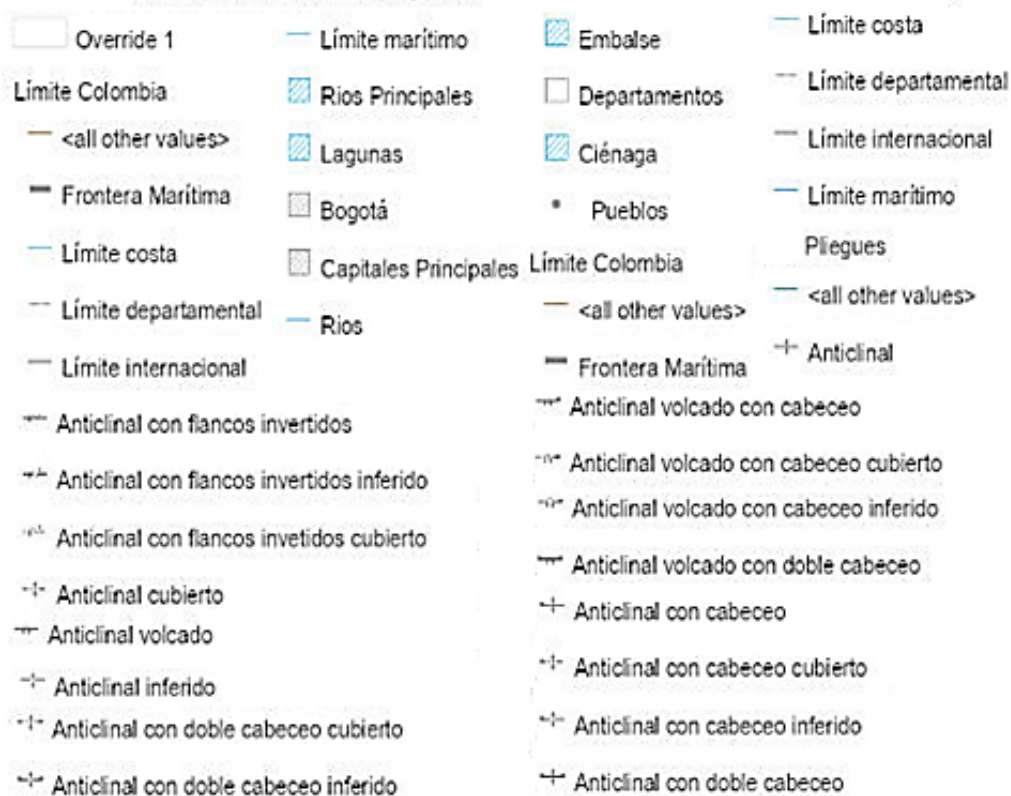
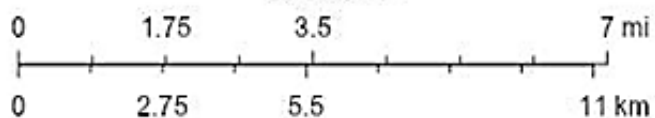


Figura 4. Mapa geológico Mina Asphaltita San Pedro. Referencia de Servicio Geológico Colombiano.

25/8/2020 1:43:52 p. m.



1:144,448



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community, Servicio

Servicio Geológico Colombiano
Servicio Geológico Colombiano

Figura 5. Referencias Mapa Geológico San Pedro. Referencia de Servicio Geológico Colombiano.

Fallas Geológicas

Como consecuencia de la influencia que ejercen las diferentes placas tectónicas vecinas sobre el territorio del país (placa del Caribe, placa de Nazca, Placa Suramericana), en Colombia se presenta una serie de FALLAS GEOLOGICAS de su corteza terrestre que generan zonas con diferente vulnerabilidad sísmica; es decir zonas en las cuales la reacción de la corteza terrestre ante un sismo se presenta con mayor o menor intensidad; a estas se les denomina ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA y se les clasifica como Zonas de Alta, Media y Baja amenaza sísmica. (Constructor blogs, 2012)

En la Figura 6. Mapa nivel de amenazas sísmicas. Referencia de NSR-10. se observa que el nivel de amenazas sísmicas presentado en San pedro Tolima es alto.

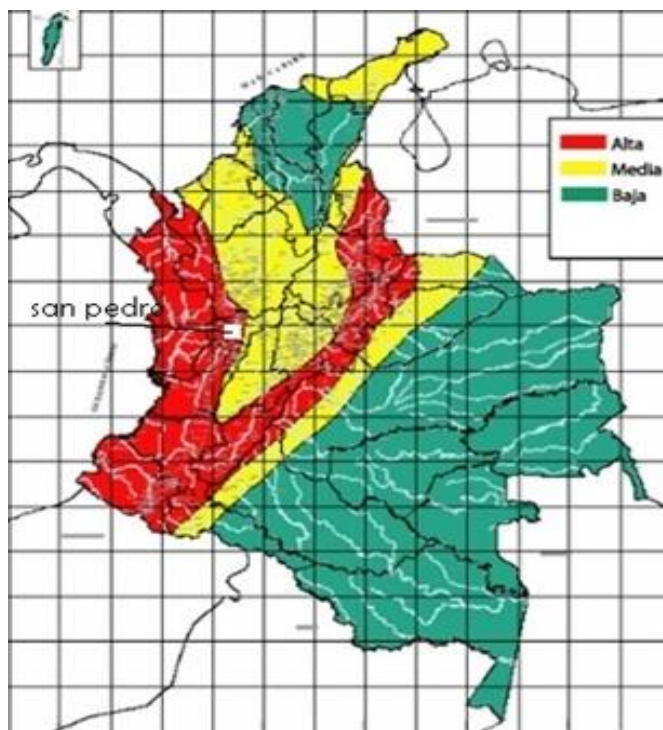


Figura 6. Mapa nivel de amenazas sísmicas. Referencia de NSR-10.

Marco conceptual

La ingeniería civil siempre ha generado impactos ambientales independientemente de que se evite afectar los ecosistemas, sin embargo, esto no quiere decir que se deba descuidar el medio ambiente, al contrario, se debe reducir al mínimo la afectación de este, por eso es importante tener claridad de los beneficios que brinda utilizar materiales asfálticos no convencionales en la infraestructura de obras viales.

Las refinerías de petróleo son instalaciones que manufactura productos derivados de un combustible fósil (petróleo crudo), de él se extraen gasolinas, gas, plástico, asfalto, y otros productos residuales por destilación simple, sin embargo, esta práctica genera desechos que no solo impactan la capa superficial del suelo, también corren el riesgo de ser movilizados hasta aguas subterráneas generando así su contaminación, también existe un peligro latente de contaminación del aire por las emisiones peligrosas de estas refinerías petroleras. (Salvador, 2015)

En consecuencia, de la alta contaminación generada por la explotación del petróleo las mezclas asfálticas naturales son hoy alternativas más amigables con el medio ambiente, pues estas son una materia latente en la naturaleza y su extracción no genera una contaminación tan exhaustiva como la explotación del petróleo, por ende, es importante definir el concepto de esta. La asfaltita es un hidrocarburo sólido derivado del petróleo, su color es negro brillante hasta negro mate. Es un producto mineral, liviano, quebradizo, con escasas impurezas y alto poder calórico, de aspecto resinoso y fractura conoidal en formas frescas, dotadas de un punto de fusión elevado, superior a 110° C. Químicamente

están constituidas por hidrocarburos muy pobres en oxígeno y parafinas cristalizables, siendo compuestos de alto peso molecular (Segovia, 2012)

Los Pavimentos flexibles se caracterizan por estar conformados principalmente de una capa bituminosa, que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y súbbase; sin embargo, es posible prescindir de estas capas dependiendo de la calidad de la subrasante y de las necesidades de cada obra. Cada capa recibe las cargas transmitidas por el tránsito, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior. Por lo tanto, la capa de más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. Con el fin de aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto, la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga de material (y la más costosa) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en la parte inferior. (EcuRed, 2020)

El propósito de esta investigación es la elaboración de una base estabilizada con asfalto combinada con asfaltita (MGEA), una Base Estabilizada con Asfalto (BTA) es un material granular estabilizado con cemento asfáltico de especificación IDU. La BTA o MGEA se usa para construir capas de base cuando los suelos y materiales granulares disponibles no tienen la capacidad portante requerida. Muy utilizado sobre los suelos de Bogotá y sus alrededores. (Compañía de trabajos urbanos, 2004)

Marco legal

Para el desarrollo de cada uno de los laboratorios se hará uso de la Normatividad del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). La cual esta generalmente basada en su homónima norteamericana, principalmente la elaborada por la ASTM, también se tendrán en cuenta los parámetros estipulados en la norma IDU-422 capas de material granular estabilizado en caliente con cemento asfáltico.

Tabla 1 Normativa IDU-422 (INVIAS y ASTM), Laboratorio CTU.

	ENSAYO	NORMA	
GRADACIÓN COMBINADA PARA CADA TIPO DE MEZCLA	Indice de plasticidad	INV E-126-13	
	Particulas fracturadas mecanicamente 1 cara	INV E-227-13	
	Particulas fracturadas mecanicamente 2 caras	INV E-227-13	
	Angularidad del Agregado Fino	AASHTO-T304	
	Equivalente de arena	INV E-133-13	
	Indices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados	INV E-230-07-13	
	Impurezas en agregado grueso	INV E-237-13	
	Proporcion de particuas planas, alargadas en agregados gruesos	INV E-240-07-13	
	Azul de metileno	INV E-235-13	
	Microdeval	INV E-238-13	
	10% de finos en seco	INV E-224-13	
	10% de finos Relación humedo/seco	INV E-224-13	
	Solidez en sulfato de magnesio	INV E-220-2013	
	Desgaste en maquina de los Ángeles 500/100	INV E-218-13	
	Peso específico y absorción	INV E-222-13	
	Coefiente de pulimento acelerado	INV E-232-2013	
	Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia de agua hirviendo	INV E -757-13	
	EMULSION ASFALTICA		
		Contenido de asfalto residual %	INV E-762

Tabla 2 Normativa IDU-422 (INVIAS y ASTM), Laboratorio CTU.

	ENSAYO	NORMA
MEZCLA ASFALTICA	ASFALTO ORIGINAL	
	Penetración	INV E-706-13
	Punto de Ablandamiento	INV E-712-13
	Viscosidad a 60 °C, P	INV E-716 ó 717
	Viscosidad a 135 °C, Pa-s	ASTM D-4402 (IDU)
	Curva de viscosidad	-
	Contenido de asfalto	INV E-732-13
	Granulometría de agregados mezcla	INV E 213-13
	Estabilidad mezcla	INV E -748-13
	Densidad de las briquetas	
	Flujo mezcla	
	Vacios con aire	INV E-736-13 Manual MS-2
	Relación Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	-
	RICE (GMM)	
	Traccion indirecta	INV E- 725-13
	Riedel Weber	INV E- 774
	Empaquetamiento Bailey	
	Concentracion del llenante, valor maximo	INV E- 745
	Espesor promedio de pelicula de asfalto minimo	INV E- 741
	Efecto del agua sobre mezclas asfálticas sueltas (método rápido de campo)	INV E- 757
Determinación del grado de cubrimiento de las partículas de agregado en mezclas bituminosas	INV E- 739	

Tabla 3. Requisitos de los agregados para capas de material granular estabilizado con cemento asfáltico.
Recuperado de IDU-422.

Ensayo		Norma de Ensayo	Clase de Material Granular para estabilizar con cemento asfáltico		
			MGEA_C	MGEA_B	MGEA_A
Petrografía					
Análisis petrográfico		ASTM C-295	Nota (1)		
Dureza					
Desgaste Los Ángeles	En seco, 500 revoluciones, % máximo	INV E-218-07	40	40	35
Micro Deval, % máximo	Agregado Grueso	INV E-238-07	30	25	20
10% de finos	Valor en seco, kN mínimo	INV E-224-07	60	75	100
	Relación húmedo/seco, % mínimo		75	75	75
Durabilidad					
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo	Sulfato de Magnesio	INV E-220-07	18	18	18
Limpieza					
Límite Líquido, % máximo		INV E-125-07	25	25	25
Índice de Plasticidad, % máximo		INV E-126-07	3	No Plástico	No Plástico
Equivalente de Arena, % mínimo (Nota 2)		INV E-133-07	20	20	20
Valor de Azul de Metileno, máximo		INV E-235-07	10	10	10
Terrones de arcilla y partículas deleznable, % máximo		INV E-211-07	2	2	2
Geometría de las Partículas					
Partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo	- 1 cara	INV E-227-07	60	85	85
	- 2 caras		40	60	60
Índice de Aplanamiento, % máximo		INV E-230-07	35	35	35
Índice de Alargamiento, % máximo		INV E-230-07	35	35	35
Angularidad del Agregado Fino, % mínimo		INV E-239-07	35	35	35
Capacidad de Soporte					
CBR, % mínimo del material sin cemento asfáltico, 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	80	100	100

NA = No Aplica

Tabla 4. Granulometrías admisibles para la construcción de capas de material granular estabilizado con cemento asfáltico. Recuperado de IDU-422.

