

**EVALUACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL DEL YACIMIENTO
VERDEYACO (SANTA ROSA – CAUCA) PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RED
VIAL TERCIARIA**



ING. FABIAN SEBASTIAN MORA ARCOS

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
POPAYÁN
2023**

**EVALUACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL DEL YACIMIENTO
VERDEYACO (SANTA ROSA – CAUCA) PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RED
VIAL TERCIARIA**



DIRECTOR: ING, PhD. FERNEY QUIÑONES SINISTERRA

PRESENTADO POR: ING. FABIAN SEBASTIAN MORA ARCOS

**PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER
EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

MODALIDAD DE PROFUNDIZACIÓN

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
POPAYÁN**

2023

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
MAESTRIA EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

FABIAN SEBASTIAN MORA ARCOS

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN
INGENIERÍA DE PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA.

Aprobado por:

Dr. Ferney Quiñones Sinisterra (UdC)
(DIRECTOR)

Ing. Andrea Carolina Paredes Ceron (UdC)
(JURADO INTERNO)

MSc. Jorge Luis Argoty Burbano
(JURADO EXTERNO)

FECHA: Popayán, 29 de junio del 2023

HOJA DE CATÁLOGO

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA



ASIGNACIÓN DE DERECHOS

NOMBRE DEL AUTOR: Sebastián Mora Arcos

TÍTULO: Evaluación de mezcla asfáltica natural del yacimiento Verdeyaco (santa rosa – cauca) para el mejoramiento de la red vial terciaria.

GRADO/AÑO: Magíster/2023

Se concede a la Universidad del Cauca el permiso para reproducir copias de este trabajo de grado de Maestría y para prestar o vender tales copias solamente para propósitos académicos y científicos. El autor se reserva otros derechos de publicación y ninguna copia de este trabajo puede ser reproducida sin la autorización por escrito del autor.

Sebastián mora arcos
CC.1061774344
Email: fabianmora@unicauca.edu.co



Dedicatoria:

Esta tesis está dedicada inicialmente a Dios que me dio la oportunidad y apoyo en todo este proceso, a mi Padre ya fallecido Roberto Fabian Mora, a mi madre que me ha acompañado en cada momento de mi vida Mariana Arcos, a mi hermana Juliana Marcela Charry Arcos que ha sido un pilar fundamental en mi vida y una persona que me motiva a salir adelante, y finalmente a mi novia que ha sido parte importante en este proceso Massiel Karime Cajas.

Así mismo a toda mi familia tanto paterna como materna que ha estado muy pendiente de todos mis procesos académicos y me han ayudado de alguna manera a poder lograr mis metas.



AGRADECIMIENTOS

Todo mi agradecimiento a mi director de Tesis el ingeniero Ferney Quiñones Sinisterra quien me ha orientado y ha puesto toda su disposición para lograr finalizar este proyecto de investigación junto a su equipo de trabajo del semillero de pavimentos. También, al grupo de laboratorio y a todo el personal técnico con el que se laboró, de igual manera a mis docentes y a los ingenieros que hicieron parte de esta formación académica.

Por otro lado, un agradecimiento muy especial al ingeniero Carlos Alberto Benavides P. quien en pregrado me inculcó la ingeniería de pavimentos y el interés en esta área tan amplia e importante para el desarrollo nacional.

Finalmente, el ser humano debe ser consciente que los logros siempre se obtienen con la suma de acciones y voluntad de diferentes personas, por lo cual, gracias a todo esto, hoy puedo estar presentando esta Tesis y optando al título de Magister en Pavimentos.
Gracias.



TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	19
Abstract.....	21
1.Introducción.....	23
2. Planteamiento del Problema	25
2.1 Descripción del Problema.....	25
2.2 Formulación del Problema	28
3. Antecedentes	29
4. Justificación.....	32
5. Objetivos	34
5.1 Objetivo General.....	34
5.2 Objetivos Específicos	34
6. Marco Teórico	35
6.1. Mezcla Asfáltica Natural	35
6.2. Crudo.....	35
6.3 Afirmado	36
6.4 Caracterización de los agregados de aporte.	36
6.4.1 Granulometría	37
6.4.2. Densidad Bulk.....	38



6.4.3. Gravedad especifica	38
6.4.4 Índice de aplanamiento y alargamiento.....	39
6.4.5 Partículas fracturadas	40
6.4.6 Resistencia a la degradación en máquina de los ángeles.	41
6.4.7 Gravedad especifica y absorción de agregados finos	41
6.4.8 Contenido de vacíos en agregados finos no compactados.....	42
6.4.9. 10% finos	43
6.4.10 Azul de metileno.....	43
6.4.11 Equivalente de arena	44
6.5 Caracterización del crudo	45
6.5.1. Grados API.....	45
6.5.2 Ensayo destilación simulada.....	46
6.5.3 Ensayo viscosímetro Brookfield.	47
6.6 Caracterización de la mezcla de asfalto natural.	48
6.6.1 Ensayo extracción agregados	48
6.6.2 Ensayo de recuperación del asfalto	49
6.6.3. Penetración	50
6.6.4. Ductilidad.....	51
6.6.5. Punto de ablandamiento	51
6.6.6. Viscosidad.....	52



6.6.7	Análisis SARA	52
6.6.8	Espectrografía infrarroja.....	53
6.7	Mezcla asfáltica natural adicionado con agregado de aporte	53
6.7.1.	Duriez.....	54
6.7.2.	Marshall modificado	54
6.7.3.	Ensayo de Cántabro	55
7.	Metodología	57
7.1	Revisión bibliográfica.....	57
7.2	Toma de Muestras.....	61
7.2.1.	Mezcla asfáltica Natural	61
7.2.2.	Crudo	62
7.3	Caracterización del material.	62
7.3.1	Mezcla Asfáltica Natural.....	62
7.3.2	Material de agregado de aporte	63
7.3.3	Crudo mediano.....	64
7.4	Mezcla asfáltica natural con adición de agregado de aporte	64
8.	Resultados y análisis.....	65
8.1	Análisis agregado de aporte:	65
8.1.1.	Granulometría	69
8.1.2	Gravedad específica y densidad	80



8.1.3. Resistencia a la degradación por medio de la máquina de los ángeles	82
8.1.4. Sanidad de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio y magnesio	82
8.1.5. Índice de plasticidad.....	83
8.1.6 Equivalente arena	83
8.1.7 Valor de azul de metileno.....	83
8.1.8 Partículas planas y alargadas, relación 5:1	83
8.1.9 Caras fracturadas.....	84
8.1.10 CBR	84
8.2. Caracterización del crudo	84
8.2.1. Destilación simulada	84
8.2.2 Grados API.....	86
8.3 Caracterización MAN y asfalto recuperado:	87
8.3.1. Extracción cuantitativa	89
8.3.2 Duriez.....	89
8.3.3 Ductilidad de los materiales	90
8.3.4 Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno	90
8.3.5 Punto de ablandamiento	90
8.3.6 Penetración de materiales bituminosos a 5°C	90
8.3.7 Penetración de materiales bituminosos a 25°C	91



8.3.8. Viscosidad absoluta A 60°C	91
8.3.9 Espectroscopia mezcla asfáltica natural	91
8.3.10 Ensayo SARA	97
8.3.11 Viscosidad del asfalto empleando viscosímetro rotacional	100
8.4 Mezcla asfáltica natural adicionado con agregado de aporte	104
8.4.1. Marshall modificado	104
8.4.2 Ensayo cántabro	108
8.5 Análisis con base en el artículo 442P del INVIAS.....	109
9. Conclusiones.....	112
10. Recomendaciones.....	116
11. Bibliografía	117
12. Anexos.	119
12.1 Análisis granulométrico.....	119
12.2 Análisis granulométrico.....	120
12.3 Densidad Bul (Peso unitario)	121
12.4 Gravedad específica grava	123
12.5 Equivalente de arena.....	124
12.6 Índice de aplanamiento y alargamiento	125
12.7 Partículas fracturadas.....	126
12.8 Resistencia a la degradación en máquina de los Ángeles.....	127



12.9 Gravedad y especifica agregados finos	128
12.10 Contenido de finos	129
12.11 10% de finos	130
12.12 Sanidad de los agregados	131
12.13 Azul de metileno	132
12.14 Extracción	133
12.15 Destilación de asfaltos líquidos.....	134
12.16 Densidad y densidad relativa de los materiales bituminosos.....	135
12.17 Viscosidad asfalto recuperado.....	136
12.18 Viscosidad crudo	137
12.19. Viscosidad asfalto 60-70.....	138
12.20 Ensayo cántabro	139
12.21 Gravedad especifica Bulk y densidad de mezclas asfáltica compactadas	140
12.22 Ensayo estabilidad y flujo por el método Marshall modificado.....	141
12.23 Ensayo de estabilidad y flujo	142
12.24 Peso especifico teórico máximo de MAN	143



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa del Sistema General de Regalías en la aprobación de proyectos año 2019	26
Ilustración 2. Distribución estadística de las regalías según regiones del País.....	26
Ilustración 3 Porcentaje de población rural e inversión de la Nación en vías terciarias	29
Ilustración 4 Política para la gestión de la red Terciaria	30
Ilustración 5 Valor inversión en mejoramiento por Kilometro con placas huellas	33
Ilustración 6 Ensayo de granulometría del agregado de aporte	38
Ilustración 7 Ensayo de gravedad especifica al agregado grueso	39
Ilustración 8 Ensayo de gravedad especifica al agregado grueso.	39
Ilustración 9 Realización del ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento.....	40
Ilustración 10 Realización del ensayo partículas fracturadas.....	41
Ilustración 11 Realización del ensayo de 10% finos	43
Ilustración 12 Resultados azul de metileno muestra 1	44
Ilustración 13 Montaje y proceso de dispersión de la muestra.....	44
Ilustración 14 Probetas de ensayo de equivalente de arena para agregado de aporte. 45	
Ilustración 15 Ensayo densidad y densidad relativa de materiales bituminosos	46
Ilustración 16 Montaje y proceso de destilación de asfalto líquido.....	47
Ilustración 17 Ensayo viscosímetro Brookfield	48
Ilustración 18 Ensayo de extracción realizada a la primera muestra.	49
Ilustración 19 Briquetas Marshall modificado	55
Ilustración 20 Ensayo Cántabro	56
Ilustración 21 Diagrama de flujo caracterización de los materiales.....	59



Ilustración 22 Diagrama de flujo del tipo de mezclas a analizar	60
Ilustración 23 Estado Natural mezclas asfálticas	61
Ilustración 24 Mezcla asfáltica natural homogeneizada	63
Ilustración 25 Granulometría agregado fino	70
Ilustración 26 Granulometría agregado fino y especificación afirmada	71
Ilustración 27 Granulometría fino y especificaciones MAN	73
Ilustración 28 Granulometría agregado de aporte grueso	74
Ilustración 29 Granulometría agregado grueso y especificación afirmado	75
Ilustración 30 Granulometría agregado grueso y especificaciones MAN	76
Ilustración 31 Nuevo material A-38 granulometría	79
Ilustración 32 Nuevo material A-25	79
Ilustración 33 Espectro realizado a una muestra convencional AC 60-70 por el método de reflectancia total atenuada	92
Ilustración 34 Espectro realizado al asfalto recuperado de MAN por el método de reflectancia total atenuada	92
Ilustración 35 Espectro realizado al crudo extraído de la mezcla asfáltica natural por el método de reflectancia total atenuada	93
Ilustración 36 Espectro realizado una muestra convencional AC 60-70 por el método convencional	94
Ilustración 37 Espectro realizado al asfalto recuperado de MAN por el método convencional	95
Ilustración 38 Espectro realizado a una muestra de crudo extraído de la mezcla asfáltica natural por el método convencional	95



Ilustración 39 Análisis químico ensayo SARA.....	98
Ilustración 40 Análisis químico ensayo SARA AC 60-70.....	98
Ilustración 41 Viscosidad del asfalto AC 60-70	100
Ilustración 42 Viscosidad del crudo mediano	101
Ilustración 43 Viscosidad del asfalto recuperado	101
Ilustración 44 Comparación viscosidades	102



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Ensayos para la caracterización agregados de aporte.....	37
Tabla 2 Ensayos para caracterización del asfalto recuperado	50
Tabla 3 Resultados agregado de aporte	66
Tabla 4 Resultados agregado de aporte y requisitos INVIAS	68
Tabla 5 Granulometría agregado fino.....	69
Tabla 6 Especificaciones de granulometría MAN.....	72
Tabla 7 Granulometría agregado de aporte grueso	74
Tabla 8 Porcentajes de mezcla utilizados para dosificación	77
Tabla 9 Dosificación granulometría.....	78
Tabla 10 Gravedad específica y absorción agregado grueso	80
Tabla 11 Gravedad especificación, densidad y absorción agregado fino.....	81
Tabla 12 Destilación simulada	84
Tabla 13 Características que deben cumplir los asfaltos líquidos de curado medio	85
Tabla 14 Densidad relativa, densidad, grados API - crudo mediano.....	86
Tabla 15 Resultados de ensayos realizados a MAN	87
Tabla 16 Resultados MAN y asfalto 60-70	88
Tabla 17 Granulometría material mineral.....	89
Tabla 18 Comparativa de T. de Mezclado y T. de Compactación	103
Tabla 19 Resumen de cálculos análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente.....	105
Tabla 20 Resultados Cántabro.....	108



Tabla 21 Criterios de dosificación para mezclas discontinuas tipo M 109

Tabla 22 Criterios del Art. 422P INVIAS y MAN adicionado con agregado de aporte 110



Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el potencial de las mezclas asfálticas naturales del yacimiento de Verdeyaco para el mejoramiento de vías terciarias en zonas rurales de difícil acceso. Para ello, se realizó un estudio detallado de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales pétreos disponibles en la zona de estudio, así como de las características de las mezclas asfálticas naturales obtenidos de fuentes locales. Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio donde sobresalen el ensayo de recuperación de asfalto, Marshall modificado, cántabro, espectroscopia infrarroja, entre otros, con el fin de determinar la composición, las propiedades y el desempeño de ésta. Por otro lado, se realizaron modificaciones en las proporciones del agregado y la mezcla asfáltica natural para obtener diferentes contenidos de asfalto en las mezclas asfálticas evaluadas.

Los resultados indicaron que la mezcla asfáltica natural presenta un buen comportamiento con el contenido óptimo teórico del asfalto de 5,5%, también se observó que el asfalto recuperado de la mezcla asfáltica natural posee un alto nivel de cohesión debido a sus niveles de resina del 39,96% y una resistencia al envejecimiento por sus componentes Saturados del 11,67% una vez analizadas sus componentes químicos. Por otro lado, con esta alternativa se aporta en la disminución de la huella ambiental al utilizar materiales naturales en lugar de materiales que requieren mayor procesamiento sintéticos y petroquímicos.



Una de las conclusiones principales del trabajo, hace referencia a que las mezclas asfálticas naturales son una alternativa viable y sostenible para el mejoramiento de vías terciarias en zonas rurales y de difícil acceso, ofreciendo una opción técnica y ambientalmente responsable para la construcción y mantenimiento de carreteras en estos sectores.



Abstract

The objective of this research is to evaluate the potential of natural asphalt mixtures from the Verdeyaco deposit for the improvement of tertiary roads in rural areas with difficult access. For this, a detailed study of the physical and mechanical properties of the stone materials available in the study area was carried out, as well as the characteristics of the natural asphalt mixtures obtained from local sources. Laboratory tests were carried out where the asphalt recovery test, modified Marshall, Cantabrian, infrared spectroscopy, among others, stand out in order to determine its composition, properties and performance. On the other hand, modifications were made in the proportions of the aggregate and the natural asphalt mix to obtain different asphalt contents in the evaluated asphalt mixes.

The results indicated that the natural asphalt mix presents a good behavior with the theoretical optimal asphalt content of 5.5%, it was also observed that the asphalt recovered from the natural asphalt mix has a high level of cohesion due to its resin levels from the asphalt. 39.96% and a resistance to aging due to its saturated components of 11.67% once its chemical components have been analyzed. On the other hand, this alternative contributes to reducing the environmental footprint by using natural materials instead of synthetic and petrochemical materials that require more processing.



One of the main conclusions of the work refers to the fact that natural asphalt mixes are a viable and sustainable alternative for the improvement of tertiary roads in rural and difficult-to-access areas, offering a technically and environmentally responsible option for the construction and maintenance of roads. in these sectors.



1.Introducción

En las últimas décadas, la demanda por infraestructura vial ha aumentado significativamente en Colombia, especialmente en zonas rurales y remotas. Sin embargo, estas redes viales suelen tener condiciones precarias debido a la falta de mantenimiento e inversión en este tipo de infraestructura (Villar, L., & Ramírez, J. M. (2014). Infraestructura regional y pobreza rural). Los departamentos del Sur del país son un ejemplo de esta situación, donde las redes viales terciarias presentan un alto grado de deterioro y poca inversión en mejoramientos.

La mezcla asfáltica es uno de los principales componentes en la construcción de carreteras, y su elección puede tener un gran impacto en la durabilidad y resistencia de la infraestructura vial. En Colombia, se utilizan principalmente mezclas asfálticas convencionales, como lo es el asfalto convencional Ecopetrol AC 60-70, para la pavimentación y/o mejoramiento de vías. Sin embargo, existen otros tipos, como las mezclas asfálticas naturales, como por ejemplo las que encontramos en la vereda Verdeyaco, ubicado en Santa Rosa del Cauca, la cual podría ser una alternativa para mejorar la red vial terciaria del sur del país

El presente proyecto busca contribuir al desarrollo de tecnologías sostenibles en la construcción de vías terciarias mediante el uso de recursos naturales locales. En particular, se evaluó el uso de mezclas asfálticas naturales del yacimiento Verdeyaco.



Con este trabajo se aporta en la búsqueda tecnologías sostenibles para la construcción de carreteras terciarias mediante el uso de recursos naturales locales, lo que no solo contribuirá a la conservación de éstos, sino que también podría tener un impacto significativo en la reducción de costos y en la mejora de la durabilidad y resistencia de las carreteras terciarias.



2. Planteamiento del Problema

2.1 Descripción del Problema

La infraestructura vial en Colombia ha sido un desafío constante debido a la falta de mantenimiento e inversión en zonas rurales y remotas. Los departamentos del sur del país son un ejemplo de esta situación, donde las redes viales terciarias presentan un alto grado de deterioro y poca inversión en mejoramientos. En Colombia, las mezclas asfálticas naturales son una alternativa menos costosa y más sostenible que las mezclas asfálticas convencionales, pero su uso sigue siendo limitado debido a la falta de información sobre su comportamiento y rendimiento. El objetivo de este trabajo es investigar las características y el comportamiento de las mezclas asfálticas naturales del yacimiento Verdeyaco, con el fin de explorar su posible utilización en proyectos de construcción de vías de bajo tránsito.

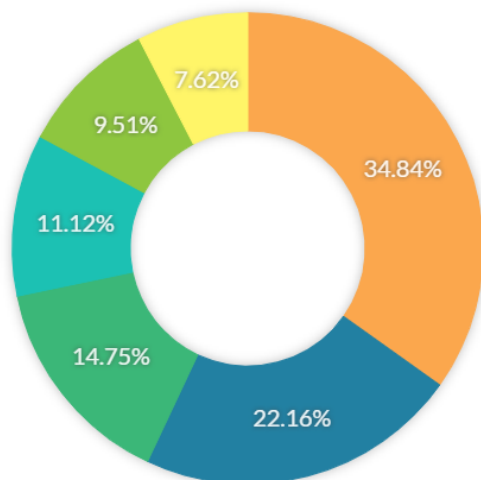
El presente proyecto pretende aportar en el estudio de alternativas económica y técnicamente viables para la construcción y mantenimiento de vías terciarias en Colombia. El gobierno ha implementado soluciones costosas para este problema, como el uso de Placa Huellas y alternativas poco durables como el mejoramiento rutinario con materiales pétreos. A esto se añade la limitación en el presupuesto por parte del gobierno para la región por el Sistema General de Regalías (SGR), aprobado a partir del 1 de enero del 2012 por el Decreto Ley transitorio 4923-2011.



Ilustración 1. Mapa del Sistema General de Regalías en la aprobación de proyectos año 2019

Fuente: SGR, Órganos Colegiados de Administración y Decisión (OCAD), DNP Colombia, <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones>

Presupuesto por fuente de financiación



Recursos aprobados y girados por región



Ilustración 2. Distribución estadística de las regalías según regiones del País.

Fuente: SGR, Órganos Colegiados de Administración y Decisión (OCAD), DNP Colombia, <https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle>



Con base en la Ilustración 1 y 2, se puede observar la distribución de recursos según las regiones para proyectos de construcción y consultorías, evidenciando las carencias de infraestructura en red vial terciaria y en estudios realizados para estas regiones que sean orientados a suelos y fuentes de materiales como opciones para construcción, estabilización y mejoramiento de carreteras en los ambientes tropicales y húmedos, como en los departamentos del sur del país, lo cual no permite el desarrollo multidimensional que favorezca la mejoría en la calidad de vida en esta región.

Por lo tanto, se ha propuesto el uso de mezclas asfálticas naturales como una posible solución a este problema, ya que son una mezcla bituminosa que puede contener grava o arena en proporciones variables, dependiendo del tipo de depósito. Sin embargo, los altos costos de transporte debido a la distancia entre las plantas de producción de asfalto en Colombia (Barrancabermeja, Apiay y Cartagena) y los departamentos del sur del país, hacen que las mezclas convencionales sean antieconómicas.

La región del sur de Colombia es una zona de alta humedad y abundantes recursos naturales, pero ha sufrido de poca inversión en proyectos de infraestructura e investigación, y limitaciones en el presupuesto para proyectos de construcción. En esta región se encuentra la mina Verdeyaco, una fuente natural de mezcla asfáltica, pero debido a estas restricciones económicas y el desconocimiento del material no se ha podido utilizar suficientemente esta fuente de material.



El proyecto se enfocará en analizar el material encontrado en la vereda Verdeyaco, y determinar su condición según la normatividad de la Resolución 10099 del 2017 mediante los respectivos ensayos de caracterización. La meta es encontrar una opción viable y eficiente para la construcción de vías terciarias con mezclas asfálticas naturales en la región del sur de Colombia.

2.2 Formulación del Problema

Las redes terciarias del departamento del Putumayo tienen condiciones precarias debido a su escaso mantenimiento y la falta de inversión en este tipo de infraestructura vial, es por eso que se busca brindar una solución factible, con bajo costo de inversión y mayor aporte de protección a la rasante.

¿Qué niveles de aceptación se obtiene según las normas INVIAS luego de obtener la caracterización física y química de la mezcla asfalto natural del yacimiento Verdeyaco Santa Rosa del Cauca, para la implementación de mejoramientos en carreteras terciarias en la región?

3. Antecedentes

Se debe conocer la situación actual que presenta el departamento del Putumayo como objetivo de estudio en relación a su red de vial de tercer nivel (Departamento Nacional de Planeación, 2016).

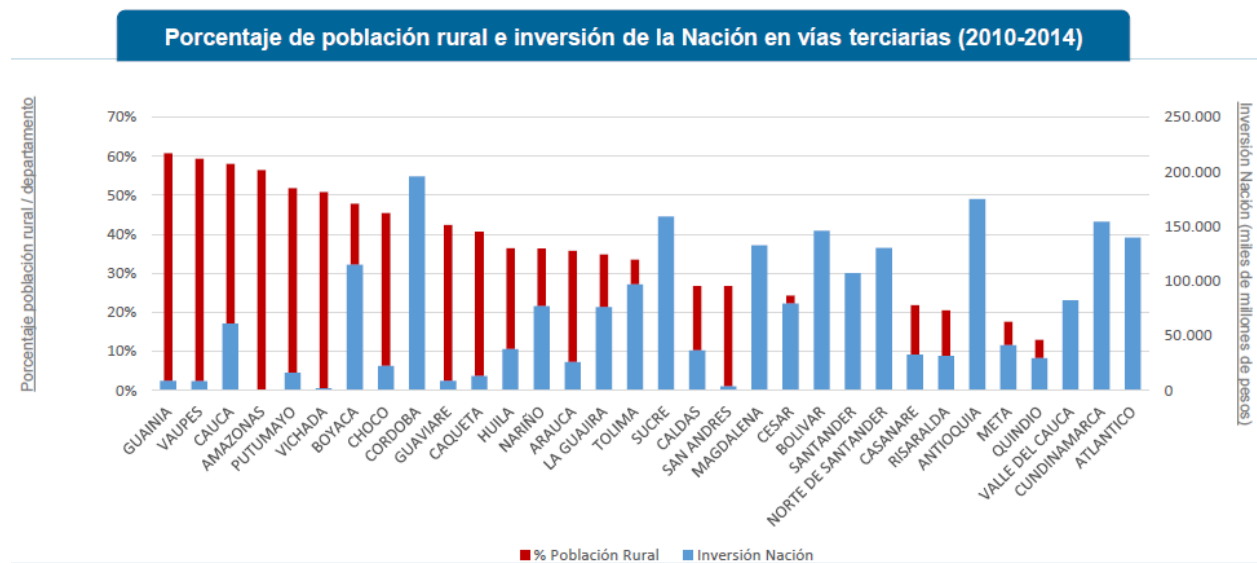


Ilustración 3 Porcentaje de población rural e inversión de la Nación en vías terciarias

Fuente: Porcentaje de población rural e inversión de la Nación en vías terciarias (2010-2014), 2021, DNP Colombia, <https://www.dnp.gov.co>

Como se puede observar en la ilustración 3 donde se encuentra el porcentaje de población rural e inversión de la Nación en vías terciarias, el departamento del Putumayo presenta deficiente inversión con respecto al porcentaje de población rural, esto se debe a los ineficientes sistemas de solución implementados por las entidades territoriales en este tipo de infraestructura el cual solo aplican mejoramiento con agregados pétreos crudos de río sin ningún tipo de tratamiento.

DNP diseñó una métrica del grado de desarrollo:

Criterio 1: Entorno de desarrollo

Entorno de Desarrollo	Municipios		km red terciaria	
	Número	%	Número	%
Robusto	68	6,2%	7.407	5,2%
Intermedio	712	64,7%	92.574	65,2%
Incipiente	320	29,1%	41.964	29,6%

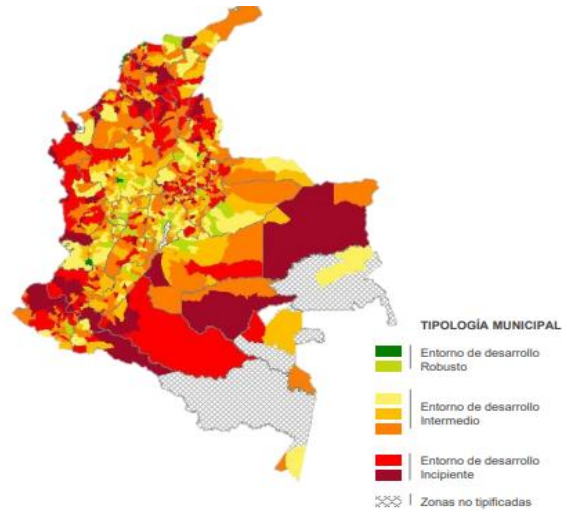


Ilustración 4 Política para la gestión de la red Terciaria

Fuente: Política para la gestión de la red Terciaria, 2021, DNP Colombia, <https://www.dnp.gov.co>

Con base en la ilustración 4 donde se encuentra la política para la gestión de la red terciaria en Colombia, se puede determinar que la tipología municipal es incipiente para el departamento del Putumayo, es por eso que se busca implementar una alternativa-solución que sea eficaz y eficiente para brindar una solución al mejoramiento de redes terciarias y así aumentar el nivel de vida de esta población vulnerable.

Las mezclas asfálticas naturales son similares a los convencionalmente empleados en pavimentación, debido a esto, los métodos de diseño y resultados son análogos a los materiales tradicionales.

La Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, ejecutó un estudio sobre Evaluación del comportamiento mecánico de asfalto natural a partir de muestras a temperatura ambiente provenientes de Caquetá, Colombia, donde el estudio analiza muestras de



asfalto en estado puro y con metodología de mezclado a temperatura ambiente, evidenciando mayor ductilidad en las probetas en estado húmedo que en estado seco. Las muestras falladas en estado seco manifiestan mayor resistencia que las muestras falladas en estado húmedo, teniendo diferencias de 3,50 Kg. (Ruíz & Reyes, 2016)

En el año 2012 la Universidad Militar Nueva Granada realizó un investigación sobre el análisis de las propiedades mecánicas del asfalto natural con la inclusión Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, para que garantice una calidad apropiada para su utilización en las diferentes vías del territorio nacional, siendo esta una alternativa viable para mejorar significativamente las propiedades del Asfalto Natural, (Bedoya, 2012).



4. Justificación.

Las alternativas de pavimentación que se están proponiendo y desarrollando actualmente para las zonas con las vías terciarias ubicadas en el sur del país, son económicamente ineficientes en una región con bajos índices de desarrollo.

El gobierno ha invertido en carreteras principales, opciones como vías 4G y para redes terciarias se han implementado alternativas como la Placa Huella, la cual presenta deficiencias en su conceptualización, puesto que no es económico y no da una solución factible al problema principal, que es mejorar más kilómetros con menos recursos. De hecho, se volvió un sistema tan costoso que casi iguala el precio por kilómetro de un pavimento rígido, afectando por completo el objetivo por el cual fue propuesto. *(Rivera, Y. B. (2023). Análisis Comparativo entre el Diseño de un Pavimento Placa-Huella y un Pavimento Rígido Tradicional para el Mejoramiento de un Tramo de Vía Terciaria en Colombia (Bachelor's thesis).*

En el presente proyecto se está planteando utilizar mezclas asfálticas naturales en zonas remotas y reducir los costos con respecto a los sistemas propuestos actualmente, lo que justificaría la realización de este trabajo y la utilización de estos materiales, convirtiéndose en claros ejemplos que pueden solucionar el problema planteado. Se pretende disminuir los costos de inversión, en vista de que en la actualidad se están inyectando recursos en rehabilitación de vías terciarias, y estos precios actualizados con



materiales acarreados desde otras regiones superan los 1.000 millones por kilómetro como se evidencia en el siguiente presupuesto, (Departamento Nacional de Planeación, 2016a).

Nombre del Proyecto		MEJORAMIENTO DE VÍAS Terciarias MEDIANTE EL USO DE PLACA HUELLA				
Código del Proyecto						
Objetivo General del Proyecto		Mejorar la intercomunicación terrestre de la población rural de la entidad territorial				
Causa directa (1)	Objetivo específico (1)	Producto	Unidad de medida	Actividad	Costo total (Incluye AIU)	
Vías en mal estado, intransitables o con restricciones de tránsito	Mejorar las vías en mal estado y habilitar transitabilidad	Vía mejorada con placa huella	km	Realizar obras preliminares	\$ 13.480.272,00	
				Construir la placa huella	\$ 734.238.439,00	
				Construir las obras de drenaje con cajas de recolección	\$ 39.123.175,00	
				Construir las obras de drenaje con la tubería	\$ 46.779.018,00	
				Desarrollar la interventoría del proyecto	\$ 51.761.710,00	
				Desarrollar la supervisión del proyecto	\$ 6.664.547,00	
		Costo Total Construcción				\$ 892.047.161,00
		Servicios de mantenimiento	Número	Reseñar juntas de la placa huella	\$ 1.070.000,00	
				Limpieza de obras de drenaje	\$ 1.070.000,00	
		Costo de mantenimiento anual				\$ 2.140.000,00
Causa directa (2)	Objetivo específico (2)	Producto	Unidad de medida	Actividad		
Deficiente mantenimiento	Mejorar el mantenimiento en vías terciarias	Plan de administración	Número	Planear y administrar las vías mejoradas	\$ 1.926.000,00	

Ilustración 5 Valor inversión en mejoramiento por Kilometro con placas huellas

Fuente: Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella, Departamento Nacional de Planeación - DNP Colombia, 2021, <https://proyectostipo.dnp.gov.co>

Por lo tanto, es importante realizar una caracterización y un posterior análisis de las condiciones químicas, físicas y mecánicas del material; este enfoque técnico nos proporciona una base sólida para justificar la extracción y utilización de mezclas asfálticas naturales, maximizando su potencial en la optimización de la infraestructura vial en estas regiones remotas. Por ende, constituye una oportunidad de mejorar las vías terciarias a un costo reducido, de manera que, con los presupuestos invertidos en mejoramiento utilizados en la actualidad como afirmados y proyectos de placa huella es posible optimizarlo con la implementación de mezclas asfálticas naturales; siendo esta una diferencia considerable en el alcance de proyectos medidos en kilómetros de vía proyectados.



5. Objetivos

A continuación, se presentan los objetivos que se cumplen con este trabajo.

5.1 Objetivo General

Evaluar la mezcla con asfalto natural de Verdeyaco (Cauca) para ser utilizada como alternativa en el mejoramiento de redes viales terciarias de la región.

5.2 Objetivos Específicos

- ✓ Recopilar información sobre los antecedentes del material.
- ✓ Caracterizar de la mezcla de asfalto natural de Verdeyaco.
- ✓ Evaluación de alternativas para el mejoramiento de redes terciarias con mezcla asfáltica natural de Verdeyaco



6. Marco Teórico

La investigación pretendió caracterizar y evaluar el comportamiento de la mezcla asfáltica natural del yacimiento Verdeyaco como alternativa para utilizarlo de opción para los afirmados, de tal manera fue necesario conocer los conceptos más relevantes en esta temática.

6.1. Mezcla Asfáltica Natural (MAN)

Una mezcla asfáltica natural se refiere a una combinación principalmente de materiales pétreos, como gravas y arenas, combinados con el asfalto natural presente en el depósito. Estos materiales se unen para formar una mezcla que proporciona las características necesarias para ser usado para el mejoramiento vial. (Piedrahita Tamayo, 2020)

6.2. Crudo

Se trata de un material aglomerante de hidrocarburos sólidos y líquidos, con una densidad inferior a la del agua que se extrae de formaciones geológicas subterráneas. Esta sustancia está compuesta principalmente de solventes de diferentes tipos entre los que se encuentran la gasolina, el kerosene, aceites livianos y pesados, etc. se utiliza principalmente como fuente de energía. El proceso de refinación del crudo produce diversos productos derivados del petróleo, como gasolina, diésel, combustible para aviones y productos petroquímicos utilizados en la fabricación de plásticos y otros



materiales. (Alvarez, A. E., Ovalles, E., Rodríguez, M. C., Rodríguez, A. F., Castillo, P. J., Rivas, J. C., ... & Rincón-Morantes, J. F. (2019).

Existen varios tipos de crudo, que se clasifican en función de su gravedad API y otras características. Algunos de los tipos de petróleo crudo más comunes son:

- ✓ *Crudo liviano o ligero*: presenta una gravedad API por encima de 31,1 (Pro, M, 2011).
- ✓ *Crudo medio o mediano*: su gravedad API oscila entre 15 y 31,1 (Equipo editorial Etece, 2018).
- ✓ *Crudo pesado*: tiene una gravedad API menor a 15 y es más denso y viscoso que otros tipos de petróleo crudo 1 (Equipo editorial Etece, 2018).

6.3 Afirmado

Se refiere a una capa de material granular compactado que se coloca sobre la superficie de una carretera para mejorar su resistencia y durabilidad. Esta capa está compuesta principalmente por piedra triturada, arena y otros agregados, y se compacta mediante rodillos para proporcionar una superficie estable y resistente al tránsito vehicular. Torres García, L., & Torres Torres, A. (2018)

6.4 Caracterización de los agregados de aporte.

Para determinar las propiedades de los agregados a utilizar en esta investigación se realizará una serie de ensayos que pretenden conocer las características de los agregados, como son la calidad de las partículas, durabilidad, formas, cantidad y calidad de finos, resistencia y demás.