Tipo de Capa		Tamiz (mm / U.S. Standard)								
		37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% Pasa								
Granular Estabilizado con cemento Asfáltico	MGEA_A	100	67-100	59-91	42-75	30-60	20-45	10-27	6-20	5-15
	MGEA_B		100	77-100	52-81	34-64	21-48	8-28	5-20	3-15
	MGEA_C		100	62-90	42-71	30-55	17-40	7-23	5-17	3-12

Diseño de la mezcla IDU-422.3.1

El diseño del material granular estabilizado en caliente con cemento asfáltico se efectuará siguiendo el método Marshall (norma de ensayo INV E-748-07) con probetas compactadas con 75 golpes por cara, y deberá cumplir con una estabilidad mínima de 750 Kg y un flujo comprendido entre 2 y 4 mm. Para el análisis volumétrico de la muestra se utilizarán los criterios y procedimientos de cálculo establecidos en el Manual MS-2 del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos. (IDU 422, 2007)

Susceptibilidad a la humedad IDU-422.6.2.5.2

Cada vez que el Interventor lo considere conveniente, de acuerdo con el aspecto y comportamiento de la mezcla colocada, se verificará en el laboratorio la susceptibilidad a la acción del agua de la mezcla compactada, empleando el ensayo de tracción indirecta descrita en la norma de ensayo INV E-725-07. Al efecto, se moldearán seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se curarán en seco y tres (3) bajo condición húmeda, determinándose la resistencia promedio de cada grupo como lo establece la norma. La resistencia del grupo curado en húmedo deberá ser, cuando menos, setenta por ciento (70%) de la resistencia del grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad. (IDU 422, 2007)

Metodología

Los procedimientos a efectuar en la presente investigación se enmarcan dentro de los siguientes aspectos metodológicos.

Para efectuar el componente teórico del presente proyecto se plantea una investigación de tipo descriptiva debido al uso de los diferentes tipos de información disponible en trabajos de grado afín, libros, especificaciones similares, artículos científicos, entre otros. Para así posteriormente determinar si esta información secundaria sirve de material complementario sobre los objetivos planteados en este proyecto. También, se compone de una metodología cualitativa donde se estudia la implementación de la asfaltita como material complementario para la elaboración de una base estabilizada con asfalto tipo MGEA-A, sin generar altos costos en su producción y que no tengan un fuerte impacto en el medio ambiente, sin embargo, también será una metodología cuantitativa y experimental ya que, mediante ensayos de laboratorio realizados dentro de las instalaciones de la compañía de trabajos urbanos CTU S.A.S, se determinará el comportamiento de los materiales a la hora de ser mezclados en porcentajes 20% de asfaltita con un 80% de material granular escogido adecuadamente. A razón de esto se evaluará el comportamiento de la mezcla dentro de los parámetros establecidos en las normas IDU-422, para así se determinar si es viable el uso de la asfaltita dentro de la estructura de un pavimento.

Actividades a realizar

La investigación propuesta llevará a cabo de la siguiente forma:

- Revisión Bibliográfica
- Identificación del problema
- Justificación del proyecto
- Antecedentes
- Caracterización granulométrica (INVE-782-13) y porcentaje de asfalto (INVE – 732- 13) de la asfaltita proveniente de Armero-Tolima.
- Elaboración del diseño de la mezcla para una base granular estabilizada con asfalto tipo MGA-A, con la adición de asfaltita.
- Caracterización de los agregados pétreos que componen la base granular estabilizada con asfalto tipo MGA-A combinada con asfalto natural dentro de los parámetros IDU-422.
- Caracterización de la combinación entre los agregados y el asfalto natural tipo MGA-A dentro de los parámetros IDU-422, Sección: 422-11.
- Comparación y Análisis de Resultados.
- Conclusiones y Elaboración del Informe Final del Proyecto.

Variables de estudio

Las variables más importantes al momento de elaborar una mezcla asfáltica corresponden a tres, granulometría, porcentaje de asfalto y temperatura.

Granulometría

La variable granulometría o partículas que pasan por un correspondiente tamiz presentan las siguientes características:

Dependiente: La granulometría expresa el porcentaje de agregados que pasa por un respectivo tamiz, por lo tanto, corresponden a un valor porcentual que dependen del tipo de mezcla a diseñar, en conclusión, es una variable dependiente.

Cuantitativa: Luego de realizar el tamizaje del material se determina el tamaño de agregados que se retienen en los diferentes tamices, caracterizando esta variable como cuantitativa.

Continua: El porcentaje pasa de agregados presenta números finitos, por tanto, la variable a evaluar se considera continua.

Porcentaje de asfalto

La variable porcentaje de asfalto presenta las siguientes características:

Dependiente: El porcentaje de asfalto en una mezcla asfáltica es una variable dependiente debido a que para determinar este valor se deben tener en cuenta muchos factores como la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos entre otros.

Cuantitativa: Al analizar todas las variables mencionadas anteriormente se determina un valor en porcentaje de asfalto para la mezcla catalogándola como variable cuantitativa.

Continua: La variable porcentaje de asfalto también vendría a ser del tipo continua ya que puede tomar valores decimales y no necesariamente exactos.

Temperatura

La variable temperatura presenta las siguientes características:

Independiente: La temperatura es una variable independiente debido a que esta se manipula a criterio propio según la manejabilidad de la mezcla deseada.

Cuantitativa: La temperatura es una variable cuantitativa pues se puede expresar en un valor numérico ya sea en grados Celsius, Fahrenheit o kelvin.

Continua: La temperatura se expresa en números finitos de valores reales, por tanto, la variable a evaluar se considera numérica continua.

Diseño metodológico

Nota aclaratoria: La asfaltita para realizar esta investigación fue suministrada por la Compañía de trabajos urbanos CTU S.A.S, la caracterización de la asfaltita, el diseño de mezcla y los resultados de laboratorio se efectuaron con instrumentos y hojas de cálculo de la empresa mencionada. El responsable de esta investigación haciendo uso de las herramientas mencionadas anteriormente elabora el proyecto estudio y desarrollo de una base tratada con asfalto 60-70 (MGEA-A) combinada con asfaltita proveniente de Armero-Tolima.

El desarrollo de la presente investigación se planteó de la siguiente forma, caracterización de la asfaltita, diseño de la mezcla, caracterización de agregados del diseño, caracterización de la mezcla asfáltica.

Caracterización de la asfaltita

Resumen extracción cuantitativa del asfalto en mezclas para pavimentos norma INVE – 732 – 13:

El ligante de la mezcla (asfalto) se extrae con tricloroetileno, bromuro de n-propilo (NPB) o cloruro de metileno, empleando el equipo de extracción aplicable al método particular. El contenido de asfalto se calcula por diferencia a partir de la masa del agregado extraído, del contenido de humedad, y del material mineral en el extracto. El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en masa de la mezcla asfáltica libre de toda humedad.



*Figura 7. Extracción.
Elaboración propia.*

Resumen Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso norma ASTM C 136

– 01:

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136), se separan las partículas con ayuda de los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm.



Figura 8. Tamices. Elaboración propia.

Diseño de la mezcla

Para el diseño de la mezcla se hizo uso de las hojas de cálculo de la compañía de trabajos urbanos CTU S.A.S realizando combinaciones de asfaltita con materiales disponibles en la compañía que satisfagan el diseño MGA-A según la norma IDU-422, en conclusión, se determinó que la dosificación más adecuada de los materiales es la siguiente:

Arena triturada. Lavada= 13% (rio guayuriba)

Triturado 1/2"= 10% (rio guayuriba)

Triturado de 3/4" MIXTO= 10% (cantera fusca)

Asfaltita clasificada= 20% (Tolima)

Triturado 1"= 25% (cantera fusca)

Arena triturada= 22% (cantera fusca)

En la Figura 9. Cantera Fusca, Bogotá. Elaboración propia. y la Figura 10. Arena Guayuriba. Elaboración propia. se puede observar la fuente y tipos de agregados que se usaron en esta investigación, obtenidos de la compañía de trabajos urbanos CTU SAS en Bogotá.



Figura 9. Cantera Fusca, Bogotá. Elaboración propia.



Figura 10. Arena Guayuriba. Elaboración propia.

Caracterización de agregados del diseño

Luego de haber determinado la dosificación de los agregados se realizan los siguientes ensayos de laboratorio para caracterizar las propiedades físico – mecánicas de los materiales a utilizar para la futura mezcla asfáltica.

Resumen resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles norma INV E – 218 – 13:

Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. Entonces, la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo. Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida.



Figura 11. Desgaste de los Angeles. Elaboración propia.

Resume determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato micro-deval norma INV E – 238 – 13:

El ensayo Micro–Deval es una medida de la resistencia a la abrasión y de la durabilidad de agregados pétreos, como resultado de una acción combinada de abrasión y molienda con esferas de acero en presencia de agua. Una muestra con granulometría normalizada se sumerge inicialmente en agua durante un lapso no menor de una hora. La muestra se coloca entonces en un recipiente de acero de 20 cm de diámetro, con 2.0 litros de agua y una carga abrasiva, consistente en 5000 g de esferas de acero de 9.5 mm de diámetro. Recipiente, agregado, agua y carga se rotan a 100 rpm hasta por 2 horas, dependiendo del tamaño de las partículas. Posteriormente, se lava la muestra y se seca en el horno. La pérdida es la cantidad de material que pasa el tamiz de 1.18 mm (No 16), expresada como porcentaje de la masa seca original de la muestra.



Figura 12. Micro-deval. Elaboración propia.

Resumen determinación del valor del 10% de finos norma INV E – 224 – 13:

Se compacta en un cilindro metálico una muestra de agregado de tamaño especificado, aplicándole golpes con una varilla. La muestra compactada se somete gradualmente a un esfuerzo de compresión, a causa del cual sus partículas se van fragmentando en una cuantía que depende de su resistencia al



Figura 13. 10% de finos. Elaboración propia.

aplastamiento. El grado de fragmentación del agregado se evalúa mediante el tamizado del espécimen a través de un tamiz de 2.36 mm (No. 8), luego de terminada la compresión. El procedimiento se realiza con varias cargas de compresión, con el fin de establecer la carga con la cual se produce en el agregado un 10 % de finos.

Resumen solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio norma INV E – 220 – 13:

Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia de los agregados pétreos cuando deben soportar la intemperie en concretos y otras aplicaciones.



Figura 14. Solidez. Elaboración propia.

Resúmenes índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras norma INV E – 230 – 13:

Esta norma describe el procedimiento que se deben seguir para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras. Esta se aplica a agregados de origen natural o artificial. El ensayo para determinar el índice de aplanamiento no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3 mm (¼") o mayores de 63 mm (2 ½"); mientras que la prueba para hallar el índice de alargamiento no aplica a los tamaños de partículas menores de 6.3mm (¼") o mayores de 50 mm (2").



Figura 15. Aplanamiento y alargamiento. Elaboración propia.

Resumen Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso norma INV E – 227 – 13:

Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en masa o por conteo, de partículas de un agregado grueso que tienen un número especificado de caras fracturadas. Esta norma reemplaza la norma INV E-227-07.



*Figura 16. Caras fracturadas.
Elaboración propia.*

Resumen ensayo de angularidad del Agregado Fino norma INV E-239-07:

Según la norma INV E-239-07-13 en este ensayo cuando se mide en cualquier agregado de gradación conocida, el contenido de vacíos provee una indicación de la angulosidad, la esfericidad y la textura superficial de ese agregado, que se pueden comparar con las de otros agregados finos ensayados con la misma gradación.



*Figura 17. Angularidad.
Elaboración propia.*

Resumen ensayo de Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad norma INV-E125 y 126-13:

Estos límites también conocidos como los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos.



*Figura 18. Casuela Casagrande.
Elaboración propia.*

Resumen equivalente de arena de suelos y agregados finos norma INV E – 133 – 13:

Este ensayo tiene por objeto determinar, bajo condiciones normalizadas, las proporciones relativas de polvo y material de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm.

El término “equivalente de arena” expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y los agregados finos son mezclas de arena y partículas gruesas deseables, y de polvo y finos arcillosos o plásticos indeseables. Esta norma reemplaza la norma INV E–133–07.



Figura 19. Equivalente de arena. Elaboración propia.