Los ensayos realizados son los siguientes:

Tabla 1 Ensayos para la caracterización agregados de aporte

Tipo de ensayo	Norma aplicable
Desgaste de la máquina de los ángeles	INV E - 218-22
Densidad, Densidad Relativa (gravedad específica) y absorción del agregado	INV E - 222-22 INV E - 223-22
Sanidad de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato	INV E - 220-22
Análisis de equivalente de arena	INV E - 133-22
Índice de plasticidad	INV E - 126-22
Azul de metileno	INV E - 182-22
Proporción de partículas planas y alargadas en agregado grueso	INV E - 240-22
Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos	INV E - 213-22
Partículas fracturadas	INV E - 227-22
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados	INV E – 239 –22
Determinación del valor de 10% finos	INV E – 224- 22

Fuente: propia del autor

6.4.1 Granulometría

El ensayo de granulometría se utiliza para determinar la distribución de tamaños de las partículas en un agregado. Esta prueba proporciona información sobre las propiedades físicas del material granular, lo que es esencial para el diseño y la mezcla de pavimentos.

El procedimiento del ensayo implica tomar una muestra representativa del agregado y pasarla a través de una serie de tamices de malla con aberturas de tamaño graduado.

Los tamices se apilan en orden de tamaño, desde el tamiz con la abertura más grande en la parte superior hasta el tamiz con la abertura más pequeña en la parte inferior.

(INVE-213-13)



Ilustración 6 Ensayo de granulometría del agregado de aporte

Fuente: Propia del Autor

6.4.2. Densidad Bulk

El ensayo de densidad Bulk, también conocido como ensayo de densidad aparente o ensayo de densidad y masa, es una prueba utilizada para determinar la densidad de un material granular utilizado en la construcción de pavimentos.

Este ensayo se realiza en el laboratorio y se utiliza comúnmente en la caracterización de agregados gruesos, como la grava y la piedra triturada. El objetivo principal es determinar la masa por unidad de volumen de los agregados, lo que proporciona información sobre su compacidad y capacidad de soporte de carga. INV E - 217 – 13.

6.4.3. Gravedad específica

Este ensayo es una medida de la densidad del material en relación con la densidad del agua, obteniendo así la relación entre el peso del material y el peso de un volumen igual de agua. Se realiza el procedimiento indicado en la norma INV E 223 – 13. Obtener la gravedad específica es de suma importancia para esta investigación pues conocerla

ayuda a determinar la calidad del agregado, evaluar su uniformidad y realizar el diseño de mezcla.



Ilustración 7 Ensayo de gravedad específica al agregado grueso

Fuente: Propia del Autor



Ilustración 8 Ensayo de gravedad específica al agregado grueso.

Fuente: Propia del Autor

6.4.4 Índice de aplanamiento y alargamiento

El ensayo de Índice de Aplanamiento y Alargamiento es una prueba utilizada para evaluar la forma y la angularidad de los agregados gruesos utilizados en la construcción de pavimentos. Este ensayo proporciona información sobre la textura y la distribución de

los tamaños de las partículas, lo que es esencial para el diseño de mezclas de pavimentos y la evaluación de la calidad del material.

En este ensayo se mide la relación entre el diámetro mayor, el diámetro intermedio y el diámetro menor de los granos del agregado, y se utiliza esta relación para calcular el índice de aplanamiento y el índice de alargamiento siguiendo la norma INV E - 240.



Ilustración 9 Realización del ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento.

Fuente: Propia del Autor

6.4.5 Partículas fracturadas

El ensayo de partículas fracturadas es una prueba utilizada en la ingeniería de pavimentos para evaluar la resistencia a la fractura de los agregados. Proporciona información crucial sobre la calidad y la durabilidad de los materiales utilizados en las capas de base y subbase de los pavimentos, lo que contribuye a la resistencia y el rendimiento a largo plazo de las estructuras pavimentadas.

Para su realización se hace el procedimiento estipulado en la norma INV E - 227 – 13.



Ilustración 10 Realización del ensayo partículas fracturadas

Fuente: Propia del Autor

6.4.6 Resistencia a la degradación en máquina de los ángeles.

Esta es una prueba utilizada para evaluar la resistencia del agregado grueso a la abrasión y el desgaste. Este ensayo es importante porque el agregado grueso se utiliza en la construcción del pavimento, y su resistencia a la abrasión es un factor crítico para garantizar la durabilidad y la vida útil de este tipo de estructura. Para su realización se hace el procedimiento estipulado en la norma INV E - 218 – 13.

6.4.7 Gravedad específica y absorción de agregados finos

El ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos es una prueba utilizada para evaluar las propiedades físicas de los agregados finos, como la arena, que se utilizan en la construcción de pavimentos. Esta prueba proporciona información importante sobre la densidad, la porosidad y la capacidad de retención de agua de éstos.

(Toro, J.C.;Canas, A. .1983)



Estos ensayos son fundamentales en el diseño y la mezcla de materiales para pavimentos, ya que permiten seleccionar los agregados finos adecuados que cumplan con los requisitos de densidad, resistencia y durabilidad. Además, también se utilizan en la evaluación de la calidad de los agregados y en la predicción del comportamiento del pavimento en relación con la retención de agua y la resistencia a los cambios de temperatura y humedad.

Dicho lo anterior, es importante seguir el procedimiento indicado en la norma INV E - 222 – 13.

6.4.8 Contenido de vacíos en agregados finos no compactados

El ensayo de contenido de vacíos en agregados finos no compactados es una prueba utilizada para determinar la cantidad de espacio vacío presente entre las partículas de los agregados finos antes de ser compactados. Este ensayo proporciona información importante sobre la compacidad y la capacidad de resistir la deformación de los agregados finos utilizados en la construcción de pavimentos.

El contenido de vacíos en agregados finos no compactados se realiza en el laboratorio y sigue el procedimiento indicado en la Norma INV E - 239 – 13, el cual indica que se debe tomar una muestra del agregado fino no compactada, se mide su masa y posteriormente en un recipiente de medición graduado con agua, se sumerge la muestra de agregado en el agua, permitiendo que se asiente en el recipiente, y así la diferencia entre el volumen de agua antes y después de la inmersión de la muestra del agregado se utiliza para cálculos el porcentaje de vacío en la muestra.

6.4.9. 10% finos

El ensayo de 10% finos es una prueba utilizada para evaluar la cantidad de partículas finas o materiales que pasan por el tamiz de 200 mallas (abertura de 0,075 mm) en una muestra de agregado grueso.

El límite del 10% finos se utiliza como un criterio de aceptación en especificaciones de pavimentos. Si el porcentaje de partículas finas supera el 10%, se considera que el agregado grueso es inaceptable para su uso debido a la posible influencia negativa en la calidad del pavimento.

Para esto se realizó el ensayo siguiendo lo estipulado en la norma INV E - 224 – 13.



Ilustración 11 Realización del ensayo de 10% finos

Fuente: Propia del Autor

6.4.10 Azul de metileno

Este ensayo es utilizado para identificar la presencia de materia orgánica dañina, pues ésta puede producir ácidos que pueden corroer el asfalto y causar la degradación de la mezcla asfáltica natural, por lo cual esta prueba es de suma importancia, por lo cual se sigue los lineamientos indicados en la norma INV E - 235 – 13.

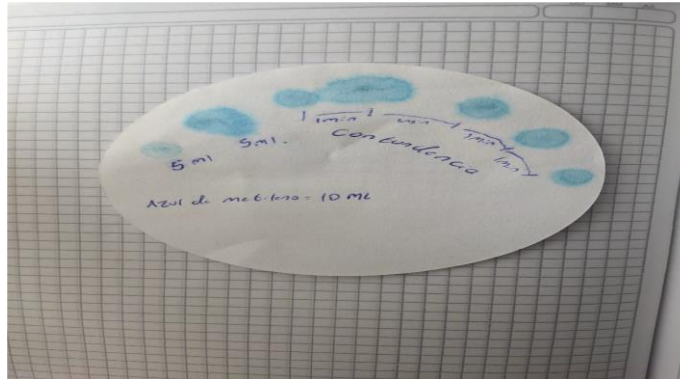


Ilustración 12 Resultados azul de metileno muestra 1

Fuente: Propia del Autor

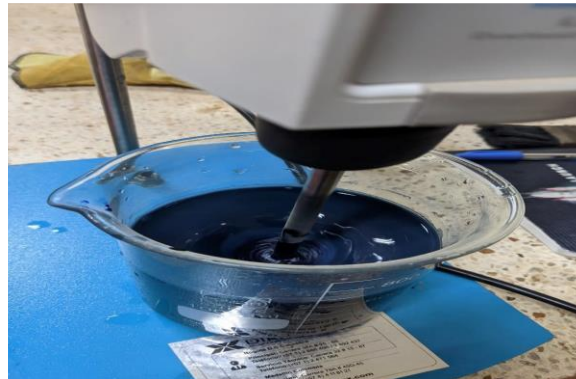


Ilustración 13 Montaje y proceso de dispersión de la muestra

Fuente: Propia del Autor

6.4.11 Equivalente de arena

El ensayo de equivalente de arena es una prueba utilizada en la industria de pavimentos para evaluar la calidad de los agregados finos, como la arena, que se utilizan en la construcción de mezclas asfálticas y concretos.

Este ensayo se basa en la comparación visual de la cantidad de partículas finas y contaminantes presentes en una muestra de agregado fino en relación con una muestra

de arena de referencia. El objetivo principal es determinar la cantidad de partículas nocivas y contaminantes en el agregado fino, ya que estas pueden afectar negativamente la calidad y el rendimiento de los materiales de pavimentación.

Para este ensayo se sigue el procedimiento de la Norma INV 133-17.



Ilustración 14 Probetas de ensayo de equivalente de arena para agregado de aporte.

Fuente: Propia del Autor

6.5 Caracterización del crudo

La caracterización del crudo proporciona información crucial sobre sus propiedades físicas y químicas, como la viscosidad, el contenido de asfáltenos y la temperatura de fluidez, entre otros. Estos datos permiten determinar la calidad y comportamiento del crudo mediano como aglutinante en la mezcla asfáltica, lo que a su vez influye en la resistencia, durabilidad y capacidad de carga del pavimento.

6.5.1. Grados API

Densidad de grados API consiste en una unidad de densidad adoptada por el Instituto Americano del Petróleo (API) desde años parás. Según la escala API, cuanto más alto

el índice, menos la densidad del crudo. La mayoría de los crudos se encuentran entre los 27 y 40 grados API; crudos con valores inferiores a 15 grados API se consideran pesados y aquellos por sobre los 31 grados API, livianos. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS, 2022)



Ilustración 15 Ensayo densidad y densidad relativa de materiales bituminosos

Fuente: Propia del Autor

6.5.2 Ensayo destilación simulada.

Este ensayo es de suma importancia debido a que permite determinar la composición de los diferentes componentes del asfalto líquido lo cual permite conocer la calidad y la cantidad de asfalto para realizar la mezcla asfáltica, para esta prueba se sigue el procedimiento indicado en la norma INV E – 723-13.



Ilustración 16 Montaje y proceso de destilación de asfalto líquido.

Fuente: Propia del Autor

6.5.3 Ensayo viscosímetro Brookfield.

El ensayo de viscosímetro Brookfield es una técnica utilizada para medir la viscosidad de líquidos. Se realiza en un dispositivo llamado viscosímetro Brookfield, que mide la fuerza necesaria para girar un cilindro a una velocidad de rotación seleccionada. La viscosidad del líquido se calcula en función de la cantidad de fuerza necesaria. Este ensayo es útil para medir la consistencia y la fluidez de los líquidos y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones industriales, como la producción de alimentos, productos farmacéuticos, pinturas y recubrimientos, entre otros. Aguilar, M., Arrocha, F., Yángüez, J., Rodríguez, L., & Solís, M. (2019).

En esta investigación se sigue los lineamientos indicados en la norma INV E-717-13 para un correcto procedimiento y obtener los resultados de una manera óptima.



Ilustración 17 Ensayo viscosímetro Brookfield

Fuente: Propia del Autor

6.6 Caracterización de la mezcla de asfalto natural.

En primer lugar, se realiza dos ensayos a la mezcla asfáltica natural, los cuales son el ensayo de extracción cuantitativa, el cual tiene como objetivo de evaluar la composición del asfalto y obtener información sobre su contenido de betunes, aceites, resinas y otros compuestos solubles, y, por otro lado, el ensayo de recuperación el cual tiene como objetivo determinar la cantidad y calidad del asfalto que puede ser recuperado.

6.6.1 Ensayo extracción agregados

Continuando con la caracterización de la mezcla asfáltica natural, se va a conocer el contenido de asfalto en la mezcla por medio del ensayo Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos, norma INVIAS, INV E-732-22. Este ensayo consiste en extraer el asfalto de las mezclas asfálticas por medio de un solvente, utilizando una centrífuga a 3.000 revoluciones por minuto. El contenido de asfalto se calcula por diferencia de peso del agregado extraído, del contenido de humedad y del

material mineral en el extracto. El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en peso de la mezcla libre de humedad. El porcentaje de asfalto deberá tener una tolerancia del 1% respecto del óptimo establecido en la fórmula de trabajo. (INVIAS, 2022b) Ya obtenido los agregados pétreos se realizará los ensayos numerados Tabla 3. Caracterización agregados para conocer sus propiedades físicas



Ilustración 18 Ensayo de extracción realizada a la primera muestra.

Fuente: Propia del Autor

6.6.2 Ensayo de recuperación del asfalto

Ensayo de recuperación del asfalto se realizará mediante el método de ABSON para la recuperación del ligante de mezclas asfálticas I.N.V. E – 783 – 22, este proceso se hace para recuperar el asfalto una vez se haya llevado a cabo la extracción del mismo, y este no pierda sus propiedades. Durante el proceso de extracción, es importante que todo el



asfalto de la mezcla sea extraído, ya que puede haber alguna solvencia selectiva del asfalto, y los componentes duros más viscosos del asfalto pueden quedar en la mezcla si la extracción no se desarrolla completamente. (Agnusdei, J., Frezzini, P. O., & Comai, Á. A. (1971). Envejecimiento de asfaltos durante el mezclado. In Anales LEMIT.)

El solvente para extraer el asfalto de la mezcla puede ser un reactivo grado Tricloroetileno. Otros solventes pueden afectar y cambiar las propiedades del asfalto presente en la mezcla de forma significativa

Ya con el asfalto recuperado se procederá a realizar los siguientes ensayos para determinar sus propiedades físicas, a continuación, se presenta la tabla No.2 llamada ensayos para caracterización del asfalto recuperado, la cual resume los ensayos realizados para la caracterización del asfalto recuperado:

Tabla 2 Ensayos para caracterización del asfalto recuperado

Tipo de ensayo	Norma aplicable
Penetración	INV E - 232-22
Ductilidad	INV E - 220-22
Punto de ablandamiento	INV E - 133-22
Viscosidad	INV E - 126-22
SARA	ASTM D4124-01
UAI ALIM IR Y ATR	----

Fuente propia del autor.

6.6.3. Penetración

La penetración se define como la distancia expresada en décimas de milímetro hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Usualmente, el ensayo se realiza a 25° C (77° F) durante



un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS, 2022) INV- E 706

6.6.4. Ductilidad

El procedimiento consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la distancia máxima en cm que se estira la probeta hasta el instante de la rotura. Normalmente, el ensayo se realiza con una velocidad de tracción de 50 ± 2.5 mm por minuto y la temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 1.0^{\circ}\text{F}$); aunque se puede realizar en otras condiciones de temperatura, debiendo concretarse en este caso la velocidad correspondiente.(INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS, 2022). INV E - 702

6.6.5. Punto de ablandamiento

Los productos bituminosos son materiales viscoelásticos que no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que gradualmente se tornan más blandos y menos viscosos cuando la temperatura se eleva. Por esta razón, el punto de ablandamiento se debe determinar por medio de un método arbitrario fijo, pero definido que produzca resultados reproducibles y comparables. Esta propiedad es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio. También,



puede servir para establecer la uniformidad de los embarques o fuentes de abastecimiento.(INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS, 2022). INV E 712

6.6.6. Viscosidad

Se denomina coeficiente de viscosidad a la relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la deformación por corte obtenida; es una medida de la resistencia del líquido a fluir y comúnmente se llama viscosidad. En el sistema internacional (SI), la unidad de viscosidad es el Pascal por segundo ($\text{Pa} \cdot \text{s}$); en el sistema CGS, la unidad de viscosidad es el Poise ($\text{Dina} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$) y equivale a 0.01 Pa. Frecuentemente se usa como unidad de viscosidad el Centipoise que equivale a un miliPascal por segundo ($\text{mPa} \cdot \text{s}$). La medida de viscosidad a altas temperaturas ha sido usada para determinar la manejabilidad y facilidad de bombeo en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas de temperatura contra viscosidad, los cuales se emplean para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño y construcción de mezclas asfálticas en caliente.(INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS, 2022). INV E 715)

6.6.7 Análisis SARA

El ensayo de Saturates, Aromatics, Resins, and Asphaltenes (SARA) es una técnica analítica utilizada para separar los componentes de petróleo crudo u otros productos derivados del petróleo en cuatro fracciones principales: saturados, aromáticos, resinas y asfáltenos. La separación se logra a través de una combinación de extracción y



cromatografía de adsorción, y cada fracción se caracteriza por sus propiedades químicas y físicas únicas. Lizcano, F. A. R. (2007). Mezclas asfálticas modificadas)

6.6.8 Espectrografía infrarroja (UAI ALIM IR Y ATR)

La espectroscopía infrarroja es una técnica analítica utilizada para estudiar la composición química de materiales a través de la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas, ésta se basa en el principio de que las moléculas absorben radiación infrarroja en diferentes frecuencias, lo que genera un espectro único para cada sustancia. Gamarra, A., & Ossa, E. A. (2014). Efecto de la foto-degradación en la microestructura y composición química del asfalto

En el caso de pavimentos, la espectroscopía infrarroja se utiliza principalmente para analizar el asfalto proporcionando información sobre su estructura molecular y propiedades, lo cual es fundamental para comprender las propiedades físicas, reológicas y de envejecimiento del asfalto, lo que a su vez influye en el comportamiento y rendimiento del pavimento.

6.7 Mezcla asfáltica natural adicionado con agregado de aporte

En esta investigación se realizó una mezcla de mezcla asfáltica natural adicionado con el material agregado de aporte, buscando una proporción que cumpla con las características de funcionamiento que se encuentran en el Artículo 442P – 17 del INVIAS, para lo cual, se llevaron a cabo una serie de ensayos que se presentan a continuación:



6.7.1. Duriez

Este ensayo evalúa la sensibilidad al agua de la mezcla asfáltica teniendo en cuenta la pérdida de la resistencia. Los valores resultantes, tanto de los cuerpos de prueba condicionados a seco como los condicionados en el agua, deben ser comparados y verificados según la norma referente a su clasificación. (INVIAS, 2022b) Divas Hidalgo, E. A. (2018)

6.7.2. Marshall modificado

La metodología de diseño Marshall tiene como finalidad fundamental encontrar la combinación adecuada de agregados minerales y cemento asfáltico, que permite brindarle a la mezcla asfáltica resultante una serie de características físicas y de resistencia que se establecen tanto en los requisitos contractuales de calidad, como en el diseño de la mezcla asfáltica. Tanto de la metodología Marshall como de características volumétricas, a saber: contenido de vacíos de la mezcla, estabilidad, flujo, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA), correspondientes de la metodología Marshall y el parámetro volumétrico de la relación polvo/asfalto. Por otra parte, estas mismas disposiciones indican que la Administración deberá aprobar el Diseño de Mezcla presentado por el Contratista, previo al inicio de la producción de mezcla asfáltica bajo este diseño; sin embargo, esta aprobación no contempla un análisis específico de los parámetros del diseño que permita establecer alguna posible particularidad del mismo, tal como la restricción del rango de contenido de asfalto indicado, que se define en la metodología Marshall como el óptimo $\pm 0,5\%$.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos mayores de 38 mm (1.5"), y está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. En vista de que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.



Ilustración 19 Briquetas Marshall modificado

Fuente: propia del autor

6.7.3. Ensayo de Cántabro

El ensayo de Cántabro es una técnica utilizada para evaluar la resistencia al desgaste de los materiales asfálticos, especialmente los utilizados en la construcción de carreteras y pavimentos. El ensayo involucra el sometimiento de una muestra de material asfáltico a ciclos de enfriamiento y calentamiento, y luego, la medición de su resistencia a la rotura. Este ensayo se utiliza ampliamente en la industria de la construcción para evaluar la

calidad y la durabilidad de los materiales asfálticos utilizados en la construcción de carreteras y otras superficies de rodadura.

El procedimiento del ensayo de Cántabro implica la toma de una muestra de material asfáltico, la fabricación de dos probetas cilíndricas, la desgasificación, el enfriamiento, los ciclos de temperatura y la medición de la pérdida de masa de cada probeta. Después de obtener la pérdida de masa, se calcula el promedio de ambos resultados para determinar la resistencia al desgaste del material asfáltico. La técnica se utiliza para evaluar la calidad y la durabilidad de los materiales asfálticos utilizados en la construcción de carreteras y pavimentos. Es importante tener en cuenta que el procedimiento puede tener variaciones dependiendo de las normativas y protocolos establecidos. Rondón Quintana, H. A., Ruge Cárdenas, J. C., & Moreno Anselmi, L. Á. (2016)



Ilustración 20 Ensayo Cántabro

Fuente: propia del autor

Las especificaciones técnicas requeridas para la evaluación de las alternativas propuestas están dadas en la norma del Instituto Nacional de Vías para una mezcla



densa en frío con asfalto natural (ART 422-22 INVIAS), base estabiliza con mezcla asfáltica natural (ART 341 – 22 INVIAS), subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural (ART 321 -22 INVIAS) y afirmado (ART 311 – 13 INVIAS).

7. Metodología

El desarrollo de este estudio está determinado por un conjunto de fases que permitirán entender de forma plena las labores a realizar durante el proceso de desarrollo en el trabajo.

7.1 Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica es una parte importante de la metodología de la investigación. Esto implicó buscar y analizar información relevante sobre mezclas asfálticas naturales, crudos medianos utilizados para mejoramiento de carreteras terciarias y normas, esto con el fin de entender mejor los conceptos claves.

En primer lugar, fue necesario identificar fuentes confiables que contengan información pertinente al respecto; esto incluye revistas académicas relacionadas con ingeniería civil y química petrolera, libros publicados por expertos y artículos escritos por investigadores que trabajan con materiales similares a los discutido en este trabajo.

Una vez localizado el material deseado, se examinó detalladamente en búsqueda de obtener conocimientos útiles para su utilización posteriormente.

A continuación, se presentan los esquemas generales del paso a paso para el desarrollo de la investigación, esto posterior a la revisión bibliográfica, cabe destacar, que el

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
PROYECTO DE GRADO



contenido en los diagramas fue realizado teniendo en cuenta las normas vigentes del Instituto Nacional de Vías.

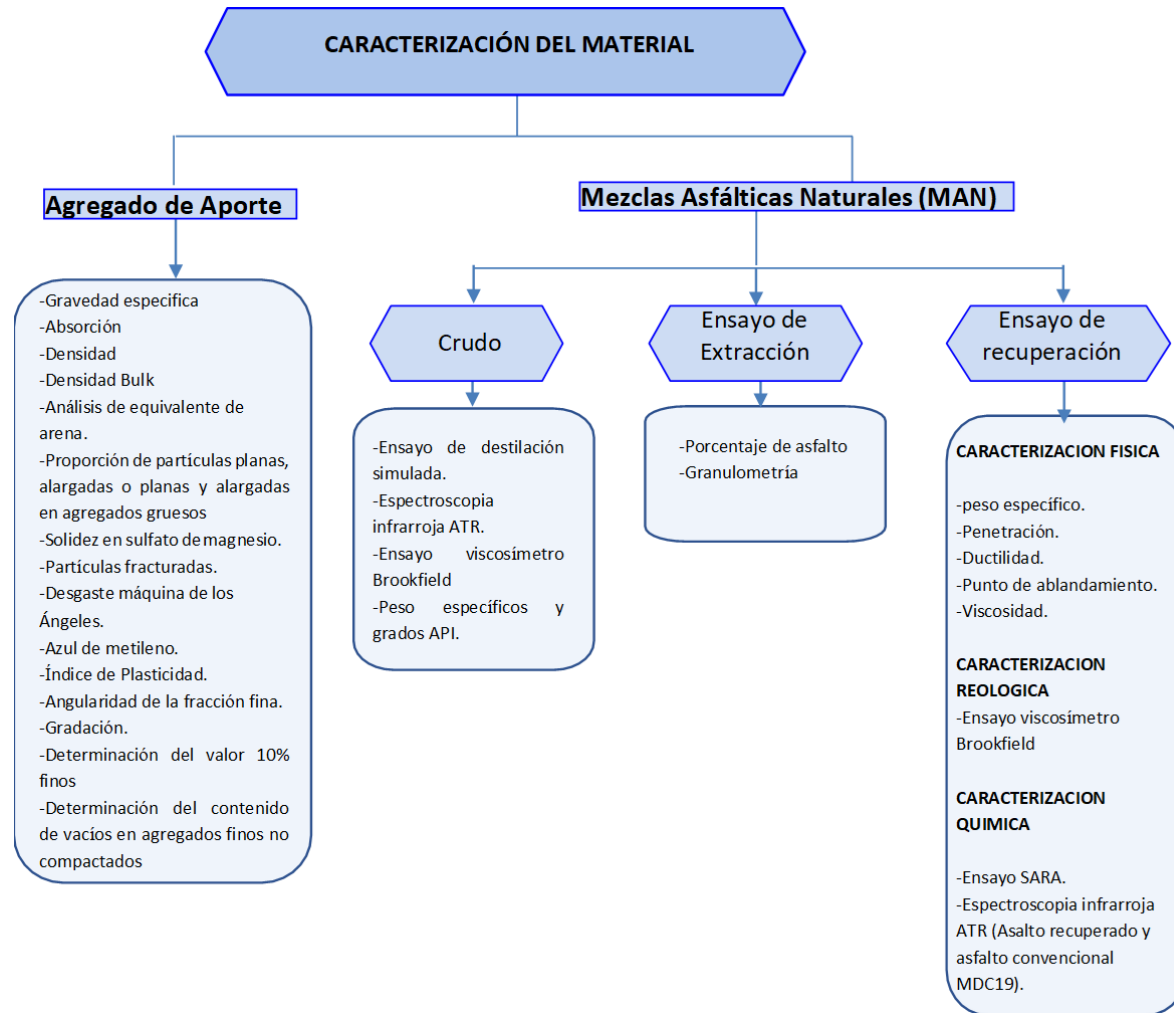


Ilustración 21 Diagrama de flujo caracterización de los materiales

Fuente propia del autor

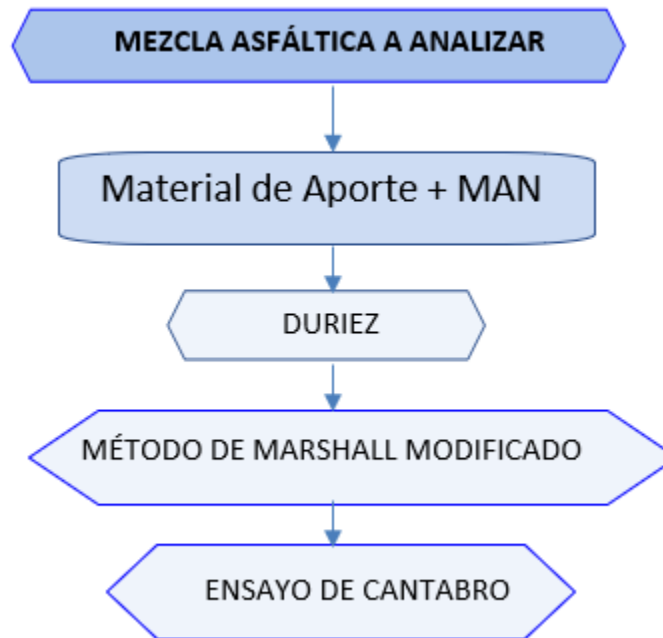


Ilustración 22 Diagrama de flujo del tipo de mezclas a analizar

Fuente propia del autor

Los diagramas anteriormente presentados, son de mucha importancia debido a que aportan un orden cronológico y lógico de los ensayos a realizar y resalta la importancia que posee cada uno de ellos para la investigación.

7.2 Toma de Muestras

Se realizó de manera correcta y cuidadosa la toma de muestras de las mezclas asfálticas naturales y de los agregados pétreos utilizados en la investigación.

7.2.1. Mezcla asfáltica Natural

Se muestreó el material tratando de evitar contaminantes que puedan afectar en el proceso de evaluación química, se evitaron también los sobre tamaños. El muestreo se tuvo que hacer en lo posible en zonas que visualmente tuvieran porcentajes de asfalto y características relativamente homogéneos.



Ilustración 23 Estado Natural mezclas asfálticas

Fuente: Propia del Autor

En la ilustración 23, donde se encuentra el estado natural de las mezclas asfálticas naturales, se puede observar el estado natural de la mezcla asfáltica con los agregados



pétreos y materiales orgánicos, obteniendo las muestras requeridas para los estudios a ejecutar y así poder concluir de una manera consistente.

7.2.2. Crudo

La extracción de este recurso natural requirió realizar perforaciones de gran profundidad cuidadosamente para evitar que se contaminará con elementos fósiles, y así no comprometer su integridad estructural, ni contaminar aguas subterráneas circundantes. El muestreo se tuvo que hacer en lo posible en tramos de porcentaje de asfalto relativamente homogéneos en el mismo sitio donde se realizaron las extracciones de la mezcla asfáltica natural, es decir, la vereda Verdeyaco.

7.3 Caracterización del material.

Se realizó un conjunto de ensayos y análisis para determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales que se utilizarán en la mezcla asfáltica natural en el laboratorio de suelos y laboratorio de materiales de la Universidad del Cauca.

Los materiales que se caracterizan incluyen agregados pétreos (como la grava y la arena) y la mezcla asfáltica natural. La caracterización de estos materiales es esencial para entender cómo se comportarán en la mezcla y cómo podrían afectar el rendimiento y la durabilidad del afirmado estabilizado con mezcla asfáltica natural.

7.3.1 Mezcla Asfáltica Natural

La investigación utilizó mezcla asfáltica natural extraído de una cantera ubicada en el yacimiento de Verdeyaco en el municipio de Santa rosa – Cauca, una vez realizada la

toma de muestras se procedió a hacer la homogenización del material, extrayendo la materia orgánica, para así tener un asfalto natural lo menos contaminado posible.



Ilustración 24 Mezcla asfáltica natural homogeneizada

Fuente: Propia del Autor

7.3.2 Material de agregado de aporte

El material de aporte para la realización de un afirmado debe cumplir con ciertas especificaciones técnicas que aseguren su resistencia y durabilidad, así como su capacidad para soportar el tránsito vehicular. Es importante que el material seleccionado cumpla con los requisitos de tamaño de partícula, densidad, resistencia al desgaste de acuerdo con lo establecido en las normas técnicas INVIAS Artículo 311 – 22, por lo cual se realizó la extracción del agregado fino del río Mocoa y agregado grueso de la cantera, cerca de la ubicación donde fue extraído la mezcla asfáltica natural, debido a que este material es de común utilización en la zona.



7.3.3 Crudo mediano

El crudo mediano fue extraído del mismo yacimiento y zona de donde se obtuvo la mezcla asfáltica natural, esto con el fin de realizarle la respectiva caracterización, en aspectos como; cantidad y tipos de solventes que tiene, viscosidad, peso específico, entre otros.

7.4 Mezcla asfáltica natural con adición de agregado de aporte

Se realizó una mezcla del material de agregado de aporte de común utilización en la zona, con la mezcla asfáltica natural buscando una proporción que cumpla con las características necesarias para un afirmado en la Norma INV E – 311 y el artículo de asfalto natural INVIAS 442-P, para lo anterior, se determinó después de haberle realizado los respectivos ensayos de caracterización al material de aporte y de la mezcla asfáltica natural, se utilizó el método de DURIEZ, con el cual se hizo la determinación del porcentaje de asfalto teórico por superficie específica, luego se realizó la determinación de la dosificación utilizando el método de Marshall Modificado donde se evalúa las características, con diferentes porcentajes de asfalto final en la mezcla, para posteriormente, realizar el ensayo de Cántabro donde se determina la afinidad que hay entre el agregado y el ligante asfáltico.



8. Resultados y análisis.

A continuación, se presenta el análisis de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales utilizados en las mezclas asfálticas, incluyendo los agregados de aporte, la mezcla asfáltica natural y el crudo mediano. También se presenta los resultados de los ensayos realizados siguiendo la norma INVIAS con el objetivo de evaluar los resultados y determinar si se cumple con los criterios establecidos para cada ensayo.

8.1 Análisis agregado de aporte:

Se realizaron los ensayos correspondientes a la caracterización del agregado de aporte el cual, cabe destacar es el material utilizado en la vereda Verdeyaco y en la zona, por las comunidades para mejoramiento de sus vías. A continuación, se presenta los resultados de dichos ensayos.



Tabla 3 Resultados agregado de aporte

CARACTERISTICA		NORMA DE ENSAYO INV	AGREGADO DE APORTE
Dureza, agregado grueso (O)			
Resistencia a la degradación por medio de la máquina de los ángeles (%)	100 revoluciones	INV E -218-13	8.3
	500 revoluciones		27.4
Durabilidad			
Sanidad de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio y magnesio (%)	Fracción fina	INV E -220-13	1.1
	Fracción gruesa		1.4
Limpieza, gradación combinada (F)			
Índice de plasticidad (%)		E-125	NP
		E-126	NP
Limite líquido (%)		E-125	-
Equivalente de arena (%)		INV E -133-13	95
Azul de metileno (mg/g)		INV E -235-13	0.5
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)			
Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos (%)		INV-240-13	0.8
Partículas fracturas (%)	Una cara	INV E - 227-13	100
	Dos caras		100
Geometría de las partículas, agregado fino (F)			
Determinación del valor 10% finos (kN)		INV E - 224 - 13	219
Capacidad de soporte (F)			

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
 PROYECTO DE GRADO



CBR Agregado a estabilizar (%) porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de Inmersión		E-148	28.8
Densidad y gravedad específica			
Gravedad específica	Fracción fina	INV E 222-13	2.59
	Fracción gruesa	INV E 223-13	2.545
Absorción (%)	Fracción fina	INV E 222-13	2.02
	Fracción gruesa	INV E 223-13	2.6
Densidad (kg/m ³)	Fracción fina	INV E 222-13	2578.93
Densidad (kg/m ³)	Fracción gruesa	INV E 223-13	2.54
Densidad Bulk (kg/m ³)	Fracción fina	INV E 217-13	1258.5
	Fracción gruesa	INV E 217-13	1527.97

Fuente: propia del autor

Para su respectivo análisis se decide realizar una comparativa con los requisitos que exigen la norma del Instituto Nacional de Vías para una mezcla densa en frío con asfalto natural (ART 422-22 INVIAS), base estabilizada con mezcla asfáltica natural (ART 341 – 22 INVIAS), subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural (ART 321 -22 INVIAS) y afirmado (ART 311 – 13 INVIAS), obteniendo así el siguiente resultado:

Tabla 4 Resultados agregado de aporte y requisitos INVIAS

CARACTERÍSTICA		NORMA DE ENSAYO INV	AGREGADO DE APORTE	REQUISITO			
				MEZCLA DENSA EN FRIO CON ASFALTO NATURAL	BASE ESTABILIZADA	SUBBASE ESTABILIZADA	AFIRMADO
Dureza, agregado grueso (O)							
Desgaste en la Máquina de los Angeles, máximo (%)	500 Revoluciones	INVE -218-13	27.4	25/35	50	50	50
Durabilidad (O)							
Perdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	Fracción fina	INVE -220-13	1.1	18	18	18	18
	Fracción gruesa		1.4	18	18	18	18
Limpieza, gradación combinada (F)							
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125	NP	7	7	9	4	
	E-126	NP	7	7	9	9	
Limite líquido, máximo (%)	E-125	-	-	35	35	40	
Equivalente de arena, mínimo (%)	INVE -133-13	95	50	20	20	-	
Valor de azul de metileno, máximo (mg/g)	INVE -235-13	0.5	10	-	-	-	
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)							
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	INV-240-13	0.8	10	-	-	-	
Caras fracturas, mínimo (%)	Una cara	INVE -227-13	100	76-60	-	-	
	Dos caras		100	75-60	-	-	
Geometría de las partículas, agregado fino (F)							
Determinación del valor 10% finos (kN)	INVE -224 - 13	219	-	-	-	-	
Capacidad de soporte (F)							
CBR Agregado a estabilizar (%) porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de Inmersión, mínimo	E-148	28.8	≥15	20	≥15	≥15	

Fuente: propia del autor

En la tabla 4 llamada resultados agregado de aporte y requisitos INVIAS, se evidencia que se cuenta con un agregado de aporte que presenta buenas características de durabilidad, limpieza, geometría de partículas y capacidad de soporte, por lo cual, este cumple con todos los requisitos para ser utilizado en un afirmado, subbase estabilizada con MAN (mezcla asfáltica natural), base estabilizada con MAN y mezcla densa en



caliente con asfalto natural para capa intermedia; Por otro lado, para ser empleado en una mezcla densa en caliente con asfalto natural en un capa de rodadura, el único parámetro que no cumple es la resistencia al desgaste en la Maquina de los Ángeles, el cual como requisito se solicita un valor máximo de 25% y se tiene un agregado con 27.4%.