Resumen valor de azul de metileno en agregados finos norma INV E – 235 – 13:

El ensayo consiste en añadir de manera sucesiva pequeñas dosis de una solución de azul de metileno a una suspensión de la muestra de ensayo en agua. Después de cada dosis se comprueba la absorción de solución colorante por parte la muestra, realizando una prueba de coloración sobre papel de filtro para detectar la presencia de colorante libre. Una vez confirmada la presencia de colorante libre, se calcula el valor de azul de metileno, expresado en gramos de colorante absorbido por kilogramo de la fracción granulométrica ensayada.



Figura 20. Azul de metileno. Elaboración propia.

Resumen densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino norma INV E – 222 – 13:

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad, en kg/m^3 (lb/ft^3), se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente.

Además, la densidad relativa (gravedad específica), que es una cantidad adimensional, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente (gravedad específica aparente). La densidad seca al horno (SH) y la

densidad relativa seca al horno (SH) se deben determinar luego del secado del agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de sumergir el agregado en agua durante un período especificado. El ensayo descrito en esta norma se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y suministra el valor promedio que representa la muestra. Se debe establecer distinción entre la densidad de las partículas de agregado determinadas mediante este método de ensayo, y la densidad bulk de los agregados determinada a través de la norma INV E-217, la cual incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del agregado.



*Figura 21. Pignometro.
Elaboración propia.*

Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso norma INV E – 223 –

13:

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso.



Figura 22. Gravedad específica de gruesos. Elaboración propia.

Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad, en kg/m^3 (lb/pe^3), se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente. Además, la densidad relativa (gravedad específica), que es una cantidad adimensional, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente (gravedad específica aparente). La densidad seca al horno (SH) y la densidad relativa seca al horno (SH) se deben determinar luego del secado del agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de sumergir el agregado en agua durante un período especificado. El ensayo descrito en esta norma se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y suministra el valor promedio que representa la muestra. Se debe establecer distinción entre la densidad de las partículas de agregado determinadas mediante este método de ensayo, y la densidad bulk de los agregados determinada a través de la norma INV E-217, la cual incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del agregado.

Caracterización de la mezcla asfáltica

Resume elaboración de briquetas con el diseño de mezcla asfáltica para una Base granular estabilizada con asfalto tipo MGA-A, con la adición de asfaltita (INV E-748-05-13):

En el inciso 05 de la norma INV E-748-13, se especifica los parámetros a seguir para la elaboración de especímenes de mezcla asfáltica con forma cilíndrica y de 102 mm (4") de diámetro para posteriormente realizar los ensayos pertinentes.

Resumen Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficialmente secos norma INV E – 733 – 13:

El espécimen se sumerge en un baño de agua a 25° C y se mide y anota su masa bajo el agua. Se saca la probeta del agua, se seca rápidamente con un trapo húmedo y se pesa al aire. La diferencia entre las dos masas se emplea para medir la masa de un volumen igual de agua a 25° C.

El método de ensayo proporciona una guía para la determinación de la masa del espécimen seco. La gravedad específica se calcula a partir de estas masas. La densidad se obtiene multiplicando la gravedad específica bulk del espécimen por la densidad del agua.



Figura 23. Briquetas. Elaboración propia.



Figura 24. Bulk. Elaboración propia.

**Resumen estabilidad y flujo de mezclas asfálticas
en caliente empleando el equipo Marshall norma
INVE – 748 – 13:**

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de mezcla asfáltica, de 102 mm (4") de diámetro y una altura nominal de 63.5 mm (2½"), las cuales se someten a curado en un baño de agua o en un horno, y luego a carga en la prensa Marshall bajo condiciones normalizadas, determinándose su estabilidad y su deformación (flujo).

El ensayo Marshall se puede realizar con dos tipos de equipos: (1) el método tradicional, que emplea un marco de carga con un anillo de carga y un dial para medir la deformación (flujo) de las probetas (Método A), y (2) un registrador de carga-deformación combinada con una celda de carga y un transductor lineal diferencial variable (TLDV) u otro dispositivo de registro automático de la deformación (Método B).



*Figura 25. Prensa Marshall.
Elaboración propia.*

**Resumen evaluación de la susceptibilidad al
agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando
la prueba de tracción indirecta norma INV E – 725
– 13:**

Daño potencial por humedad – La susceptibilidad al daño por humedad se determina preparando un grupo de especímenes compactados en el laboratorio de acuerdo con la fórmula de trabajo de la mezcla y sin aditivos. Los especímenes se compactan de manera de obtener un contenido de vacíos con aire entre 6 y 8 %.

El grupo se divide en dos subgrupos con contenidos de vacíos aproximadamente iguales; cada espécimen debe tener su par en el otro subgrupo. Un subgrupo se mantiene en condición seca, mientras que el otro se satura parcialmente con agua y se acondiciona en un baño de agua. La resistencia a la tensión de cada uno de los subgrupos se determina por la prueba de tracción indirecta. El potencial de daño por humedad queda indicado por la relación entre las resistencias a la tensión del subgrupo húmedo y las del subgrupo seco.



*Figura 26. Tracción indirecta.
Elaboración propia.*

Análisis y resultados

Caracterización de la asfaltita

Extracción

Se realizó tres extracciones cuantitativas del asfalto en mezclas para Pavimentos norma INVE – 732 – 13 a la asfaltita proveniente de la mina Armero Tolima.

Tabla 5. Ensayo 1, Contenido de asfalto. Elaboración propia.

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS (I.N.V. E-732/07) METODO A		
Masa Inicial muestra	3611,5	g
Masa inicial filtro	20,4	g
Masa final muestra	3426,7	g
Masa final filtro	20,7	g
Contenido de asfalto	5,11	(%)

Tabla 6. Ensayo 2, Contenido de asfalto. Elaboración propia.

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS (I.N.V. E-732/07) METODO A		
Masa Inicial muestra	2043,4	g
Masa inicial filtro	14,8	g
Masa final muestra	1938,6	g
Masa final filtro	15,5	g
Contenido de asfalto	5,09	(%)

Tabla 7. Ensayo 3, Contenido de asfalto. Elaboración propia.

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS (I.N.V. E-732/07) METODO A		
Masa Inicial muestra	1734,6	g
Masa inicial filtro	15,0	g
Masa final muestra	1646,2	g
Masa final filtro	15,6	g
Contenido de asfalto	5,06	(%)

Luego de analizar los resultados obtenidos de las tablas, Tabla 5. Ensayo 1, Contenido de asfalto. Elaboración propia. Tabla 6. Ensayo 2, Contenido de asfalto. Elaboración propia. y Tabla 7. Ensayo 3, Contenido de asfalto. Elaboración propia., se llegó a la conclusión de que el porcentaje de asfalto que tiene la asfaltita es aproximadamente 5.1%.

Gradación y curva granulométrica de la asfaltita

Luego de realizada las extracciones a las tres muestras de asfaltita se procedió a realizar respectivo lavado del material y secado para posterior gradación por los tamices de tamaños 1/2", 1", 3/4", N°4, N°10, N°40, N°80 y N°200, se concluyó que las tres muestras presentaron una distribución granulométrica similar.



Figura 27. Tamices para gradación. Elaboración propia.

Tabla 8, Ensayo 1, Gradación. Elaboración propia.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (I.N.V. E-782/07)							
Masa 1 (g) =	3.426,7		Masa 2 (g) =	2.915,0		ESPECIFICACIÓN	
Tamiz	(mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	MGEA-B IDU-2011	
						Limite superior	Limite inferior
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
1"	25,0	178,0	5,2	5,2	94,8	100	100
3/4"	19,0	106,3	3,1	8,3	91,7	100	77
3/8"	9,5	491,1	14,3	22,6	77,4	81	52
No 4	4,8	280,0	8,2	30,8	69,2	64	34
No 10	2,0	417,4	12,2	43,0	57,0	48	21
No 40	0,4	867,5	25,3	68,3	31,7	28	8
No 80	0,2	351,5	10,3	78,6	21,4	20	5
No 200	0,1	223,2	6,5	85,1	14,9	15	3
FONDO		511,7	14,9	100,0			
SUMATORIA		3.426,7					

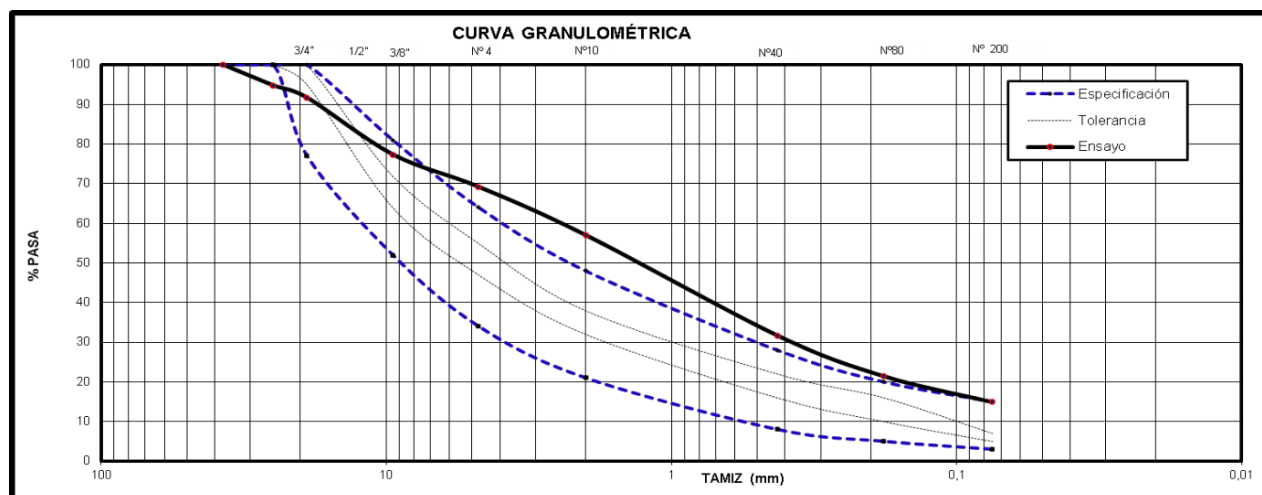


Figura 28. Ensayo 1, Curva granulométrica. Elaboración propia.

Tabla 9. Ensayo 2, Gradación. Elaboración propia.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (I.N.V. E-782/07)							
Masa 1 (g) =	1.938,6		Masa 2 (g) =	1.707,7		ESPECIFICACIÓN	
Tamiz	(mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	MGEA-B IDU-2011	
						Limite superior	Limite inferior
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
1"	25,0	44,3	2,3	2,3	97,7	100	100
3/4"	19,0	123,5	6,4	8,7	91,3	100	77
3/8"	9,5	356,6	18,4	27,1	72,9	81	52
No 4	4,8	257,6	13,3	40,3	59,7	64	34
No 10	2,0	241,8	12,5	52,8	47,2	48	21
No 40	0,4	427,6	22,1	74,9	25,1	28	8
No 80	0,2	141,5	7,3	82,2	17,8	20	5
No 200	0,1	114,8	5,9	88,1	11,9	15	3
FONDO		230,9	11,9	100,0			
SUMATORIA		1.938,6					

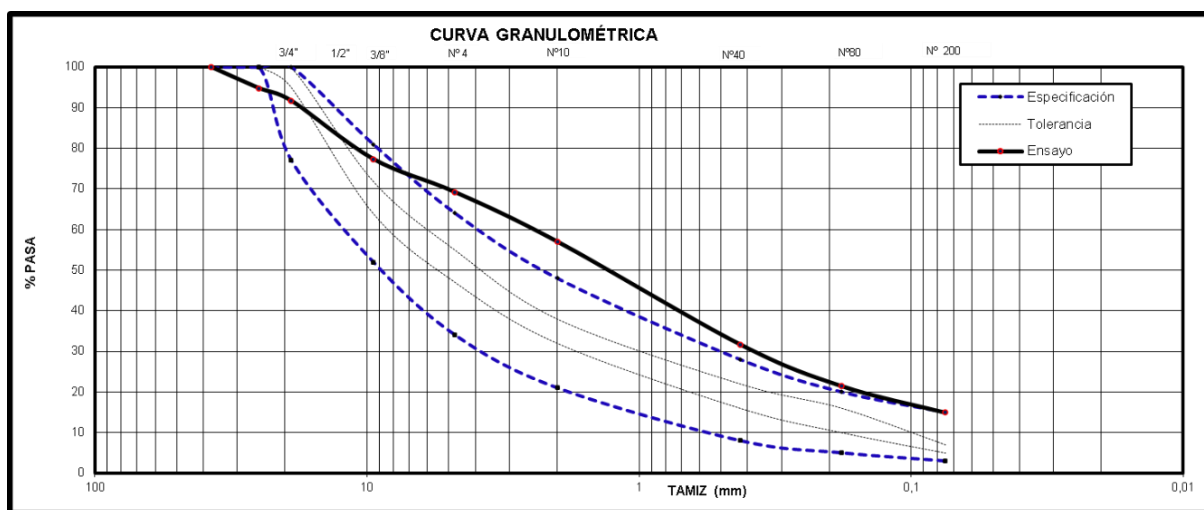


Figura 29. Ensayo 2, Curva granulométrica. Elaboración propia.