Posteriormente, se realiza el análisis por cada característica estudiada para el agregado de aporte.

8.1.1. Granulometría

Se presenta a continuación los resultados que se obtuvieron del ensayo realizado de granulometría de los agregados gruesos y finos.

8.1.1.1. Análisis granulométrico agregado fino.

Se realizó el ensayo de granulometría, regido a la norma INV E-213-13, por lo cual a continuación, se presenta la tabla 5 donde se evidencian los resultados obtenidos, llamada granulometría agregado fino, en la cual se encuentra el tamiz exigido y el %pasa.

Tabla 5 Granulometría agregado fino

Tamiz (pulgadas)	% Pasa
1 1/2"	100.0
1"	100.0
3/4"	100.0
1/2"	100.0
3/8"	99.7

#4	99.1
#10	97.1
#40	54.5
#80	4.5
#100	2.7
#200	1.2
pasa 200	1.0

Fuente: propia del autor

Posteriormente, se grafica obteniendo así la curva granulométrica del agregado de aporte fino.

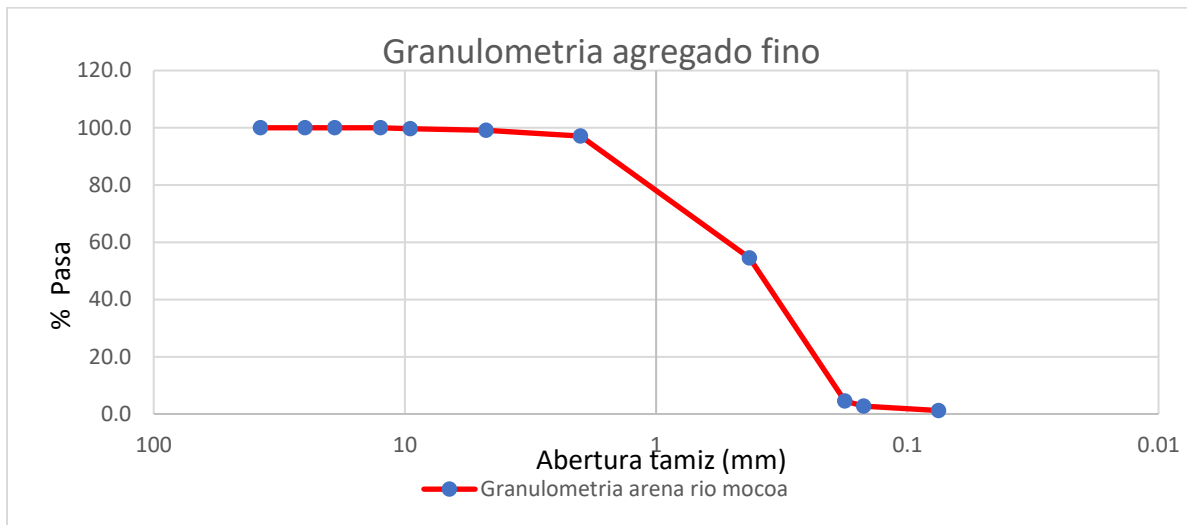
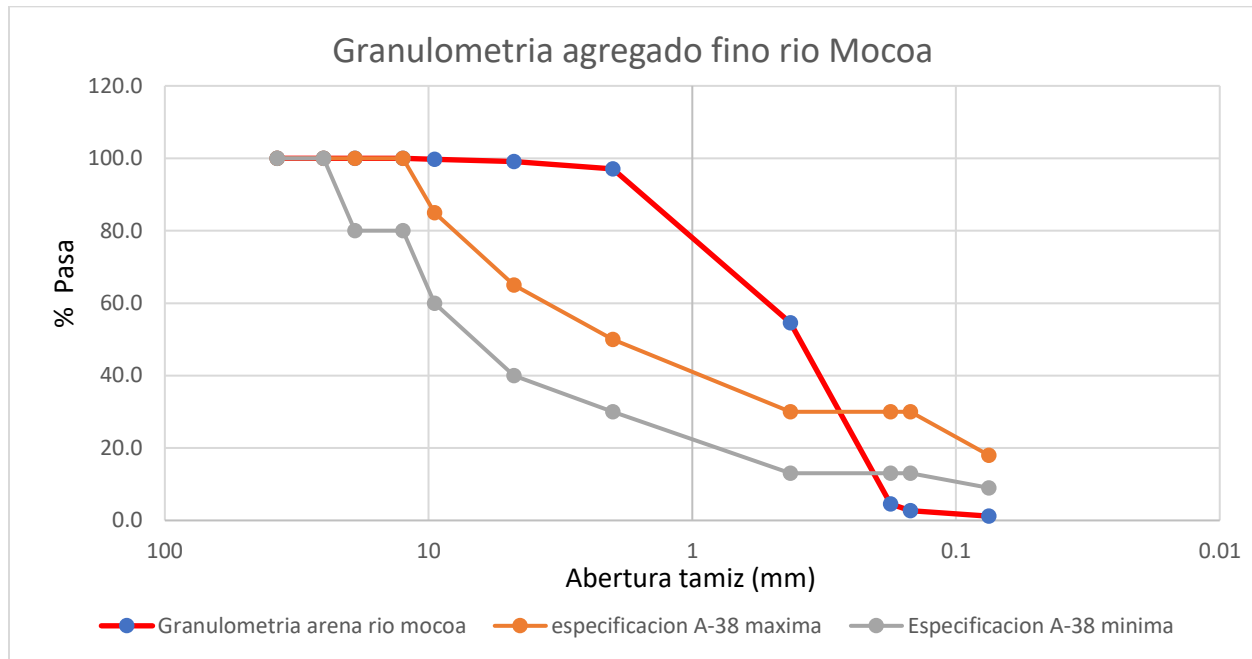


Ilustración 25 Granulometría agregado fino

Fuente: propia del autor

Teniendo en cuenta la Norma INV E – 311 afirmado, se analiza la curva granulométrica obtenida con la granulometría especificado en la tabla 311-3, llamada relaciones que debe cumplir el material de afirmado, dando el siguiente resultado:





asfáltica natural, tabla 341-1 llamada franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción de capas de bases estabilizadas con una mezcla asfáltica natural y tabla 442-2 llamada franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción capas asfálticas con una mezcla densa en frío con asfalto natural, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 6 Especificaciones de granulometría MAN

TAMIZ (PULGADAS)	%PASA	ESPECIFICACIONES MAN							
		MDC 19		SUB BASE MAN 38		BASE MAN 38		BASE MAN 25	
		INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP
1 1/2"	100.0	100	100	100	100	100	100	100	100
1"	100.0	100	100	75	95	70	100	100	100
3/4"	100.0	100	100	-	-	-	-	-	-
1/2"	100.0	80	95	55	85	50	80	60	90
3/8"	99.7	70	80	45	75	45	75	50	80
#4	99.1	49	65	30	60	30	60	30	60
#10	97.1	-	-	-	-	20	45	20	45
#40	54.5	29	45	20	45	-	-	-	-
#80	4.5	14	25	8	30	10	27	10	27
#100	2.7	8	17	-	-	-	-	-	-
#200	1.2	-	-	-	-	5	18	5	18
PASA	1.0	4	8	2	15	3	15	3	15

Fuente: propia del autor

Se realiza la siguiente gráfica con base en la tabla 6:

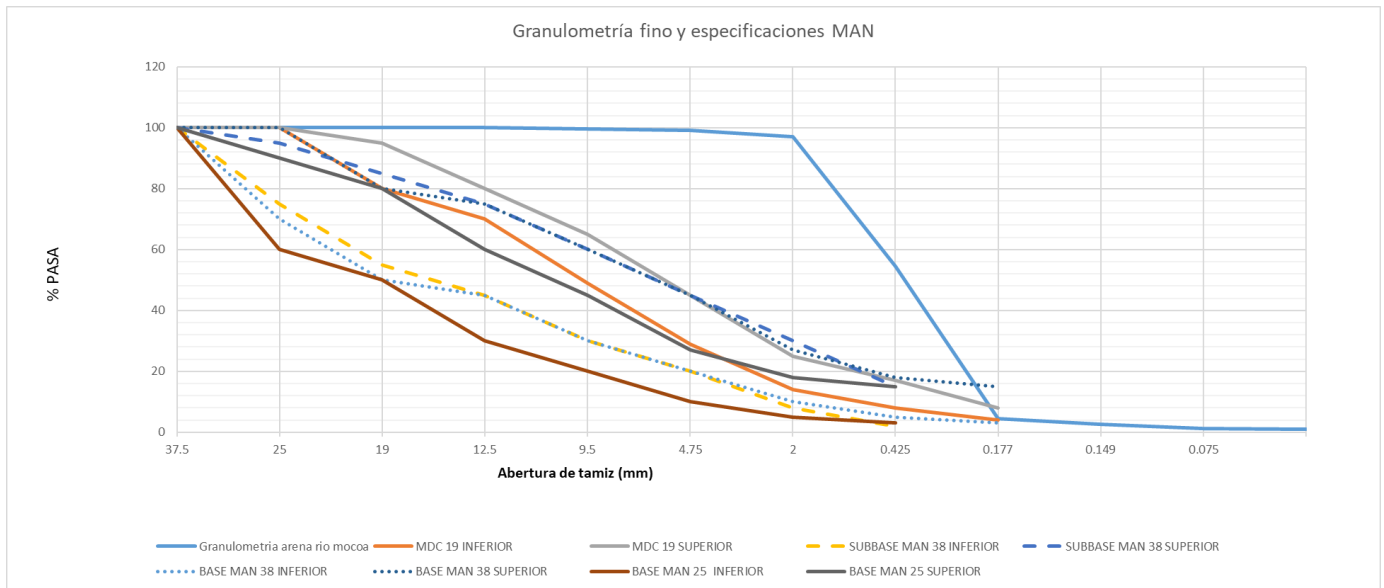


Ilustración 27 Granulometría fino y especificaciones MAN

Fuente: propia del autor

En la ilustración 27, llamada granulometría fino y especificaciones MAN, se puede evidenciar que el exceso de material que pasa por el tamiz N°4 y la casi inexistente de material grueso, hace que la franja granulométrica de color azul, que corresponde a la arena del río Mocoa, quede totalmente alejada de las especificaciones granulométricas sugeridas para el MAN.

Por lo cual, debido a que la curva granulométrica más cercana a las especificaciones es el afirmado se realiza la dosificación con base en la norma INV E – 311 afirmado.

8.1.1.2. Análisis granulométrico agregado grueso.

Se realizó el ensayo de granulometría, regido a la norma INV E-213-13, a continuación, se presenta la tabla 7 de resultados obtenidos, llamada granulometría agregado de



aporte grueso, en la cual se encuentra el tamiz exigido, el peso retenido, el % retenido acumulado y el %pasa.

Tabla 7 Granulometría agregado de aporte grueso

Tamiz (pulgadas)	%pasa
11/2"	100
1"	99.7
3/4"	72.6
1/2"	32.1
3/8"	14.3
#4	4.5
#10	3.8
#40	3.3
#80	2.8
#100	2.7
#200	2.1
Pasa 200	2.0

Fuente: propia del autor

Posteriormente, se grafica obteniendo así la curva granulométrica.

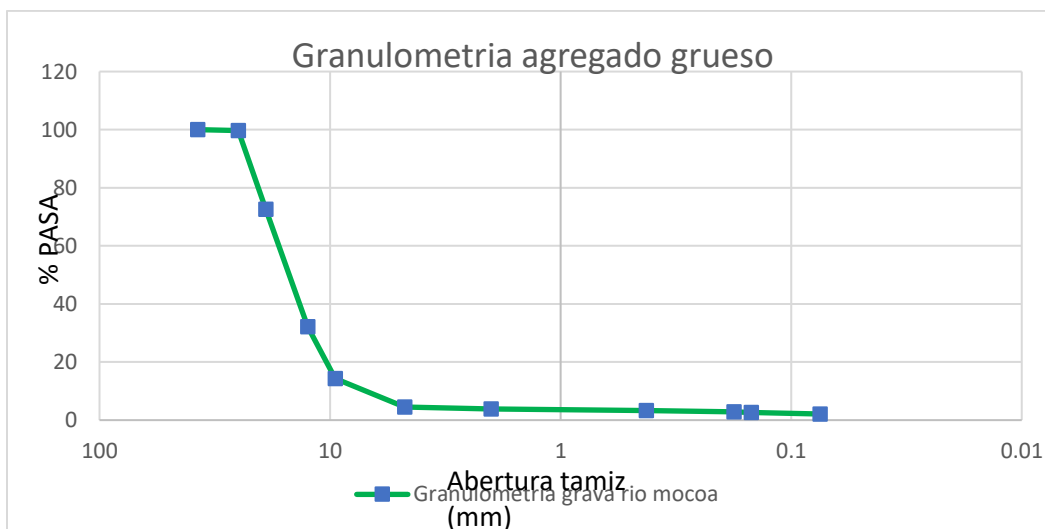


Ilustración 28 Granulometría agregado de aporte grueso

Fuente: Propia del Autor

Teniendo en cuenta la Norma INV E – 311 afirmado, se analiza la curva granulométrica obtenida con la granulometría especificado en la tabla 311-3, llamada “relaciones que debe cumplir el material de afirmado”, dando el siguiente resultado:

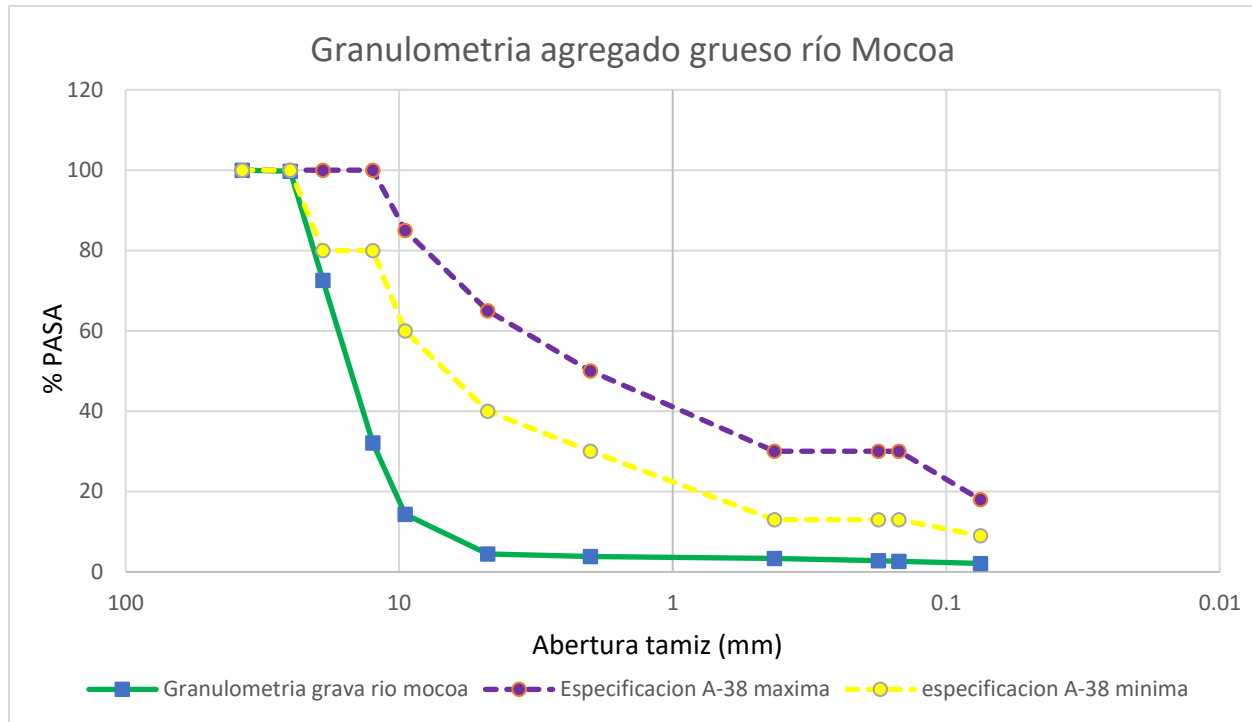


Ilustración 29 Granulometría agregado grueso y especificación afirmado

Fuente: Propia del Autor

Se puede evidenciar en la ilustración 29 llamada granulometría agregado grueso y especificación afirmado, al comparar la franja granulométrica de color rojo, con las especificaciones de las franjas granulométricas de agregados requeridas para afirmado, se observa que la granulometría al poseer un alto contenido de gruesos, no cumple con ninguna de las franjas de las especificaciones.



Por otro lado, teniendo en cuenta la norma para una mezcla densa en frío con asfalto natural (ART 422-22 INVIAS), base estabilizando con mezcla asfáltica natural (ART 341 – 22 INVIAS) y subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural (ART 321 -22 INVIAS), se analiza la curva granulométrica obtenida con las granulometrías especificadas en las siguiente tablas: tabla 321-1 llamada franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción de capas de subbases estabilizadas con una mezcla asfáltica natural, tabla 341-1 llamada franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción de capas de bases estabilizadas con una mezcla asfáltica natural y tabla 442-2 llamada franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción capas asfálticas con una mezcla densa en frío con asfalto natural, se obtiene lo siguiente:

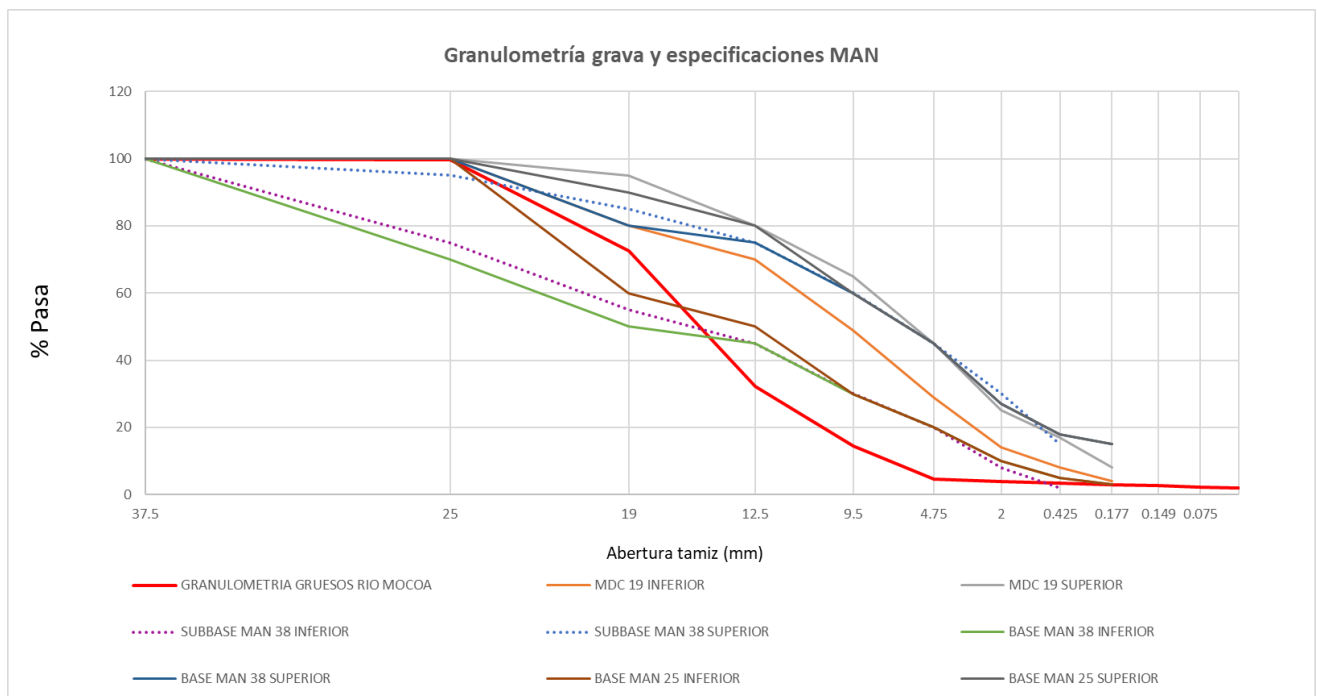


Ilustración 30 Granulometría agregado grueso y especificaciones MAN

Fuente: propia del autor



Con base en la esta especificación al comparar la franja granulométrica de color rojo, con las especificaciones de las franjas granulométricas de agregados requeridas para bases, subbases y carpetas asfálticas para material asfáltico natural (MAN), se observa que la granulometría al poseer un alto contenido de gruesos, no cumple con ninguna de las franjas de las especificaciones.

Dicho lo anterior, debido a que la curva granulométrica más cercana a las especificaciones es el afirmado se realiza la dosificación con base en la norma.

8.1.1.3 Dosificación material

A continuación, se realiza la dosificación de los dos agregados siguiendo la especificación de la Norma INV E – 311 afirmado para obtener los porcentajes de mezcla a realizar, con los cuales se procedió a realizar las tablas y la gráfica de la nueva dosificación de los agregados.

Por lo cual, se presenta los porcentajes de mezcla utilizados para realizar la dosificación tanto para tipo A-38 y tipo A-25. Esto con el propósito de poder realizar una mezcla de prueba entre los agregados y el asfalto natural, para comprobar la adherencia entre estos.

Tabla 8 Porcentajes de mezcla utilizados para dosificación

PORCENTAJES A TOMAR PARA A-38	
%A Tomar agregado grava	52
% A Tomar agregado arena	48
PORCENTAJES A TOMAR PARA A-25	
%A Tomar agregado grava	46
% A Tomar agregado arena	54

Fuente: propia del autor



Con estos porcentajes determinados se procedió a realizar las tablas y las gráficas de la nueva dosificación de los agregados.

Tabla 9 Dosificación granulométría

Tamiz mm	Tamiz pulgadas	%pasa grava	% pasa arena	Especificación afirmados A-38		Nuevo ajuste pasa para A-38	Especificación afirmados A-25		Nuevo ajuste pasa A-25
				Máxima	mínima		Máxima	mínima	
37.5	1 1/2"	100.0	100	100	100	100.0	100	100	100.0
25	1"	99.7	100	100	100	99.8	100	100	99.9
19	3/4"	72.6	100	100	80	85.8	100	90	87.4
9.50	3/8"	14.3	99.7	85	60	55.3	90	65	60.4
4.75	#4	4.5	99.1	65	40	49.9	70	45	55.6
2	#10	3.8	97.1	50	30	48.6	55	35	54.2
0.425	#40	3.3	54.5	30	13	27.9	35	15	30.9
0.075	#200	2.1	1.2	18	9	1.7	20	10	1.6
pasa 200		2.0	1			1.5			1.5

Fuente: propia del autor

Se obtuvo las siguientes curvas granulométricas:

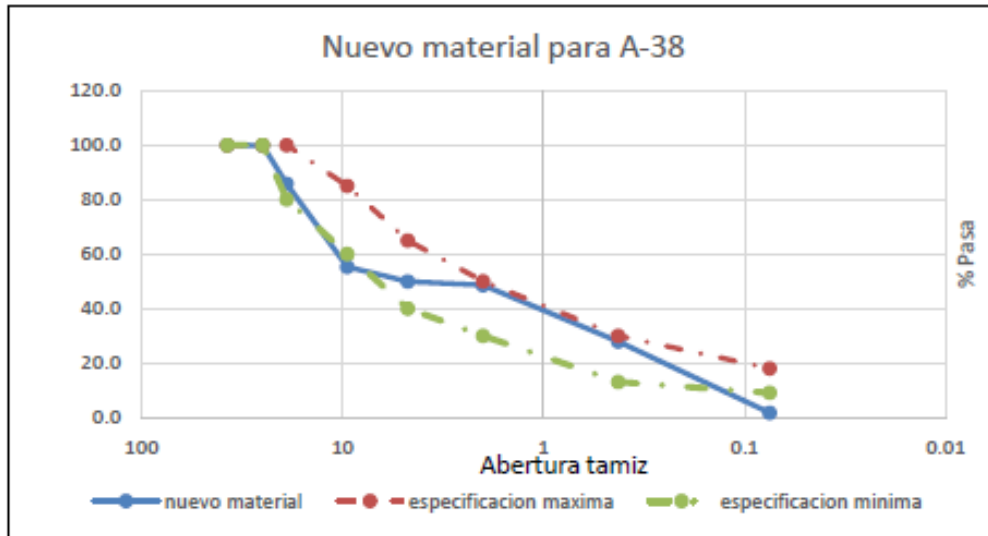


Ilustración 31 Nuevo material A-38 granulometría

Fuente: propia del autor

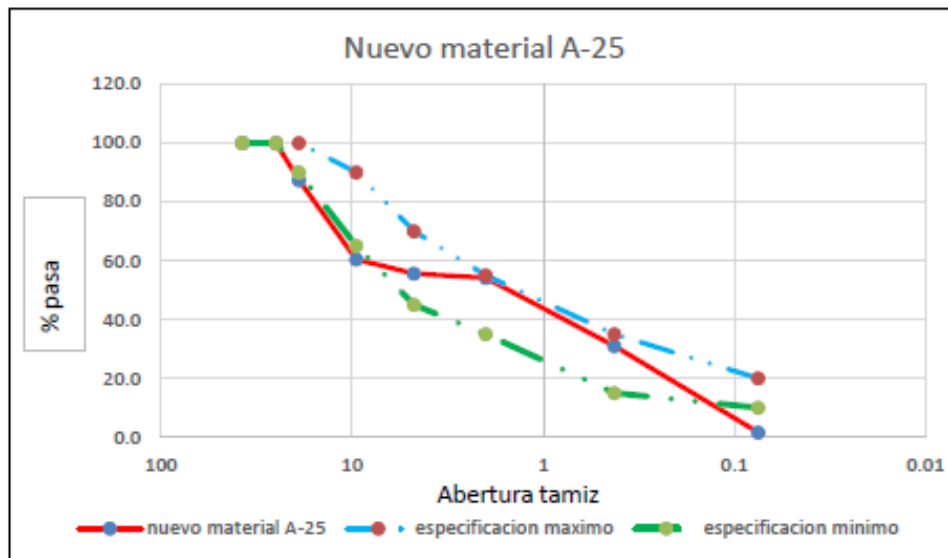


Ilustración 32 Nuevo material A-25

Fuente: propia del autor

Para la anterior dosificación realizada se realizaron los siguientes porcentajes de mezcla. Se puede apreciar que las dos granulometrías muestran escases de agregado de triturado del tamiz 3/8" y pasa N°200, a pesar de lo anteriormente mencionado, se



selecciona este material ya que es el que utiliza la comunidad en la zona y el objetivo de esta investigación es realizar un mejoramiento de vías terciarias con materiales del lugar de estudio, en este caso la vereda Verdeyaco.

De acuerdo al tamaño máximo de agregado grueso, se utilizó los porcentajes para la mezcla de tipo A-38.

8.1.2 Gravedad específica y densidad

Se realizaron los correspondientes ensayos para determinar la gravedad específica y densidad para el agregado de aporte tanto fino como grueso, el cual se presenta a continuación.

8.1.2.1 Agregado grueso

Realizado el debido procedimiento indicado en la norma INV E 223-13, se obtiene la siguiente tabla con la densidad específica SH, gravedad específica SSS, gravedad específica AP, densidad SH, densidad SSS y densidad AP para el agregado grueso.

Tabla 10 Gravedad específica y absorción agregado grueso

Muestra	Gravedad específica SH	Gravedad específica SSS	Gravedad específica AP	Densidad SH (kg/m ³)	Densidad SSS (kg/m ³)	Densidad AP (kg/m ³)	Absorción (%)
1	2.54	2.61	2.72	2533.88	2600.87	2716.40	2.64
2	2.55	2.62	2.73	2546.17	2611.44	2724.52	2.56
Promedio	2.55	2.61	2.73	2540.02	2606.15	2720.46	2.60

Fuente: propia del autor

De la tabla 10 anteriormente presentada, la gravedad específica del agregado grueso, se encuentra en un valor típico de un agregado cuyo origen de la roca basáltico o diabasa, ya que este suele variar entre los 2.5 a los 3.2 según su origen.



Una gravedad específica de 2.55 indica que el agregado es relativamente denso, lo cual es beneficioso en términos de proporcionar una mayor resistencia y durabilidad al afirmado.

8.1.2.2 Agregado fino

Realizado el debido procedimiento indicado en la norma INV E 222-13, se obtiene la siguiente tabla 11 con la densidad específica SH, gravedad específica SSS, gravedad específica AP, densidad SH, densidad SSS y densidad AP para el agregado fino.

Tabla 11 Gravedad especificación, densidad y absorción agregado fino

Muestra	Gravedad específica SH	Gravedad específica SSS	Gravedad específica AP	Densidad SH (kg/m ³)	Densidad SSS (kg/m ³)	Densidad AP (kg/m ³)	Absorción (%)
1	2.59	2.64	2.74	2578.85	2634.71	2731.82	2.17
2	2.58	2.62	2.70	2569.64	2616.74	2696.99	1.83
3	2.59	2.65	2.74	2588.32	2641.68	2734.61	2.06
Promedio	2.59	2.64	2.73	2578.94	2631.04	2721.14	2.02

Fuente: propia del autor

- La gravedad específica de la arena (SH) del río Mocoa, después de promediar el resultado de 3 muestras fue de 2.59, un valor que se encuentra dentro de los típicos para diferentes tipos de arenas, donde su gravedad específica varía dependiendo de la composición mineralógica de la cual se encuentra constituida, donde los valores giran en torno a los 2.5 hasta 3.0.
- La densidad relativa (SSS), es mayor a la densidad específica (SH), debido a que el agua permea los poros saturables del agregado fino, resultando en un aumento significativo de la densidad con respecto al material seco.



- El agregado fino con una densidad específica de 2578.94 kg/m^3 puede ofrecer beneficios en términos de resistencia y estabilidad. Una mayor densidad implica que el material está más compactado, lo cual es deseable para una base firme y duradera.

8.1.3. Resistencia a la degradación por medio de la máquina de los ángeles

En cuanto a la resistencia a la degradación de agregado en la máquina de los ángeles, para un afirmado cumple, debido a que en las especificaciones el máximo descrito a las 500 revoluciones es de 50% de desgaste de agregado, por lo cual el material es resistente y puede ser poco susceptible al desgaste y la abrasión debido a que se obtuvo un 27.4%.

Además de cumplir la especificación para un afirmado, también lo hace para una base y subbase estabilizada con MAN, y mezcla densa en frío con MAN para carpeta intermedia; pero, para una mezcla densa en frío con MAN para carpeta de rodadura no cumple debido a que el valor máximo de esta especificación es más exigente con un valor máximo de 25%.

8.1.4. Sanidad de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio y magnesio

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de solidez, las pérdidas de agregado no superan el 18%, ya que para el agregado grueso se obtuvo un 1.4% de pérdidas y para el agregado fino fue de 1.1%, lo que indica que el material posee una gran



resistencia al intemperismo, a los cambios físicos y químicos medio ambientales, que se pueden presentar en el sitio donde se va a utilizar dicho agregado.

8.1.5. Índice de plasticidad

El índice de plasticidad del agregado de aporte corresponde a un material no plástico, lo cual es una ventaja ya que el agregado que no tiende a producir cambios volumétricos, por lo cual, cumple con la especificación requerida tanto para afirmado, base y subbase estabilizada con MAN y capa de rodadura.

8.1.6 Equivalente arena

Realizado el debido procedimiento indicado en la norma se obtiene que el valor de equivalente de arena es de 95% lo que sugiere que es una arena limpia, con muy poco contenido de arcilla.

8.1.7 Valor de azul de metileno

La cantidad de arcilla nociva no afecta su desempeño en mezcla asfáltica, ya que el valor de azul de metileno está por debajo del rango de 7 a 12 mg-g.

8.1.8 Partículas planas y alargadas, relación 5:1

Según lo observado, el material cumple con lo especificado en la norma para partículas planas y alargadas, de relación 5:1, ya que se obtuvo de una muestra de ensayo de 1731g, solo un 0,8% de partículas planas y alargadas.



8.1.9 Caras fracturadas

Mediante el método visual y siguiendo los lineamientos indicados en la norma INV E-227-13, se determinó que el 100% de las partículas presentan caras fracturadas.

8.1.10 CBR

Se posee un valor de CBR de 28.8% para el agregado el cual es un valor aceptable y puede ser utilizado en mezclas asfálticas naturales para pavimentos de baja a media intensidad de tráfico.

8.2. Caracterización del crudo

Se hizo la caracterización del crudo realizando los ensayos anteriormente mencionados en la metodología, a continuación, se presenta los resultados y análisis de cada uno.

8.2.1. Destilación simulada

Se realizó el ensayo de destilación de asfaltos líquidos, siguiendo la norma INV E -723-22 obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 12 Destilación simulada

TEMPERATURA (°C)	LECTURA (ml)	% DESTILADO ACUMULADO	% DESTILADO	% DESTILADO RESPECTO A DT
182	42	21	21	43.3
216	70	35	14	28.9
250	84	42	7	14.4
306	94	47	5	10.3
349	97			

Fuente: propia del autor



Al obtener los porcentajes de destilado, se realiza la caracterización de los solventes donde se obtiene que el crudo posee 21% gasolina, 21% Kerosen y 5% Diesel, lo cual indica que los solventes dominantes en este crudo son la gasolina y el Kerosene.

Se procede a evaluar este crudo, a que características o tipo correspondería si lo comparamos con un asfalto liquido industrial.

Tabla 13 Características que deben cumplir los asfaltos líquidos de curado medio

Características	Método de Ensayo	Método de Ensayo	Grados					
	AASHTO	ASTM	MC-0	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MC-5
Punto de inflamación, vaso abierto, °C.	T-79	D-1310	37,8	37,8	65,6	65,6	65,6	65,6
Viscosidad Furol a 25 °C, s.	T-72	D-88	75-150	-	-	-	-	-
Viscosidad Furol a 50 °C, s.			-	75-150	-	-	-	-
Viscosidad Furol a 60 °C, s.			-	-	100-200	250-500	-	-
Viscosidad Furol a 82,2 °C, s.			-	-	-	-	125-250	300-600
Destilación:	T-78	D-402						
Destilado (porcentaje del total destilado a °C):								
A 225 °C.			25-	20-	10-	5-	0	0
A 260 °C.			40-70	25-65	15-55	5-40	30-	20-
A 316 °C.			75-93	70-90	60-87	55-85	40-80	20-75
Residuo de destilación a 360 °C, porcentaje en volumen por diferencia.			50+	60+	67+	73+	78+	82+
Ensayo sobre el residuo de destilación:								
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s.	T-49	D-5	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad, 25 °C, cm.	T-51	D-113	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Solubilidad en C Cl ₄ , %	T-44	D-4	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+
Condiciones generales.			El material no contendrá agua					

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual del Asfalto

Fuente Manual Del Asfalto

El asfalto liquido industrial que más se acerca al crudo mediano estudiado es el MC-0 debido a que cumple la mayor parte de sus características, es un asfalto liquido con un asfalto residual de baja viscosidad, con tiempo de curado medio y entre sus posibles aplicaciones puede ser utilizado en capas de pavimentas de baja a media intensidad de tráfico.