Tabla 10. Ensayo 3, Gradación. Elaboración propia.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (I.N.V. E-782/07)							
Masa 1 (g) =	1.646,2		Masa 2 (g) =	1.445,7		ESPECIFICACIÓN	
Tamiz	(mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	MGEA-B IDU-2011	
						Limite superior	Limite inferior
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
1"	25,0	24,2	1,5	1,5	98,5	100	100
3/4"	19,0	107,7	6,5	8,0	92,0	100	77
3/8"	9,5	258,1	15,7	23,7	76,3	81	52
No 4	4,8	223,0	13,5	37,2	62,8	64	34
No 10	2,0	186,5	11,3	48,6	51,4	48	21
No 40	0,4	396,1	24,1	72,6	27,4	28	8
No 80	0,2	157,1	9,5	82,2	17,8	20	5
No 200	0,1	93,0	5,6	87,8	12,2	15	3
FONDO		200,5	12,2	100,0			
SUMATORIA		1.646,2					

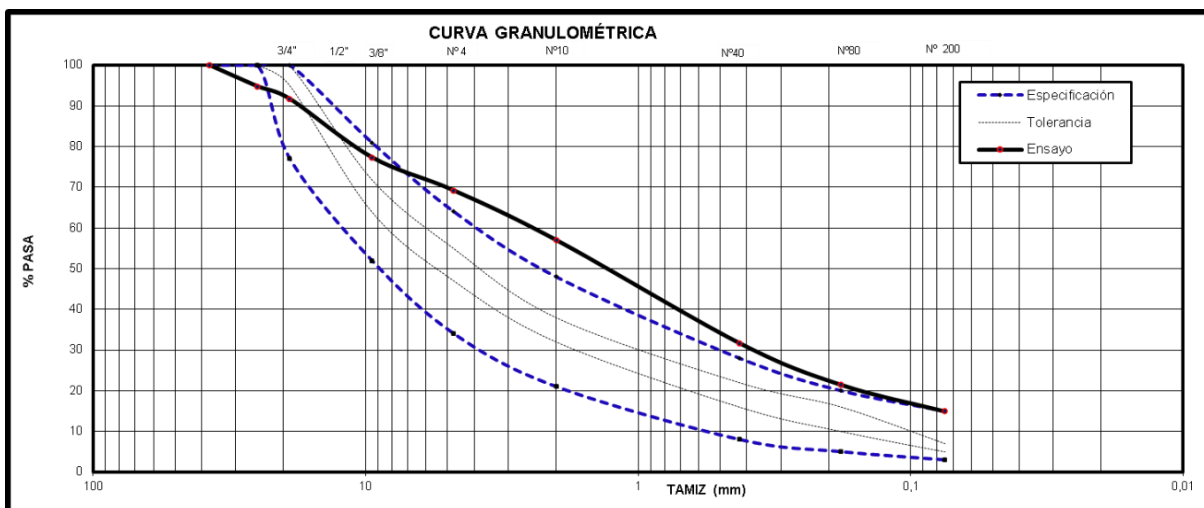


Figura 30. Ensayo 3, Curva granulométrica. Elaboración propia.

Al observar el comportamiento de las gráficas en las figuras; Figura 28. Ensayo 1, Curva granulométrica. Elaboración propia. Figura 29. Ensayo 2, Curva granulométrica. Elaboración propia. y Figura 30. Ensayo 3, Curva granulométrica. Elaboración propia. se concluye que la distribución de los tamaños de las partículas en la asfaltita es similar en los tres ensayos, por lo tanto, se procede con el diseño MGA-A con asfaltita.

Diseño MGA-A con asfaltita

Al obtener el análisis granulométrico de los tres ensayos se procedió a realizar el respectivo diseño MGA-A V1 (mezcla de material granular estabilizado con asfalto) implementando una combinación de 20% de asfaltita con un 80% de material granular escogido adecuadamente.

Tabla 11, Diseño mezcla MGA-A, INV-E-213.

DOSIFICACION DE LOS MATERIALES										
REF	DESCRIPCION	% OPTIMO DE CADA MATERIAL	CANTERA	Tamaño Tamiz % retenido						
				1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No 4		
7636	TRITURADO 1/2"	10%	GUAYURIBA	0,0	0,0	0,0	31,0	56,6		
7481	TRITURADO DE 3/4"MIXTO	10%	FUSCA	0,0	0,0	0,5	82,4	16,2		
7406	ASFALTITA CLASIFICADA	20%	TOLIMA	0,0	2,3	6,4	18,4	13,3		
7406	TRITURADO 1"	25%	FUSCA	0,0	0,0	42,5	56,4	0,3		
5651	ARENA TRIT. LAVADA	13%	GUAYURIBA	0,0	0,0	0,4	1,3	6,2		
7403	ARENA TRITURADA	22%	FUSCA	0,0	0,0	0,1	0,0	12,8		
TOTAL		100%		No 10	No 40	No 80	No 200	P. 200		
			GUAYURIBA	10,5	1,5	0,0	0,0	0,7		
			FUSCA	0,0	0,1	0,0	0,1	0,7		
			TOLIMA	12,5	22,1	7,3	5,9	11,9		
			FUSCA	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4		
			GUAYURIBA	21,6	38,6	16,7	10,6	4,6		
			FUSCA	28,6	22,1	7,7	11,5	17,2		
% RET. MEZCLA	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200	P. 200
	0,0	0,5	12,0	29,3	13,6	12,7	14,5	5,3	5,2	7,0
%PASA	100,0	100	88	58	45	32	17	12	7,0	
ESPECIFICACION MGEA-A IDU 2011	100	100	91	75	60	45	27	20	15	
Tamiz mm	37,5	25	19	9,5	4,75	2	0,425	0,18	0,075	

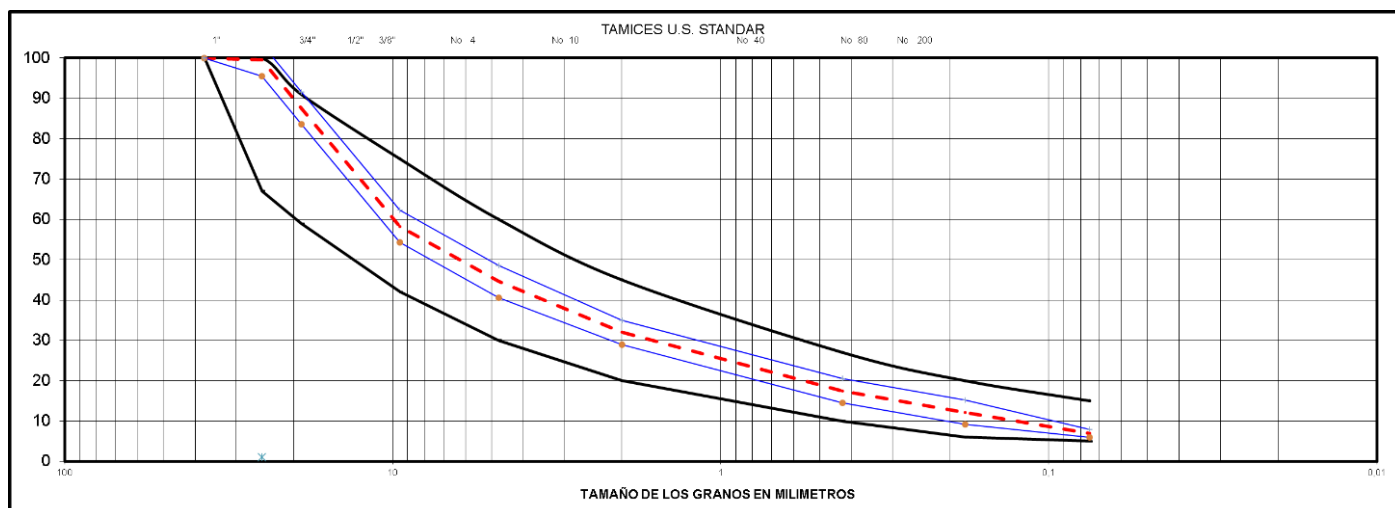


Figura 31. Grafica granulométrico diseño MGA-A

Dosificación Briquetas

Se estipula la dosificación de las briquetas para posteriores ensayos de laboratorio.

Tabla 12. Determinación peso briqueta.

PESO DE BRIQUETA		1150					
PESOS INDIVIDUALES							
Asf. real	Asf. adici	%Agregado	1"	3/4"	3/8"	No 4	No 10
3,52	2,5	97,5	5,1	134,6	328,4	152,8	141,9
4,02	3	97	5,1	133,9	326,7	152,0	141,1
4,52	3,5	96,5	5,1	133,3	325,0	151,2	140,4
5,02	4	96	5,0	132,6	323,3	150,5	139,7
Asf. real	Asf. adici	%Agregado	No 40	No 80	No 200	Pasa 200	% ASF
3,52	2,5	97,5	162,3	59,9	58,1	78,6	28,8
4,02	3	97	161,5	59,6	57,8	78,2	34,5
4,52	3,5	96,5	160,7	59,3	57,5	77,8	40,3
5,02	4	96	159,8	59,0	57,2	77,4	46,0

Tabla 13. Dosificación briquetas MGA-A.

			GRAMOS	KG
TOTAL MUESES			15000	15
GUAYURIBA	TRITURADO 1/2"	10%	1500	1,5
FUSCA	TRITURADO DE 3/4" MIXTO	10%	1500	1,5
SAN PEDRO	ASFALTITA CLASIFICADA	20%	3000	3
FUSCA	TRITURADO 1"	25%	3750	3,75
GUAYURIBA	ARENA TRIT. LAVADA	13%	1950	1,95
FUSCA	ARENA TRITURADA	22%	3300	3,3
100%			15000	15

PESOS ACUMULADOS

ASF. ADICI	% AGREGADO	1"	3/8"	No 4	No 10	PASA 10	% ASF	TOTAL
2,5	97,5	5,1	468,1	620,9	762,8	1121,7	28,8	1150
3	97	5,1	465,7	617,8	758,9	1115,9	34,5	1150
3,5	96,5	5,1	463,3	614,6	755,0	1110,2	40,3	1150
4	96	5,0	460,9	611,4	751,1	1104,4	46,0	1150

En la Tabla 13. Dosificación briquetas MGA-A. se estipula el peso acumulado de cada tamaño de agregado para posterior formación de briquetas.

Pesaje del diseño MGA-A con asfaltita

Se procede a pesaje los materiales indicados en el diseño anterior para un total de 15000gr de muestra:



Figura 32 Diseño de mezcla asfáltica MGA-A.



Figura 33, triturado Guayuriba $\frac{1}{2}$ " equivalente al 10% de la muestra del diseño



Figura 34, triturado fusca $\frac{3}{4}$ " mixto equivalente al 10% de la muestra del diseño.



Figura 35, asfaltita clasificada equivalente al 20% de la muestra del diseño.



Figura 36, triturado fusca 1" equivalente al 25% de la muestra del diseño.

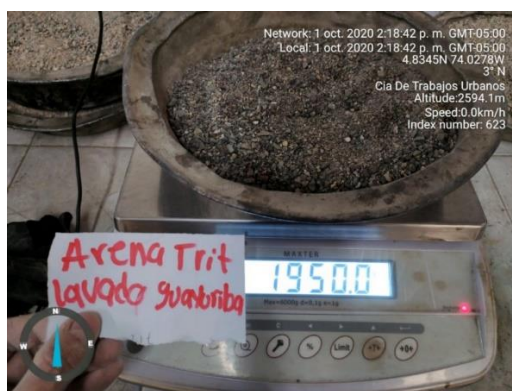


Figura 37, arena de Guayuriba triturada equivalente al 13% de la muestra del diseño.



Figura 38, arena de Fusca triturada equivalente al 22% de la muestra del diseño.