8.2.2 Grados API

Se realiza el ensayo de densidad y densidad relativa siguiendo lo indicado en la norma NLT -122/84, obteniendo los siguientes resultados con respecto a los grados API:

Tabla 14 Densidad relativa, densidad, grados API - crudo mediano

ENSAYO	RESULTADO
Densidad relativa	0.91
Densidad (g/cm ³)	0.90
Grados API	24

Fuente: propia del autor

De los resultados anteriores, se observa que el valor de densidad calculado está por debajo de los valores típicos de un asfalto o emulsión asfáltica, con lo cual se verifica que se trata de un crudo cuyos valores de densidad están entre 0.8 y 0.98 g/cm³.

De acuerdo al valor obtenido de grado API, podemos decir que se posee con un crudo mediano ya que el valor para un crudo mediano se encuentra entre 15 y 31.

Se decidió determinar la densidad mediante este método ya que el comportamiento del asfalto al intentar realizar este ensayo por el método para materiales semisólidos y sólidos, no permitió obtener un resultado óptimo.



8.3 Caracterización MAN y asfalto recuperado:

Se realizaron los ensayos correspondientes a la caracterización de la mezcla asfáltica natural y al asfalto recuperado, los cuales fueron realizados en el laboratorio de la Universidad del Cauca y laboratorio de Humberto Quintero.

A continuación, se presenta los resultados de dichos ensayos:

Tabla 15 Resultados de ensayos realizados a MAN

ENSAYO		NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
Extracción cuantitativa (%)	MAN	INV E - 732-13	25.6
Duriez (%)	MAN	-	5
Ductilidad de los materiales a 5° (cm)	MAN recuperado	INV E 702 -13	138.5
Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno (%)	MAN recuperado	INV E 713-13	99.7
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (°C)	MAN recuperado	INV E 712-13	25.6
Viscosidad absoluta a 60°C (Pa.s)	MAN recuperado	INV E 717-13	12.93
Penetración de materiales bituminosos a 5°C (0.1 mm)	MAN recuperado	INV E 706-13	158.4
Penetración de materiales bituminosos a 25°C (0.1 mm)	MAN recuperado	INV E 706-13	No se deja fallar

Fuente: Propia del Autor

Posteriormente se realiza un análisis de la mezcla asfáltica en comparación con un asfalto convencional, obteniendo así la siguiente tabla:



Tabla 16 Resultados MAN y asfalto 60-70

ENSAYO		NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLA ASFALTICA NATURAL	ASFALTO 60-70 ECOPELROL
Extracción cuantitativa (%)	MAN	INV E - 732-13	25.6	-
Duriez (%)	MAN	-	5	-
Ductilidad de los materiales a 5°C (cm)	MAN recuperado	INV E 702 -13	138.5	6.15
Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno (%)	MAN recuperado	INV E 713-13	99.7	-
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (°C)	MAN recuperado	INV E 712-13	25.6	46.6
Viscosidad absoluta a 60°C (Pa.s)	MAN recuperado	INV E 717-13	12.93	201
Penetración de materiales bituminosos a 5°C (0.1 mm)	MAN recuperado	INV E 706-13	158.4	22.2
Penetración de materiales bituminosos a 25°C (0.1 mm)	MAN recuperado	INV E 706-13	No se deja fallar	68.9

Fuente: Propia del Autor

Teniendo en cuenta la tabla 16, se observa que el asfalto recuperado de la mezcla asfáltica natural posee buenas características de resistencia al agrietamiento, gran capacidad de adaptación a las condiciones climáticas cambiantes, alta pureza y calidad, pero también requiere una menor temperatura para que el asfalto se torne fluido y posee poca consistencia a bajas y altas temperaturas, en comparación con un asfalto 60-70 de Ecopetrol; a continuación, se realiza un análisis detallado de cada ensayo.



8.3.1. Extracción cuantitativa

Se realizó el ensayo de extracción cuantitativa a la mezcla asfáltica natural, obtenido un porcentaje de asfalto residual igual a 25.6%, lo cual significa que posee una gran cantidad de asfalto residual.

Posteriormente se determinó la granulometría del material y que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 17 Granulometría material mineral

Tamiz mm	Tamiz en pulgadas	MUESTRA 1	MUESTRA 2
		peso retenido (g)	peso retenido (g)
4.75	#4	6.20	12.70
2.36	#8	5.90	18.8
1.18	#16	17.40	17.90
0.60	#30	17.10	13.20
0.30	#50	13.50	5.10
0.149	#100	4.40	2.60
0.075	#200	0.80	0.54
pasa 200	----	2.90	5.27
Total, peso retenido + pasa 200	----	68.20	57.31

Fuente: propia del autor

8.3.2 Duriez

Se utilizó el método empírico de Duriez para determinar el porcentaje óptimo teórico del asfalto natural a utilizar, el cual dio un valor de 5%, a raíz del cual se definen los porcentajes que se evaluarán en el ensayo Marshall modificado, utilizando contenidos de asfaltos por arriba y por debajo de éste, con una variación de 0.5%.



8.3.3 Ductilidad de los materiales

Para la mezcla asfáltica natural se obtuvo una ductilidad a 5°C de 138.5cm, valor el cual está relacionado con la flexibilidad y cohesión del asfalto a bajas temperaturas, lo que muestra una mayor resistencia al agrietamiento y una mayor capacidad de adaptación a las condiciones climáticas cambiantes, en comparación con un asfalto 60-70 Ecopetrol para el cual la ductilidad a temperatura de 5 grados es de aproximadamente,6.15cm.

8.3.4 Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno

Se obtuvo un porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (TCE) de 99.7% del asfalto recuperado, lo cual indica que la mayoría del asfalto en la muestra se disuelve completamente en TCE, lo cual es una indicación de alta pureza y calidad del asfalto natural, valor el cual es muy similar al de un asfalto 60-70.

8.3.5 Punto de ablandamiento

Para la mezcla asfáltica natural se tiene un punto de ablandamiento de 25.6°C, lo cual indica que se requiere una menor temperatura para que el asfalto se torne fluido en comparación a un asfalto convencional 60-70 que posee un punto de ablandamiento de 46.6°C.

8.3.6 Penetración de materiales bituminosos a 5°C

Se obtuvo una penetración a 5°C de 158.4 0.1mm lo cual indica que el asfalto posee menos consistencia a bajas temperaturas que un asfalto convencional 60-70 cuya penetración es de 22.2 0.1mm.



8.3.7 Penetración de materiales bituminosos a 25°C

El asfalto recuperado de la mezcla asfáltica natural no se dejó fallar a temperatura de 25°C, lo cual indica que el material tiene muy poca consistencia y resistente a cargas a altas temperaturas en comparación a un asfalto convencional 60-70 cuya penetración es de 68.9 0.1mm.

8.3.8. Viscosidad absoluta a 60°C

En este caso, una mezcla asfáltica natural con una viscosidad absoluta a 60°C de 12.93 Pa.s indica que tiene una consistencia más suave y menos pegajosa en comparación con el asfalto convencional 60-70, que tiene una viscosidad absoluta a 60°C de 201 Pa.s. Esto puede ser beneficioso en ciertas condiciones, como en climas cálidos donde el asfalto tiende a ablandarse. Sin embargo, puede tener un impacto negativo en el rendimiento del asfalto en climas fríos donde el asfalto puede volverse más quebradizo y agrietarse.

8.3.9 Espectroscopia mezcla asfáltica natural

Se realiza el ensayo de espectroscopia para la mezcla asfáltica natural con el objetivo de conocer la composición y caracterización química de los componentes del asfalto.

A continuación, se describe los resultados obtenidos por medio del método de reflectancia total atenuada:

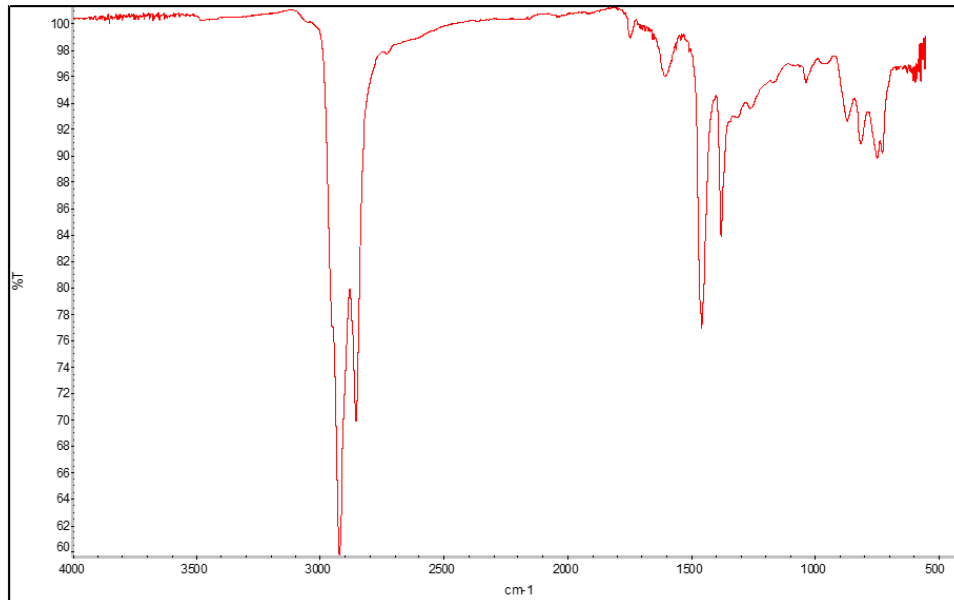


Ilustración 33 Espectro realizado a una muestra convencional AC 60-70 por el método de reflectancia total atenuada

Fuente: propia del autor

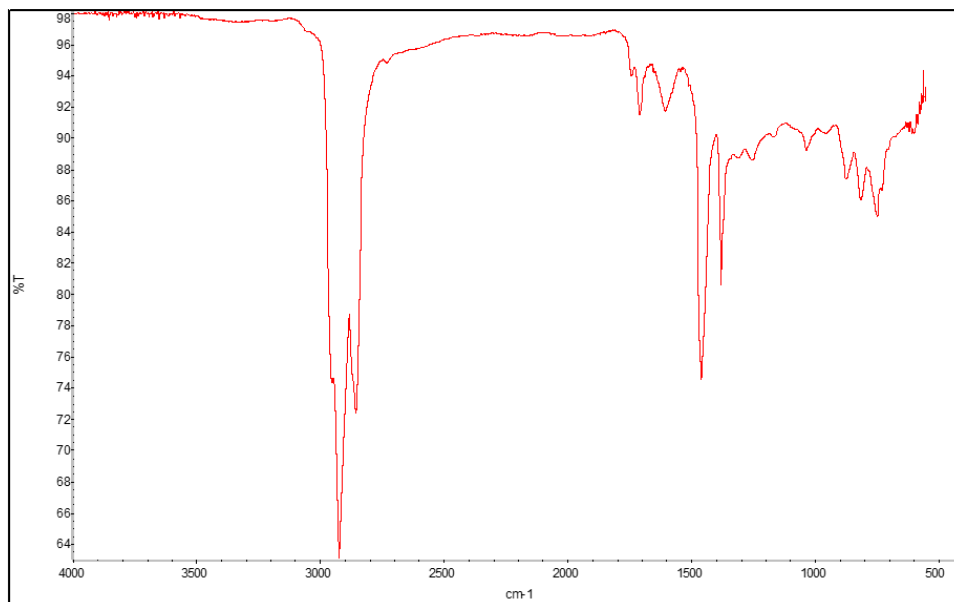


Ilustración 34 Espectro realizado al asfalto recuperado de MAN por el método de reflectancia total atenuada

Fuente: propia del autor

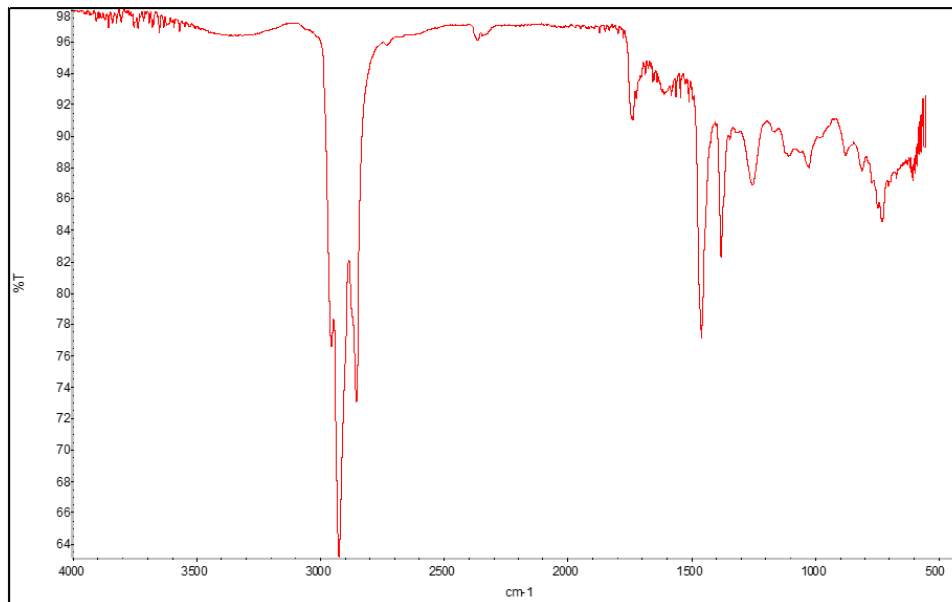


Ilustración 35 Espectro realizado al crudo extraído de la mezcla asfáltica natural por el método de reflectancia total atenuada

Fuente: propia del autor

Para los ensayos de espectroscopia de absorción infrarroja realizados con el método de reflectancia total atenuada con un cristal de alta refracción, se puede observar un espectro de bandas muy similar entre el crudo, la mezcla asfáltica natural y asfalto convencional, debido a que se observa que en los compuestos saturados correspondientes a los enlaces C-H, los cuales suelen aparecer en el rango de aproximadamente $2850-3000\text{ cm}^{-1}$, las bandas de absorción del crudo se encuentra en una longitud de onda más alta indicando una mayor energía de vibración y frecuencia en los enlaces asociados a esta banda, de igual manera el asfalto natural recuperado tiene una longitud de onda media y siendo la más baja la longitud de onda presentada por la mezcla AC 60 –70.

Para el caso de los compuestos aromáticos presentes en el asfalto, generalmente se observan bandas de absorción en el rango de aproximadamente $1450-1600\text{ cm}^{-1}$, para lo cual, las muestras de crudo y asfalto natural recuperado presentan en sus bandas de absorción una energía de vibración y frecuencia en los enlaces asociados muy similares entre estas dos muestras y a su vez siendo más bajas que la longitud de onda presentada por la AC 60-70.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de espectroscopia infrarroja realizado con el método convencional:

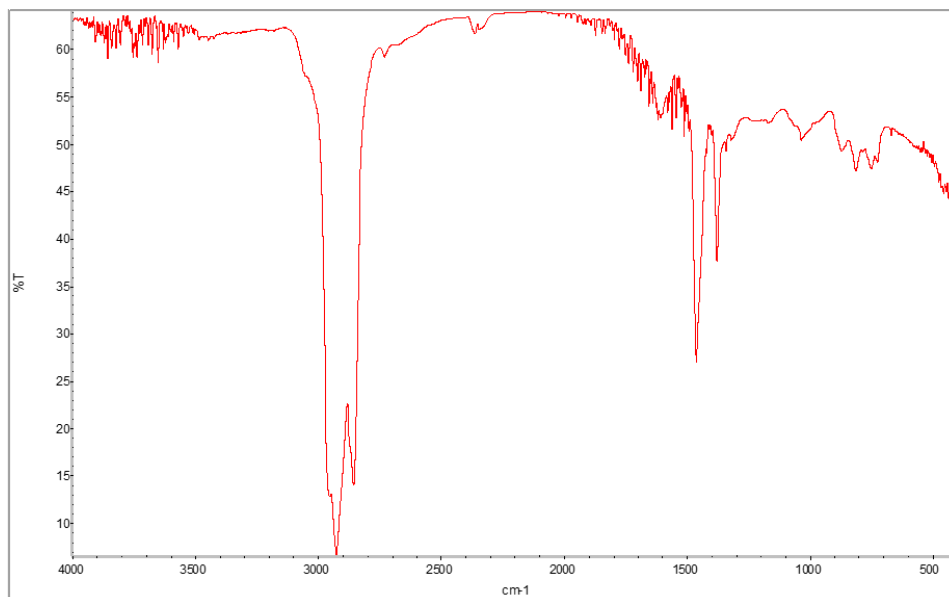


Ilustración 36 Espectro realizado una muestra convencional AC 60-70 por el método convencional