Ensayos realizados a los agregados

Desgaste Los ángeles en seco, 500 revoluciones INV E-218-07;

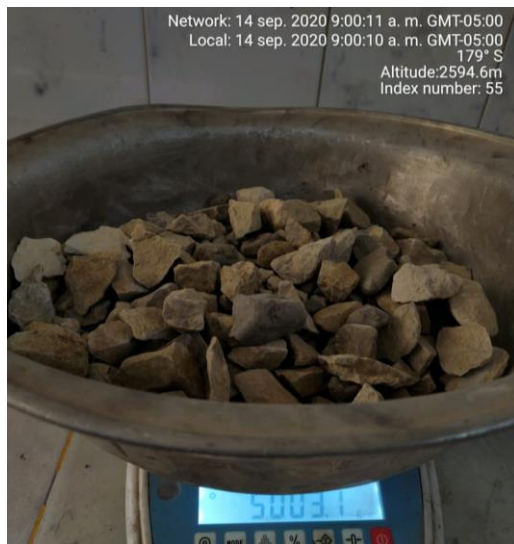


Figura 39, Muestra uno para desgaste de los ángeles.



Figura 40, introduccion muestra uno al maquina de los ángeles.

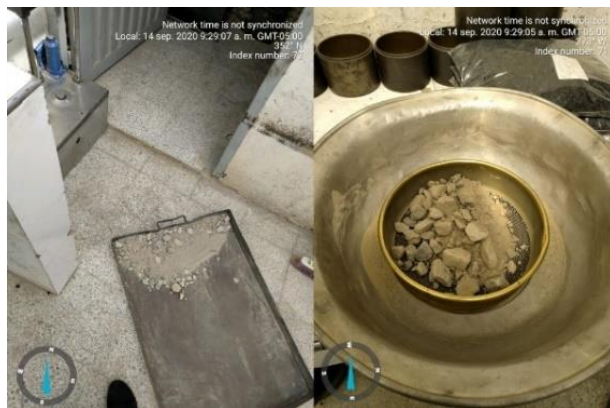


Figura 41, Muestra desgastada pasada por el tamiz N° 12.



Figura 42, Peso retenido tamiz N°12 despues del desgaste de los ángele

Resultado desgaste de los ángeles

Tabla 14, Desgaste de los ángeles.

m1=	5003,1	gr
m2=	3290,7	gr
D.los ángeles=	34,23	%

Según Tabla 14, Desgaste de los ángeles. se puede comprobar que el desgaste cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que él % máximo es de 35.



Figura 43, Juego de tamices micro de val, y separacion de tamaños de agregados.



Figura 44, Peso agregados para microdeval.



Figura 45, Peso agregados y masa uno total para microdeval.



Figura 46, Peso de esferas e introduccion de mezcla mas adición de agua.



Figura 47, rotacion de micro de val por dos horas y muestra dos mas esferas en horno.



Figura 48, Masa dos despues del ensayo micro de val.

Resultado micro de val*Tabla 15, Micro de val.*

m1=	15000	gr
m2=	1205,8	gr
Micro de val=	19,60	%

Según la Tabla 15, Micro de val. se puede comprobar que el desgaste por micro de val agregado grueso cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que el % máximo de micro de val es de 20.

Determinación del valor del 10% de finos norma INV E – 224 – 13

Tabla 16, 10% de finos.

MUESTRA	1			2												
CONDICIÓN DEL ENSAYO	SECO			HUMEDO												
Penetración según naturaleza muestra (mm)	20	20	20	20	20	20										
Masa del agregado inicial (g.)	2671,0	2677,0	2673,0	2681,0	2672,0	2675,0										
Masa material retenido tamiz No. 8	2465,0	2466,0	2471,0	2446,0	2442,0	2450,0										
Carga producida de la penetración seleccionada (X1). (kn).	227,4	220,5	224,7	212,1	205,9	196,1										
Porcentaje de finos (f1%)	7,7	7,9	7,6	8,8	8,6	8,4										
Carga necesaria para producir un 10% de finos. (C10). (kn).	272	260	272,2	233	229	229										
Promedio (C10). (kn).	268			230												
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Relación (C10humedo/C10seco).</td> <td>85,8</td> </tr> </table>							Relación (C10humedo/C10seco).	85,8								
Relación (C10humedo/C10seco).	85,8															
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Penetración del pistón de carga</th> </tr> <tr> <th>Naturaleza del material</th> <th>Penetración (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregados constituidos de partículas redondeadas o sub-redondeadas.</td> <td>15,000</td> </tr> <tr> <td>Agregados constituidos de partículas angulares.</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Agregados ligeros, que presentan vacíos en su interior.</td> <td>24</td> </tr> </tbody> </table>							Penetración del pistón de carga		Naturaleza del material	Penetración (mm)	Agregados constituidos de partículas redondeadas o sub-redondeadas.	15,000	Agregados constituidos de partículas angulares.	20	Agregados ligeros, que presentan vacíos en su interior.	24
Penetración del pistón de carga																
Naturaleza del material	Penetración (mm)															
Agregados constituidos de partículas redondeadas o sub-redondeadas.	15,000															
Agregados constituidos de partículas angulares.	20															
Agregados ligeros, que presentan vacíos en su interior.	24															

Según la Tabla 16, 10% de finos. se puede comprobar que el 10% de finos cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que el Valor en seco, kN mínimo es de 100 y también que la Relación húmedo/seco, % mínimo es de 75.

Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio norma INV E – 220 – 13

Tabla 17, Solidez.

TAMAÑO DEL TAMIZ		GRADACIÓN MUESTRA ORIGINAL % RETENIDOS	PESO FRACCIONES g.		% PÉRDIDA $D=((B-C)/B)*100$	Ri*Di/SUM Ri
PASA	RETIENE		ANTES DEL ENSAYO	DESPUÉS DEL ENSAYO		
		R	B	C		
1 1/2"	3/4"	7,6	1500,0	1293,1	13,8	3,0
3/4"	3/8"	17,0	1000,3	952,4	4,8	2,3
3/8"	No.4	10,3	300,2	286,1	4,7	1,4
TOTALES		34,9				
PERDIDA POR ACCIÓN DE LA SOLIDEZ (%)				6,7		

Según la Tabla 17, Solidez. se puede comprobar que el ensayo de solidez cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que la Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo es de 18.

Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras norma

INV E – 230 – 13

Tabla 18, Índice de alargamiento.

DETERMINACION DEL INDICE DE ALARGAMIENTO						
TAMICES	Fraccion granulometrica	Masa (Ri) de la fracción granulométrica	Separacion entre Barras. (mm)	Masa que se retiene en el calibrador	IL=(mi/Ri)*100	
di/Di	di/Di mm	gr		mi g	%	
2" - 1 1/2"	38/50	0	78,8	0,0		
1 1/2" - 1"	25/38	0	56,3	0,0		
1" - 3/4"	19/25	392,8	39,6	27,2	6,9	
3/4" - 1/2"	12,5/19	598,9	28,4	225,2	37,6	
1/2" - 3/8"	9,5/12,5	304,7	196,8	60,6	19,9	
3/8" - 1/4"	6,3/9,5	258,8	14,2	54,7	21,1	
	M11=ΣRi=	1555,20		367,700		
INDICE DE ALARGAMIENTO				IL=(M2/M1)*100	IL=	24
100* $\frac{M_0 - \sum R_i + \sum (\text{MASA RECHAZADAS})}{M_0}$			0,00	<1%		

Según la Tabla 18, Índice de alargamiento. se puede comprobar que el ensayo de índice de alargamiento cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que el Índice de Alargamiento, % máximo es de 35.

Tabla 19, Índice de aplanamiento.

DETERMINACION DEL INDICE DE APLANAMIENTO						
TAMICES	Fraccion granulometrica	Masa (Ri) de la fracción granulométrica	Ancho de la Ranura. (mm)	Masa que pasa por el calibrador	IAi=(mi/Ri)*100	
di/Di	di/Di mm	di/Di g		mi g	%	
2 1/2" - 2"	50/63		33,9			
2" - 1 1/2"	38/50		26,3			
1 1/2" - 1"	25/38		18,8			
1" - 3/4"	19/25	392,8	13,2	63,9	16,3	
3/4" - 1/2"	12,5/19	598,9	9,5	72,8	12,2	
1/2" - 3/8"	9,5/12,5	304,7	6,6	50,0	16,4	
3/8" - 1/4"	6,3/9,5	258,8	4,7	212,2	82,0	
	M1=ΣRi=	1555,20		398,90	126,83	
INDICE DE APLANAMIENTO				IA=(M2/M1)*100	IA=	26
100* $\frac{M_0 - \sum R_i + \sum (\text{MASA RECHAZADAS})}{M_0}$			0,00	<1%		

Según la Tabla 19, Índice de aplanamiento. se puede comprobar que el ensayo de índice de aplanamiento cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que el Índice de Aplanamiento, % máximo es de 35.

Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso norma INV E – 227 – 13

Tabla 20, Caras fracturadas una o más caras.

PORCENTAJE CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS					
FRACCIÓN		MASA MUESTRA (g)	MASA PARTIC. UNA CARA FRACTURADA	% DE CARAS FRAC. $P = (F1/A)*100$	% PROMEDIO
PASA	RETIENE				
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	392,8	392,8	100,0	
3/4"	1/2"	598,9	595,3	99,4	
1/2"	3/8"	304,7	286,7	94,1	
3/8"	No 4	257,5	251,9	97,8	
TOTALES					97,1
% CARAS FRACTURADAS (1 CARA)			97		

Tabla 21, Caras fracturadas dos o más caras.

PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS					
FRACCIÓN		MASA MUESTRA (g)	MASA PARTIC. DOS CARAS FRACTURADAS	% DE CARAS FRAC. $P = (F2/A)*100$	
PASA	RETIENE				
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	392,8	392,8	100,0	
3/4"	1/2"	598,9	595,3	99,4	
1/2"	3/8"	304,7	270,9	88,9	
3/8"	No 4	257,5	247,7	96,2	
TOTALES		1553,9	1506,7	384,5	96,1
% CARAS FRACTURADAS (2 CARAS)			96		

Según la Tabla 20, Caras fracturadas una o más caras. y Tabla 21, Caras fracturadas dos o más caras. se puede comprobar que el porcentaje de una cara fracturada o más y dos caras fracturadas o más cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica las partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo de una cara es de 85 y de dos caras es de 60.

Angularidad del Agregado Fino norma INV E-239-07

Tabla 22, Angularidad en finos.

ENSAYO ANGULARIDAD DE FINOS				
Masa del medidor vacío (Pv)	g.	217,9	217,9	217,9
Masa del medidor lleno con agua (Pa)	g.	317,7	317,7	317,7
Masa del medidor con el agregado (Pm)	g.	353,2	352,8	352,2
Masa neta del agregado (F)	48,9	135,3	134,9	134,3
Temperatura del agua (T)		16	16	16
Masa neta del agua (M)		99,8	99,8	99,8
Densidad del agua (D)	Kg/m ³	999	999	999
Volumen del cilindro ml (v)	m ³	99,9	99,9	99,9
Densidad bulk del agregado (G)		2,497	2,497	2,497
Porcentaje de vacíos sin compactar % U		45,8	45,9	46,2

PORCENTAJE DE VACIOS SIN COMPACTAR % U	45,9
--	------

Según la Tabla 22, Angularidad en finos., se puede comprobar que el porcentaje de angularidad de finos cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que la angularidad del Agregado Fino, % mínimo es de 35.

Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad norma INV-E125 y 126-13

Tabla 23, Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad .

LIMITE LIQUIDO				
Ensayo	1	2	3	4
No. Golpes				
No. Recipiente				
Masa 1 (g.)		NL		
Masa 2 (g.)		NL		
Masa 3 (g.)				
LIMITE PLASTICO				
Ensayo	1	2	3	Promedio
No. Recipiente				
Masa 1 (g.)		NP		
Masa 2 (g.)		NP		
Masa 3 (g.)				
% Humedad	0	0		0,000

LÍMITE LÍQUIDO (%)	NL
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	0

Gráfica de Fluidez

Contenido de Humedad (%)

Numero de golpes

Según la Tabla 23, Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad ., Se puede comprobar que estos tres limites cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que el diseño MGEA-A no presenta estos límites.

Tabla 24, Equivalente de arena.

PRUEBA	1	2	3
Probeta número	1	2	3
Lectura de la arena	3,6	3,6	3,4
Lectura de arcilla	8,6	8,7	8,4
Equivalente de arena (%)	41,9	41,4	40,5
Equivalente de arena corregido (%)	42	42	41
Promedio (%)	41,7		
Promedio corregido (%)	42		

Según la Tabla 24, Equivalente de arena., se puede comprobar que el porcentaje de equivalente de arena cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que el Equivalente de Arena, % mínimo es de 20.

Valor de azul de metileno en agregados finos norma INV E – 235 – 13*Tabla 25, Azul de metileno.*

CALCULO DE ENSAYO	
V = Cantidad utilizada de solución de azul de Metileno, (ml)	33,0
W = Cantidad empleada de muestra seca, (g)	239,4
C = Concentración de la solución de azul de M, en mg de azul de metileno por ml de solución (mg/ml)	10,0
VA = Valor de Azul de Metileno = $(CxV)/W$ (mg/g)	1,4
INDICE DE AZUL DE METILENO	1,4

Según la Tabla 25, Azul de metileno., se puede comprobar que el porcentaje de azul de metileno cumple los parámetros especificados en la norma IDU-422, esta especifica que el valor de Azul de Metileno, máximo es de 10.

Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso norma INV

E – 223 – 13



Figura 49. Peso específico en gruesos.



Figura 50. Material peso específico gruesos.

PESO ESPECIFICO BULK

2,363

**PROMEDIO
ABSORCIÓN (%)**

3,40

Según la los resultado de peso específico de agregados gruesos. Se puede comprobar que este se desarrolló dentro parámetros especificados en la norma IDU-422 con un peso específico de 2,363.

Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino norma INV E –

222 – 13



Figura 51, Prueba cono con arena.



Figura 52, masa 1,2 y 3 para cada pignometro.

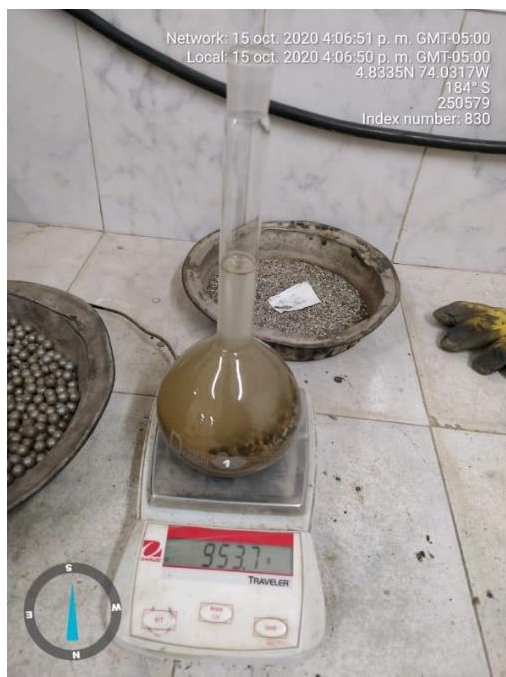


Figura 53, m2 pignometro 1 aforado.



Figura 54, recipiente 1.

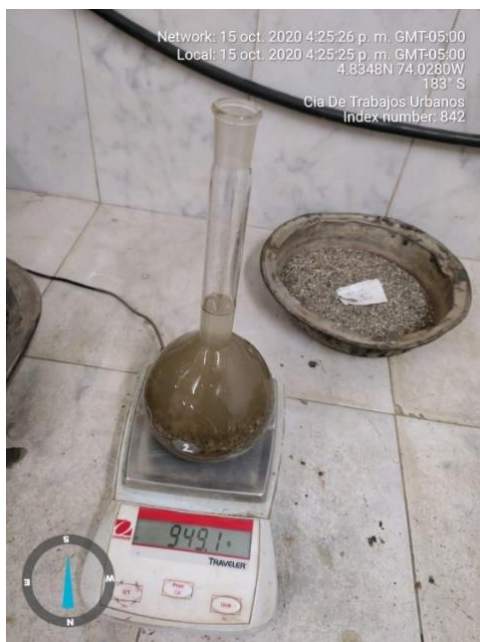


Figura 55, m2 pignometro 2 aforado.



Figura 56, recipiente 2.



Figura 57, m2 pignometro 3 aforado.

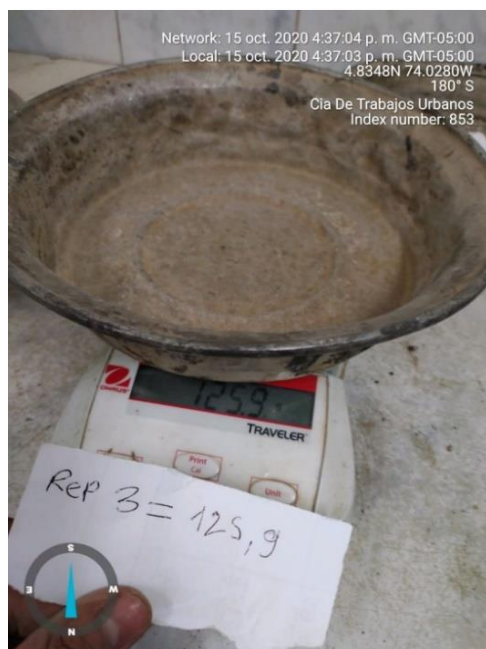


Figura 58, recipiente 3.



Figura 59, m3 pignometro 1.

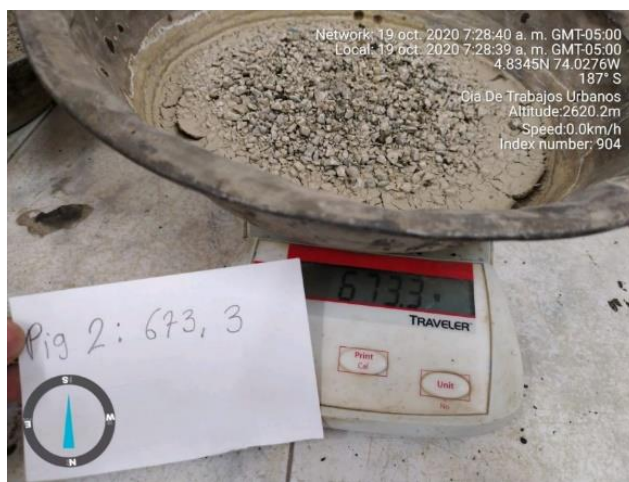


Figura 60, m3 pignometro 2.



Figura 61, m3 pignometro 3.

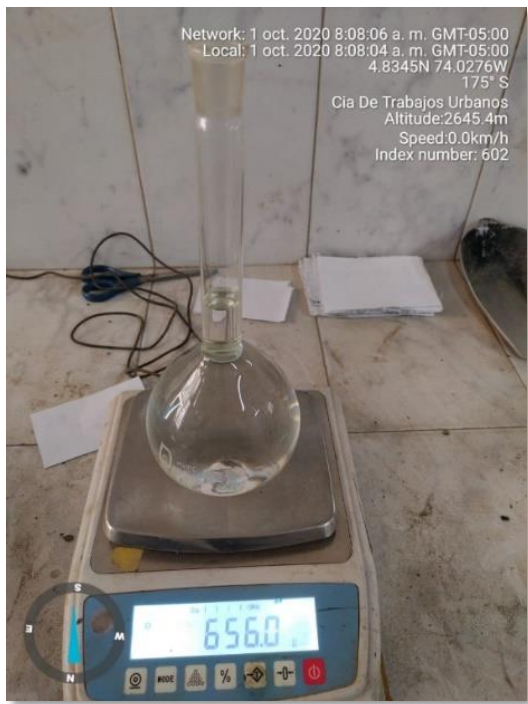


Figura 62, pingnometro aforado solo con agua.

Resultado peso específico en finos

PESO ESPECIFICO BULK	2,38
PROMEDIO ABSORCIÓN (%)	2,8

Según la los resultado de peso específico de finos, se puede comprobar que este se desarrolló dentro parámetros especificados en la norma IDU-422 con un peso específico de 2,38.

Ensayos realizados a la base asfáltica

GMM diseño MGA-A

Se calcula la gravedad especifica de la mezcla asfáltica para el Marshall.



Figura 64, Gmm muestra de asfaltita con 2.5% de asfalto añadido m1(asf real 3.5).



Figura 63, Gmm muestra de asfaltita con 2.5% de asfalto añadido m2(asf real 3.5).

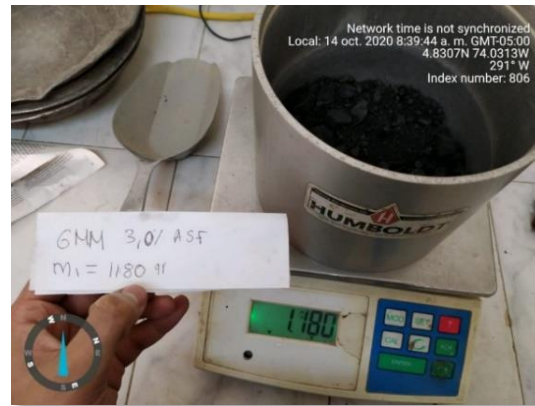


Figura 65, Gmm muestra de asfaltita con 3.0% de asfalto añadido m1(asf real 4).



Figura 66, Gmm muestra de asfaltita con 3.0% de asfalto añadido m2(asf real 4)

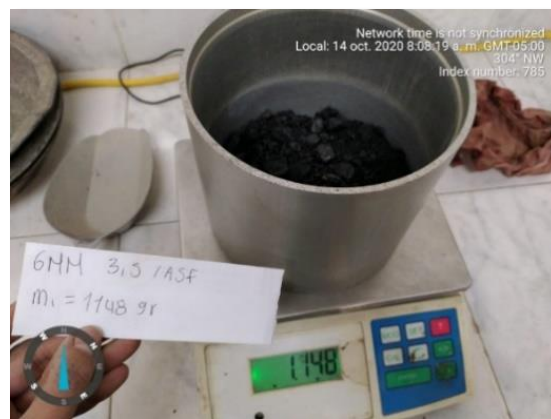


Figura 67, Gmm muestra de asfaltita con 3.5% de asfalto añadido m1(asf real 4.5).



Figura 68, Gmm muestra de asfaltita con 3.5% de asfalto añadido m2(asf real 4.5).



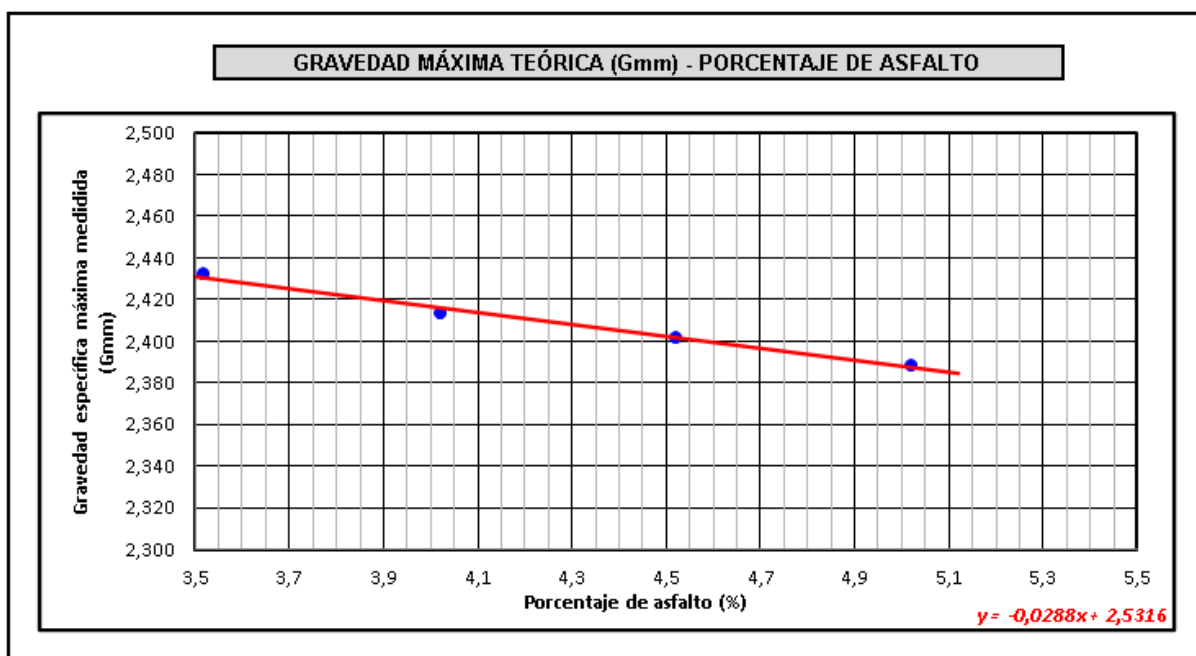
Figura 69, Gmm muestra de asfaltita con 4.0% de asfalto añadido m1(asf real 5).



Figura 70, Gmm muestra de asfaltita con 4.0% de asfalto añadido m2(asf real 5).

Tabla 26, GMM.

ENSAYO No	PORCENTAJE DE ASFALTO	MASA EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECA (g)	MASA DEL FRASCO + AGUA A 25°C (g)	MASA DEL FRASCO + MUESTRA+AGUA A 25°C	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA 25/25°C
		A	D	E	Gmm=(A/D+A-E)
1	3,5	1171,8	7395	8085	2,432
2	4,0	1180	7395	8086	2,413
3	4,5	1148	7395	8065	2,402
4	5,0	1151,0	7395	8064	2,388



En la Tabla 26, GMM., se puede comprobar que a medida que se aumenta el porcentaje de asfalto disminuye la gravedad específica de los especímenes de asfalto, siendo un comportamiento común de este tipo de ensayo.



Figura 71, Briquetas diseño MGA-A con asfaltita.



Figura 72, Espesor promedio briquetas para bulk.



Figura 73, Inmersión de briquetas en agua a 60 °C.

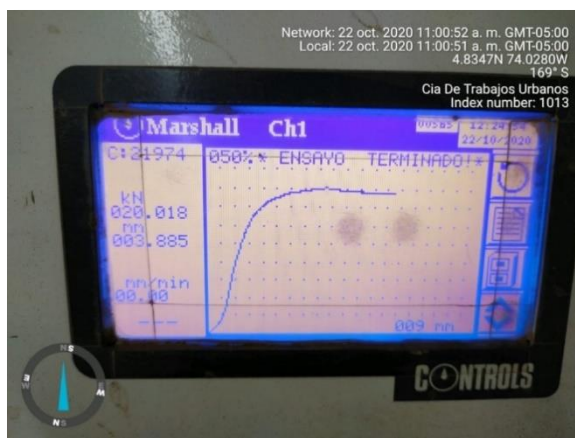


Figura 74, Estabilidad y flujo briquetas con 3.5% de asfalto añadido (asf real 4.5).

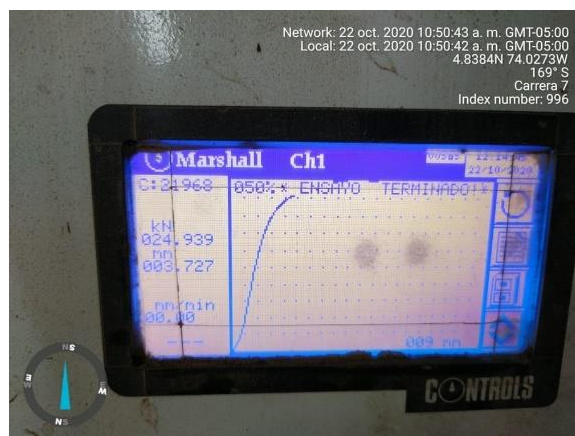


Figura 75, Estabilidad y flujo briquetas con 3% de asfalto añadido (asf real 4).



Figura 76, Estabilidad y flujo briquetas con 2.5% de asfalto añadido (asf real 3.5).

Resultados diseño Marshall

Tabla 27, Cálculos diseño de mezcla bituminosa método Marshall 1.

MEZCLA No.	ASFALTO	AGEGADOS EN MEZCLA TOTAL	H	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO			
			ESPOSOR PROBETA	SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA	BULK	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA
	%	%	cm	cm	cm	cm				
	<u>Pb</u>	<u>Ps</u>					Gmb		Gmm	Gse
1	3,5	96,5	6,80	1121,2	1138,9	612,9	2,132			
2	3,5	96,5	6,60	1142,2	1148,3	610,4	2,123			
3	3,5	96,5	6,60	1126,5	1130,4	619,4	2,118			
							2,124	2,260	2,432	2,566
1	4,0	96,0	6,73	1142,6	1166,6	632,5	2,139			
2	4,0	96,0	6,68	1098,7	1125,2	614,6	2,152			
3	4,0	96,0	6,75	1146,2	1170,1	639,4	2,160			
							2,150	2,245	2,413	2,565
1	4,5	95,5	6,61	1109,4	1135,2	625,7	2,177			
5	4,5	95,5	6,57	1121,7	1144,1	626,7	2,168			
6	4,5	95,5	6,61	1131,4	1152,6	625,3	2,146			
							2,164	2,231	2,402	2,572
4	5,0	95,0	6,47	1124,3	1141,7	612,8	2,126			
5	5,0	95,0	6,35	1122,7	1136,0	611,8	2,142			
6	5,0	95,0	6,41	1131,3	1148,3	620,1	2,142			
							2,136	2,217	2,388	2,577

Tabla 28, Cálculos diseño de mezcla bituminosa método Marshall 2.

VOLUMEN PORCENTAJE TOTAL				CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO	VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	VFA VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	Relacion llenante /ligante efectivo	PESO UNITARIO	ESTABILIDAD		FLUJO	
ASFALTO ABSORBIDO %	AGREGADOS	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO						Kg	Kg	0,01"	mm
%	%	%		%	%	%		g/cm ³				
<u>Pba</u>	$\frac{(100-b)q}{G_{Agr.}}$	Va	100-k-l	Pbe	VAM	VFA	<u>LL/I</u>	<u>g*0,99707</u>	MEDIDA	CORREGIDA		
									1844	1673	9,6	2,44
									1888	1805	9,3	2,35
									1888	1805	9,1	2,30
3,25	86,5	12,7	0,8	0,4	13,5	6,1	18,0	2,118	1873	1761	9,3	2,4
									2339	2163	14,7	3,73
									2224	2084	13,0	3,30
									2160	1987	12,1	3,08
3,23	87,1	10,9	2,0	2,7	12,9	15,4	2,6	2,144	2241	2078	13,3	3,4
									1837	1753	15,3	3,89
									2131	2053	13,7	3,49
									2320	2213	14,4	3,65
3,34	87,2	9,9	2,9	3,1	12,8	22,5	2,2	2,157	2096	2006	14,5	3,7
									1671	1652	18,9	4,80
									1666	1695	15,6	3,97
									1651	1656	14,4	3,66
3,41	85,7	10,5	3,8	3,6	14,3	26,5	1,9	2,130	1663	1667	16,3	4,1

Según la Tabla 27, Cálculos diseño de mezcla bituminosa método Marshall 1. y Tabla 28, Cálculos diseño de mezcla bituminosa método Marshall 2. se puede comprobar que la estabilidad y flujo de las briquetas analizadas cumple la normativa IDU-422 que especifica que la estabilidad mínima es de 750 kg y un flujo entre 2 y 4 mm.

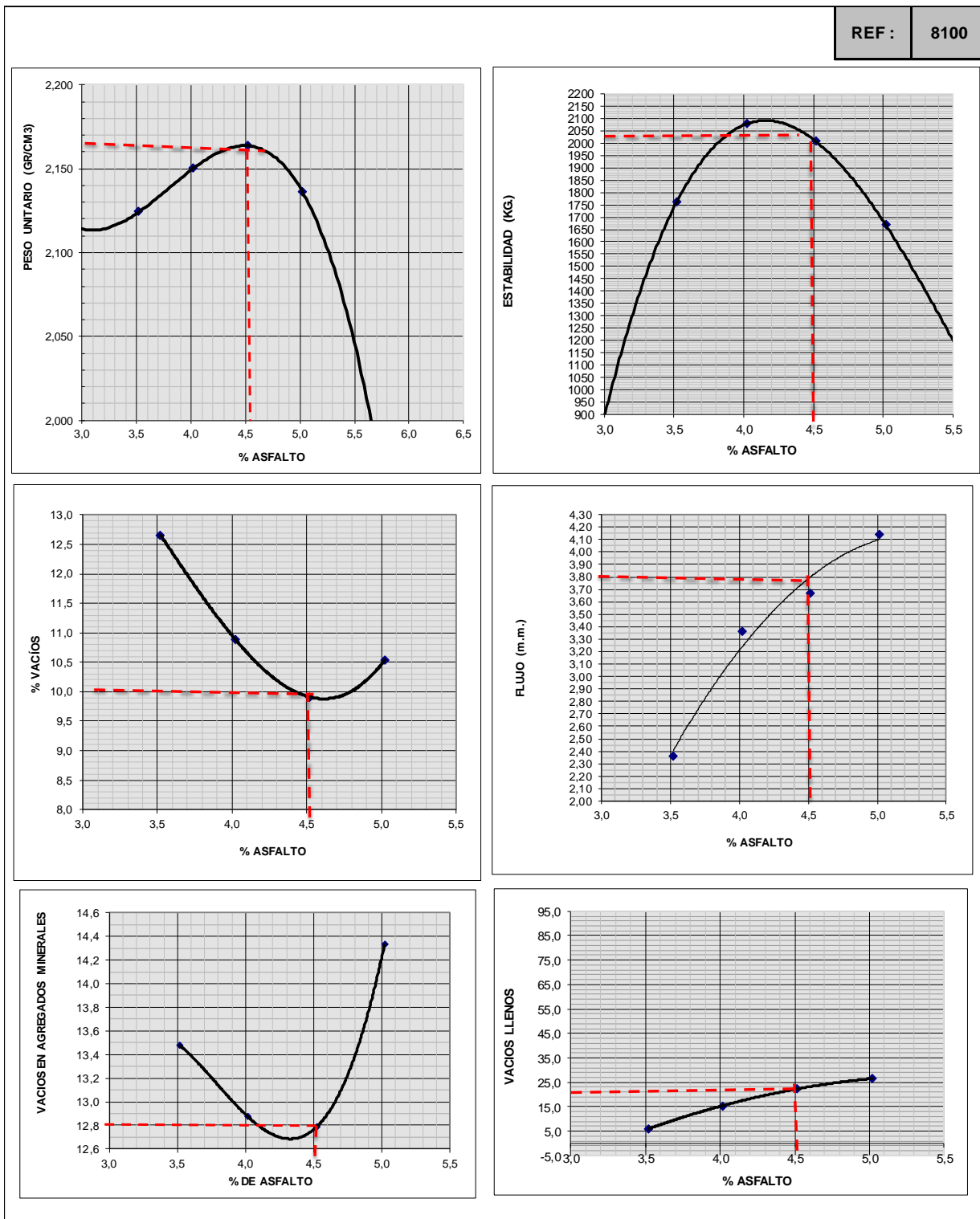


Figura 77, Diseño de mezcla bituminosa método Marshall. (gráficas)

Analizando la Figura 77, Diseño de mezcla bituminosa método Marshall. (gráficas), se escoge que el porcentaje de asfalto para este diseño es de 4.5% debido a que con este porcentaje las briquetas elaboradas no se desmoronaron y fueron adecuadas para futuros ensayos como el TSR, además de cumplir con las especificaciones IDU 422, donde se tiene en cuenta que la estabilidad mínima es de 750 kg y un flujo entre 2 y 4 mm.

Prueba de tracción en seco (TSR)



Figura 78, Fallo Briqueta N4 en Seco.

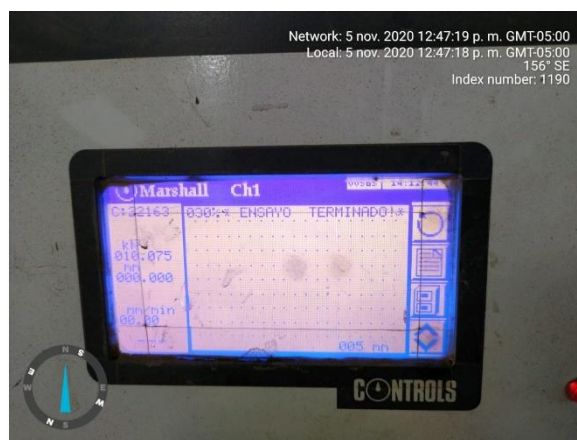


Figura 79, Estabilidad briqueta N4 en seco.



Figura 80, Fisura briqueta N4 en seco.

TSR Prueba de tracción en húmedo (TSR)

Figura 82, Briqueta 1 para TSR en humedo.



Figura 81, Briqueta 1 despues de ensayo.

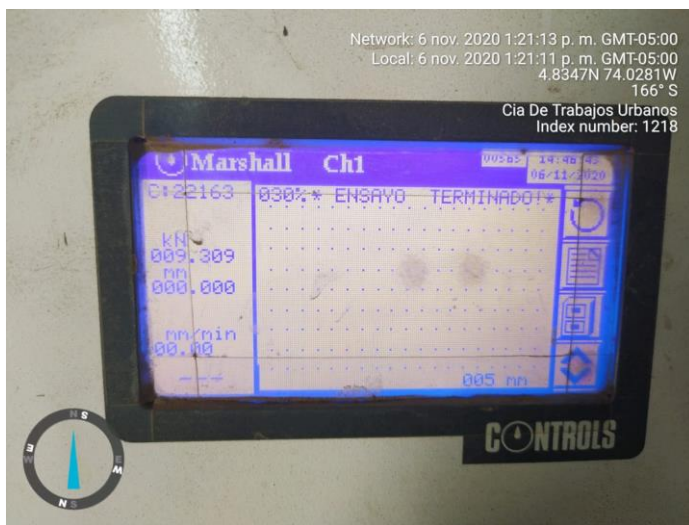


Figura 83, Estabilidad briqueta 1.



Figura 84. Daño por humedad visual.

Resultados TSR

Tabla 29, TSR.

Briqueta N°			1	2	3	PROMEDIO
			GRUPO HUMEDO			
D	Diámetro	mm	100,8	101,9	101,4	
t	Espesor.	mm	66,4	60,4	65,1	
A	Masa seca al aire	g	1159,6	1132,9	1134,5	
B	Masa SSS	g	1168,6	1139,0	1148,9	
C	Masa en el agua	g	645,5	627,6	630,2	
E	Volumen, (B-C)	cm ³	523,1	511,4	518,7	
F	Gravedad específica Bulk, (A/E).	g/cm ³	2,217	2,215	2,187	2,206
G	Gravedad específica Máxima.	g/cm ³	2,375	2,375	2,375	2,375
H	Vacíos con aire, [1-(F/G)]*100	%	6,7	6,7	7,9	7,1
I	Volumen de vacíos con aire, H*E/100	cm ³	34,8	34,4	41,0	36,8
P	Carga	N				
Briqueta N°			4	5	6	PROMEDIO
			GRUPO SECO			
D	Diámetro	mm	102,5	101,3	101,8	
t	Espesor.	mm	65,0	67,0	66,0	
A	Masa seca al aire	g	1145,9	1154,0	1139,8	
B	Masa SSS	g	1156,9	1159,1	1148,0	
C	Masa en el agua	g	633,4	640,0	628,2	
E	Volumen, (B-C)	cm ³	523,5	519,1	519,8	
F	Gravedad específica Bulk, (A/E).	g/cm ³	2,189	2,223	2,193	2,202
G	Gravedad específica Máxima.	g/cm ³	2,375	2,375	2,375	2,375
H	Vacíos con aire, [1-(F/G)]*100	%	7,8	6,4	7,7	7,3
I	Volumen de vacíos con aire, H*E/100	cm ³	41,0	33,2	39,9	38,0
P	Carga	N	9895	10255	10075	10075,0

Tabla 30, TSR 2.

Briqueta N°			1	2	3	PROMEDIO	4	5	6	PROMEDIO
			GRUPO HUMEDO				GRUPO SECO			
Saturación mediante vacío										
B'	Masa \$\$\$	g	1183,3	1155,8	1158,7					
C'	Masa en el agua	g	658,2	640,0	639,0					
E'	Volumen, (B'-C')	cm ³	525,1	515,8	519,7					
J'	Volumen absoluto de agua (B'-A)	cm ³	23,7	22,9	24,2					
-	Saturación, (100*J')/I	%	68,0	66,6	59,0	64,5				
-	Hinchamiento, (E'-E)*100/E	%	0,4	0,9	0,2	0,5				
Acondicionamiento 24 horas en agua a 60 °C										
t''	Espesor.	mm	66,9	64,0	65,3					
B''	Masa \$\$\$	g	1190,1	1162,7	1170,2					
C''	Masa en agua	g	660,2	642,3	648,3					
E''	Volumen (B''-C'')	cm ³	529,9	520,4	521,9					
J''	Volumen absoluto de agua (B''-A)	cm ³	30,5	29,8	35,7					
-	Saturación, (100*J'')/I	%	87,5	86,7	87,0	87,1				
-	Hinchamiento, (E''-E'')*100/E	%	0,9	0,9	0,4	0,7				
P''	Carga	N	9309,0	7697,0	7361,0	8122,3				
	Daño por humedad visual estimado	%	1,00%	0,50%	1,00%	0,83%				
	Agregado fracturado o triturado	%	1,00%	0,00%	0,50%	0,50%				
R _s	Resistencia seca	kPa					945,49	961,90	954,63	954,01
R _h	Resistencia húmeda	kPa	878,81	751,36	707,73	779,30				
R _c	Resistencia conservada	%	81,7%							

Según la Tabla 29, TSR. y Tabla 30, TSR 2. la estabilidad de las briquetas húmedas fue mayor al 70% de las briquetas secas cumpliendo con la norma IDU-422 con un valor del 81,7%.

Tabla 31, Características de la mezcla.

5. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		
CARACTERÍSTICA	DISEÑO	ESPECIFICACIÓN PARA NT3
PORCENTAJE OPTIMO	4,50%	
PESO UNITARIO (gr. / cm ³)	2,17	
ESTABILIDAD (Kgf)	2025	750(mín)
ESTABILIDAD (N)	19858	9000 (mín.)
FLUJO (mm)	3,8	2--4
RELACION ESTABILIDAD/ FLUJO k N/mm	532,9	
% VACÍOS LLENOS CON ASFALTO	67	
% VACÍOS	5,2	
% VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	15,7	
TSR	0,817	0,7 secas min

REVISÓ Y APROBÓ:



JEFE LABORATORIO

En la Tabla 31, Características de la mezcla. se puede comprobar que la base MGEA-A combinada con asfaltita diseñada en esta investigación cumple con todos los parámetros exigidos para la mezcla asfáltica en las normas IDU-422.

De los resultados obtenidos en la presente investigación acerca del estudio y desarrollo de una base tratada con asfalto 60-70 (MGEA-A) combinada con asfaltita proveniente de Armero-Tolima, realizada mediante la elaboración y análisis de los ensayos agregados y mezcla asfáltica, se puede establecer lo siguiente:

La combinación de agregados para el diseño MGA-A conformada por porcentajes en peso de 10% triturado de ½” de Guayuriba, 10% triturado de 3/4 “mixto de Fusca, 20% Asfaltita clasificada de San Pedro, 25% triturado 1” de Fusca, 13% Arena triturada lavada de Guayuriba, 22% Arena triturada de Fusca, para un total de 100% de la mezcla, cumple con los parámetros especificados en la Norma IDU 422 - Tabla 422.2 Requisitos de los agregados para capas de material granular estabilizado con cemento asfáltico.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos correspondientes al diseño Marshall, se concluye que el porcentaje de asfalto óptimo a añadir para este diseño es 4.5%.

La estabilidad de las briquetas húmedas fue mayor al 70% de las briquetas secas cumpliendo con la normativa IDU-422.

La mina de asfalto natural del municipio de San Pedro-Tolima, puede considerarse un depósito con bajo contenido de asfalto al presentar un porcentaje del 5.1%, resultado bajo al tener en cuenta que un depósito de bajas proporciones tiene un rango del 5 a 15 % generalmente.

Con relación a lo anterior se evidenció que la adición de asfaltita proporciona un porcentaje de asfalto considerable que beneficia en costos para la elaboración de esta mezcla



Figura 86, Muestras San Pedro Asphaltita Clasificada.



Figura 85, Código muestra Asphaltita.



Figura 87, Cuarteo Asfaltita.



Figura 88, Extracción Asfaltita.



Figura 89, Extracción de asfalto, indicador suciedad gasolina.



Figura 90, Cocineta con Asfaltita.



Figura 91, Muestra Asfalita Gradada.



Figura 92. Desgaste de los Angeles 2. Elaboración propia.



Figura 93. Micro-deval 2. Elaboración propia.



Figura 94. 10% de finos 2. Elaboración propia.



Figura 95. Equivalente de arena 2. Elaboración propia.



Figura 96. Azul de metileno 2. Elaboración propia.



Figura 97. Elaboracion de briquetas. Elaboración propia.



Figura 98. Briquetas. Elaboración propia.



Figura 99. Bulk.Elaboración propia.



Figura 100. Prensa para Marshall y TSR. Elaboración propia.

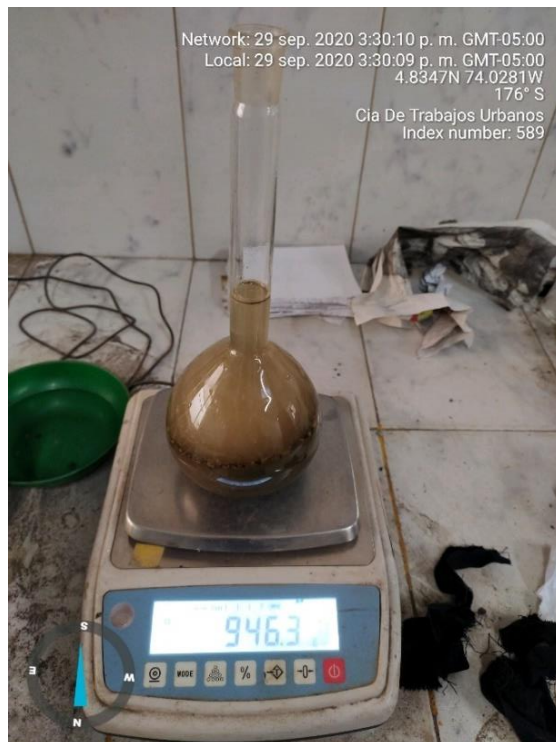


Figura 101. Gravedad específica 2. Elaboración propia.



Figura 102. Ensayo TSR



Figura 103. Ensayo GMM. Elaboración propia.



Figura 104. Ensayo Marshall. Elaboración propia.

Lista de referencias

- Rondón, H. A., & Reyes, F. A. (2009). Comportamiento de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con asfaltita. Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia. Universidad militar nueva granada.
- Niño, 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 ligante la mapia – asfaltita. Bogotá D.C.
- Alarcón, L. (2014). Uso de la asfaltita para pavimentos en vías terciarias e Boyacá y Cundinamarca en la república de Colombia. Universidad militar nueva granada: Bogotá D.C.
- Pérez, G. (2005). La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia. Banco de la república, centro de estudio económico regionales – Cartagena.
- E-asphalt. (2001). Origen de Asfalto. Recuperado de http://www.e-asfalto.com/orig_asf/origenasf.htm#:~:text=Por%20mas%20de%205.000%20a%C3%B1os,primer%20uso%20de%20este%20producto.
- Salvador, G. (2015). Contaminación por las refinerías. Recuperado de <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/contaminacion-por-las-refinerias>.
- EcuRed. (2020). Pavimento flexible. Recuperado de https://www.ecured.cu/Pavimento_flexible.
- Capa de Base, IDU. (2011). Material granular estabilizado con asfalto, Instituto de Desarrollo Urbano IDU-422 – Bogotá.

El Instituto Nacional de Vías, INVIAS. (2013). Sección 200 – agregados pétreos y secciones 700 y 800 – materiales y mezclas asfálticas y prospección de pavimentos.

E-asfalto. (2010). La modificación del asfalto por la adicción de asfaltitas. Buenos aires.

Maldonado, A. (2012). Pavimentos. Flexibles. Recuperado de <https://www.construaprende.com/docs/trabajos/310-pavimentos-flexibles>.

Asfaltitas para asfaltos. (2001). Asfaltitas. Recuperado de <http://www.e-asfalto.com/asfaltitas/asfaltitas.htm>

Constructor blogs. (2012). Riesgo sísmico en Colombia. Recuperado de <http://carlos-constructor.blogspot.com/2012/06/riesgo-sismico-en-colombia.html>

Segovia, E. (2012). Asfaltitas. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/41972029/ASFALTITAS>.

Compañía de trabajos urbanos. (2004). Tipos de Mezclas Asfálticas MGEA. Recuperado de <https://ctu.com.co/base-estabilizada-con-asfalto-mgea/>

IDU 422. (2007). (MGEA-A) material granular estabilizado en caliente con asfalto.

INVIAS. (2013). Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas para Pavimentos norma INVE – 732 – 13.

ASTM. (2001). Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso norma ASTM C 136 – 01.

INVIAS. (2013). Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles norma INV E – 218 – 13.

INVIAS. (2013). Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato micro-deval norma INV E – 238 – 13.

INVIAS. (2013). Determinación del valor del 10% de finos norma INV E – 224 – 13.

INVIAS. (2013). Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio norma INV E – 220 – 13.

INVIAS. (2013). Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras norma INV E – 230 – 13.

INVIAS. (2013). Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso norma INV E – 227 – 13.

INVIAS. (2013). Ensayo de Limite Líquido, limite plástico e índice de plasticidad norma INV-E125 y 126-13.

INVIAS. (2013). Equivalente de arena de suelos y agregados finos norma INV E – 133 – 13.

INVIAS. (2013). Valor de azul de metileno en agregados finos norma INV E – 235 – 13.

INVIAS. (2013). Densidad relativa y absorción del agregado fino norma INV E – 222 – 13.

INVIAS. (2013). Densidad relativa y absorción del agregado grueso norma INV E – 223 – 13.

INVIAS. (2013). Elaboración de briquetas con el diseño de mezcla asfáltica para una Base granular estabilizada con asfalto tipo MGA-A, con la adición de asfaltita INV E-748-05-13.

INVIAS. (2013). Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficialmente secos norma INV E – 733 – 13.

INVIAS. (2013). Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall norma INV E – 748 – 13.

INVIAS. (2013). Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta norma INV E – 725 – 13.