Fuente: propia del autor

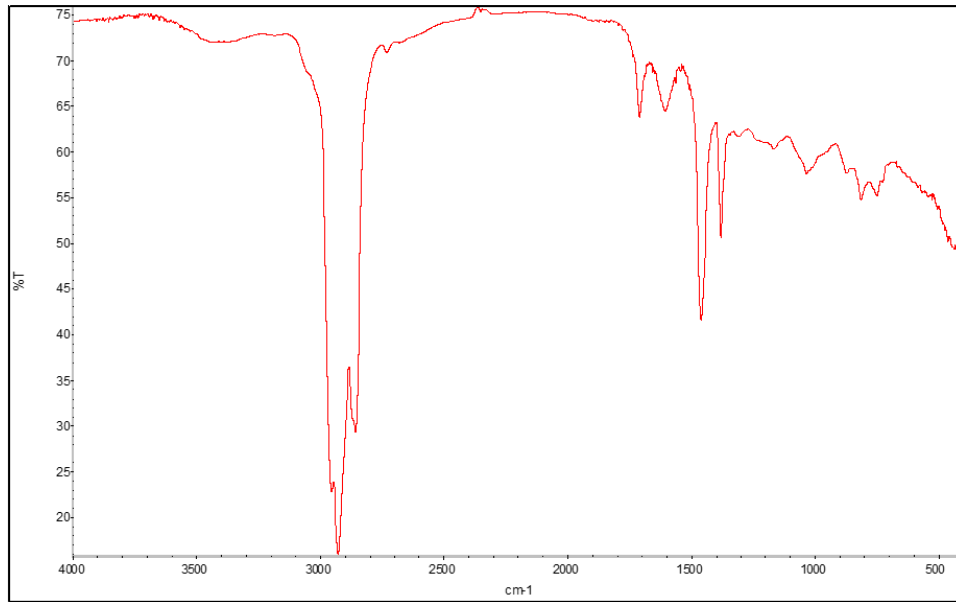


Ilustración 37 Espectro realizado al asfalto recuperado de MAN por el método convencional

Fuente: propia del autor

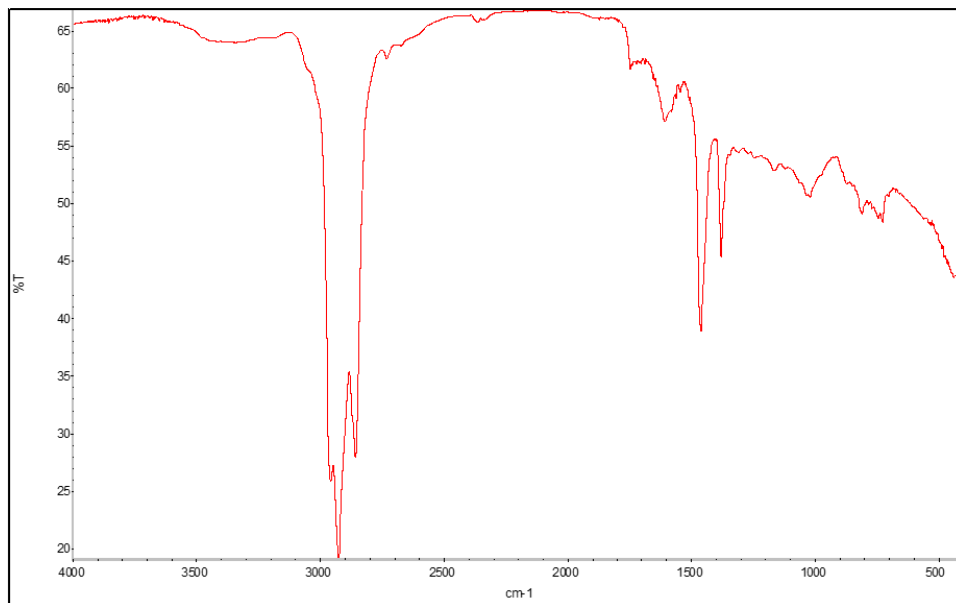


Ilustración 38 Espectro realizado a una muestra de crudo extraído de la mezcla asfáltica natural por el método convencional

Fuente: propia del autor



Se realizó igualmente en las tres muestras anteriormente mencionadas, el método convencional el cual se lleva a cabo sin cristal de alta refracción. En este resultado se puede observar en los compuestos saturados correspondientes a los enlaces C-H, los cuales suelen aparecer en el rango de aproximadamente $2850-3000\text{ cm}^{-1}$, un cambio más notorio en las longitudes de onda de las bandas comparando las muestras, esto analizando los grupos funcionales específicos presentes en las moléculas que determinan las frecuencias de vibración, presentando así un mayor valor de saturados en el asfalto natural recuperado y en el crudo, que en el asfalto convencional AC 60 – 70.

Para los compuestos aromáticos presentes en el asfalto, generalmente se observan bandas de absorción en el rango de aproximadamente $1450-1600\text{ cm}^{-1}$ al igual que en el método mencionado anteriormente; aquí se observa un cambio en el comportamiento del asfalto natural recuperado indicando una mayor energía de vibración y una frecuencia de vibración más alta para los enlaces implicados en esa banda, presentando el crudo y asfalto convencional un número de onda más bajo en comparación con otra banda de absorción. Esto indica una menor energía de vibración y una frecuencia de vibración más baja para los enlaces asociados con esa banda, o sea una menor fuerza de los enlaces y las características estructurales de los compuestos aromáticos.

Esto difiere con los resultados obtenidos con el ensayo realizado por el método de ATR, lo cual puede deberse a que el método convencional requiere que la muestra sea transparente a la radiación infrarroja para obtener una precisión mayor y una mayor sensibilidad, lo cual conseguimos con el método de ATR al utilizar el cristal de alta



refracción. Por lo cual, realizando el análisis, este resultado nos describe el comportamiento químico con la fuerza de los enlaces de las muestras indicando que hay un mayor proceso de envejecimiento de estas mismas.

En el caso de pérdida de los compuestos saturados, este pierde ligantes que contribuyen a la cohesión y a la estabilidad del pavimento, afectando directamente a la durabilidad de este mismo para los asfaltos convencionales en comparación con el asfalto recuperado natural y el crudo de la mina de Verdeyaco. Además, se concluye un menor número de componentes aromáticos en las muestras de crudo y de asfalto recuperado natural que en el asfalto AC 60-70 generando así una pérdida de rigidez, siendo más propenso a deformaciones y una afectación a la resistencia de la oxidación más baja.

8.3.10 Ensayo SARA

A continuación, se representa por medio de una gráfica los resultados obtenidos, una vez realizado el ensayo S.A.R.A al asfalto recuperado, con el objetivo de conocer las fracciones de compuestos presentes en la mezcla asfáltica natural.

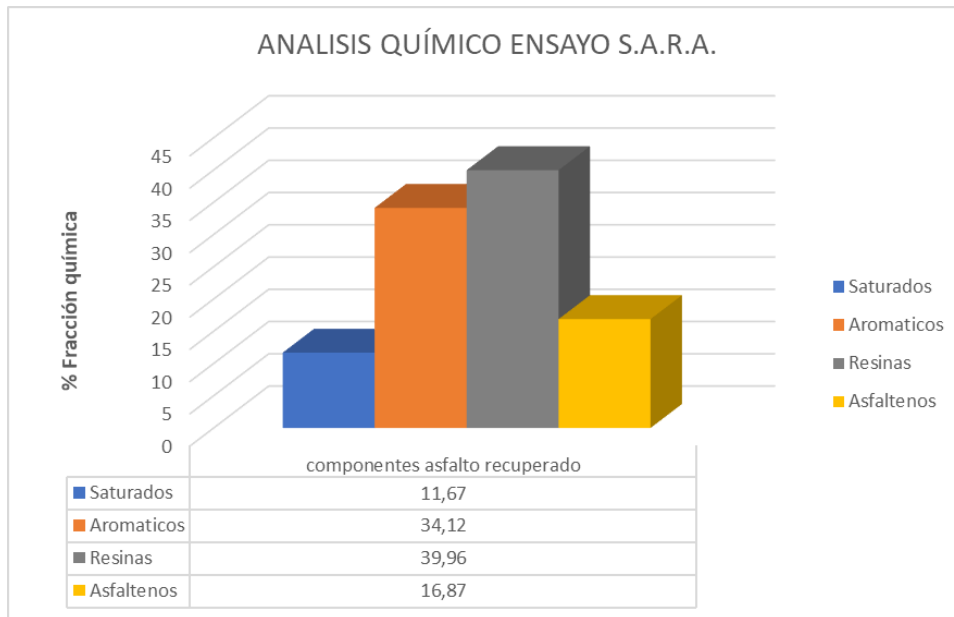


Ilustración 39 Análisis químico ensayo SARA

Fuente: propia del autor

A continuación, en la ilustración 40 se grafica el análisis S.A.R.A para una muestra de asfalto convencional AC 60 -70:

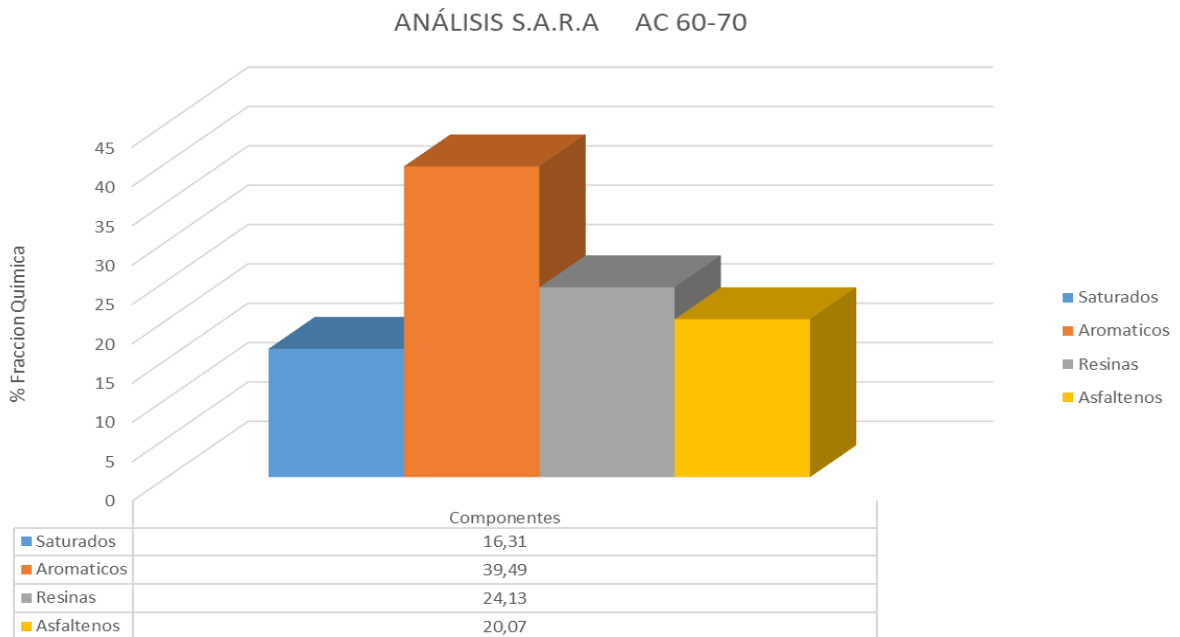


Ilustración 40 Análisis químico ensayo SARA AC 60-70



Fuente: Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 17, p. 47-56. Julio 2012 Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).

Teniendo en cuenta la ilustración 39 donde se observa el análisis química del ensayo SARA para el asfalto recuperado de MAN y la ilustración 40 donde se encuentra el de un asfalto convencional AC 60-70, se realiza una comparación entre estos dos asfaltos, donde se puede determinar que el asfalto recuperado de la mezcla asfáltica natural, presenta un mayor contenido de resinas en comparación a un asfalto AC 60–70, el cual es del 38,96%, lo que indica que contiene un alto contenido de adherencia; posteriormente en un orden de mayor a menor cantidad de compuestos, se observa que el asfalto natural recuperado contiene un porcentaje de aromáticos de 34,12%, ,con una mayor susceptibilidad a la oxidación que el asfalto AC 60 –70 el cual tiene un valor de 24,13%, de estas dos fracciones se compone principalmente el asfalto natural recuperado de la vereda Verdeyaco, y en menor medida contiene un porcentaje de asfáltenos de 16,67%, lo cual contribuye en menor grado a la viscosidad y adhesividad del asfalto y una baja susceptibilidad a la segregación . Por último, se presenta una fracción menor de saturados del 11,25%, los cuales son compuestos de hidrocarburos sin enlaces dobles o triples, lo que le confiere una mayor estabilidad y resistencia al envejecimiento.

El contenido de cada fracción permite ajustar las propiedades del asfalto para cumplir con los requisitos específicos de una aplicación vial determinada.

8.3.11 Viscosidad del asfalto empleando viscosímetro rotacional

Se realiza la determinación de la viscosidad al asfalto convencional AC 60-70, asfalto natural recuperado y crudo mediano, empleando viscosímetro rotacional siguiendo los lineamientos indicados en la norma INV E 717-13 obteniendo los siguientes resultados:

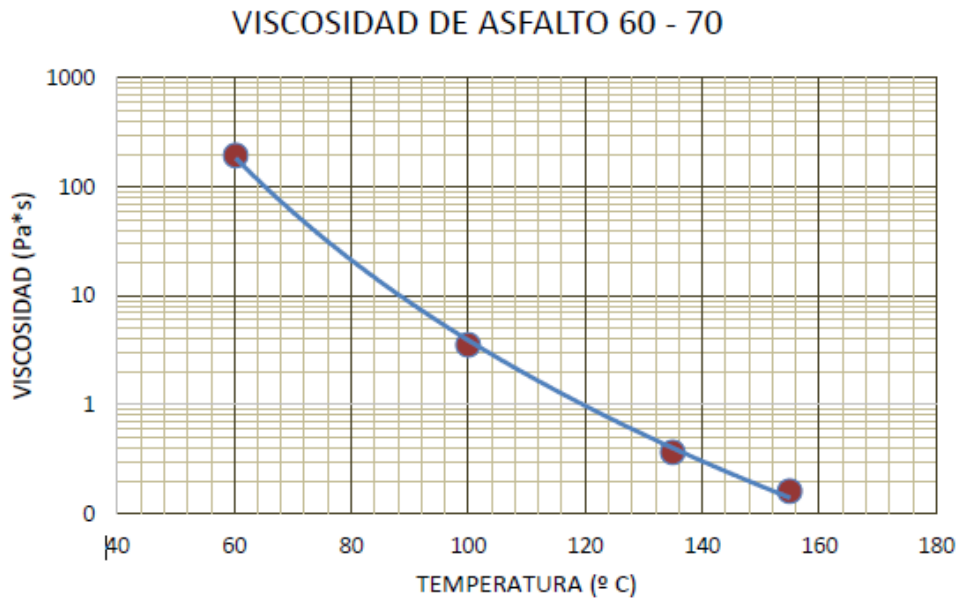


Ilustración 41 Viscosidad del asfalto AC 60-70

Fuente: propia del autor

VISCOSIDAD DEL CRUDO

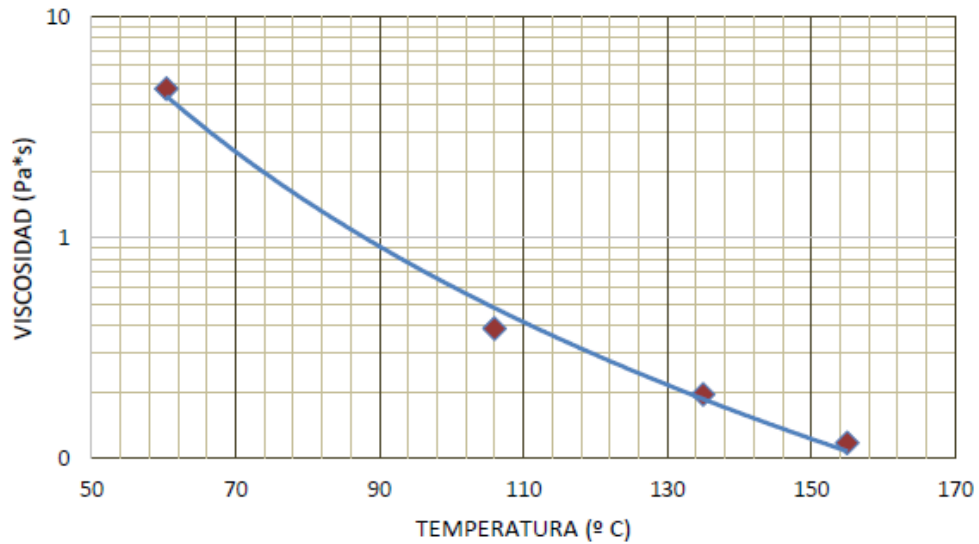


Ilustración 42 Viscosidad del crudo mediano

Fuente: propia del autor

VISCOSIDAD DE ASFALTO RECUPERADO

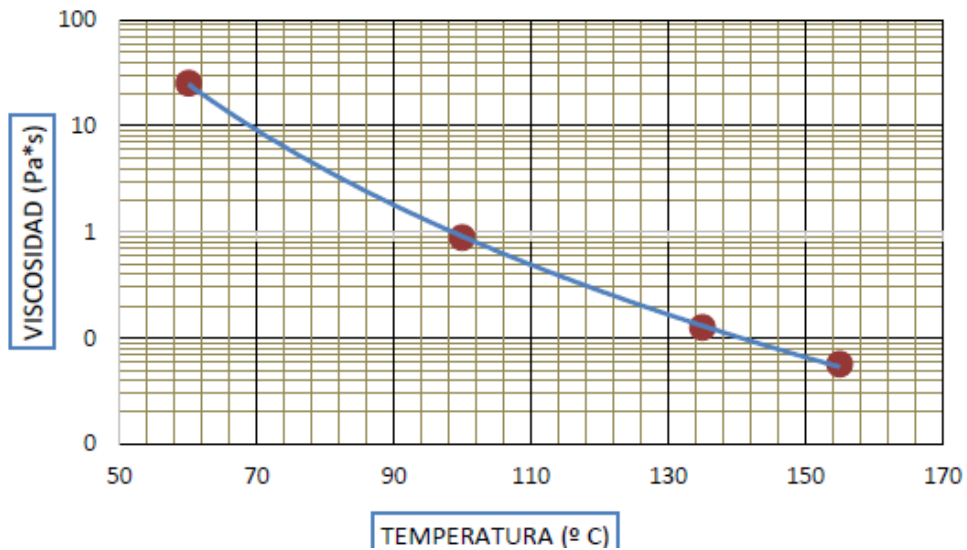


Ilustración 43 Viscosidad del asfalto recuperado

Fuente: propia del autor

A continuación, se presenta la ilustración 44 donde se evidencian los tres tipos de materiales con su respectiva viscosidad, en la gráfica se observan dos rectas las cuales corresponden a la viscosidad de mezclado a 0.17Pa.s y la viscosidad de compactación a 0.27Pa.s.

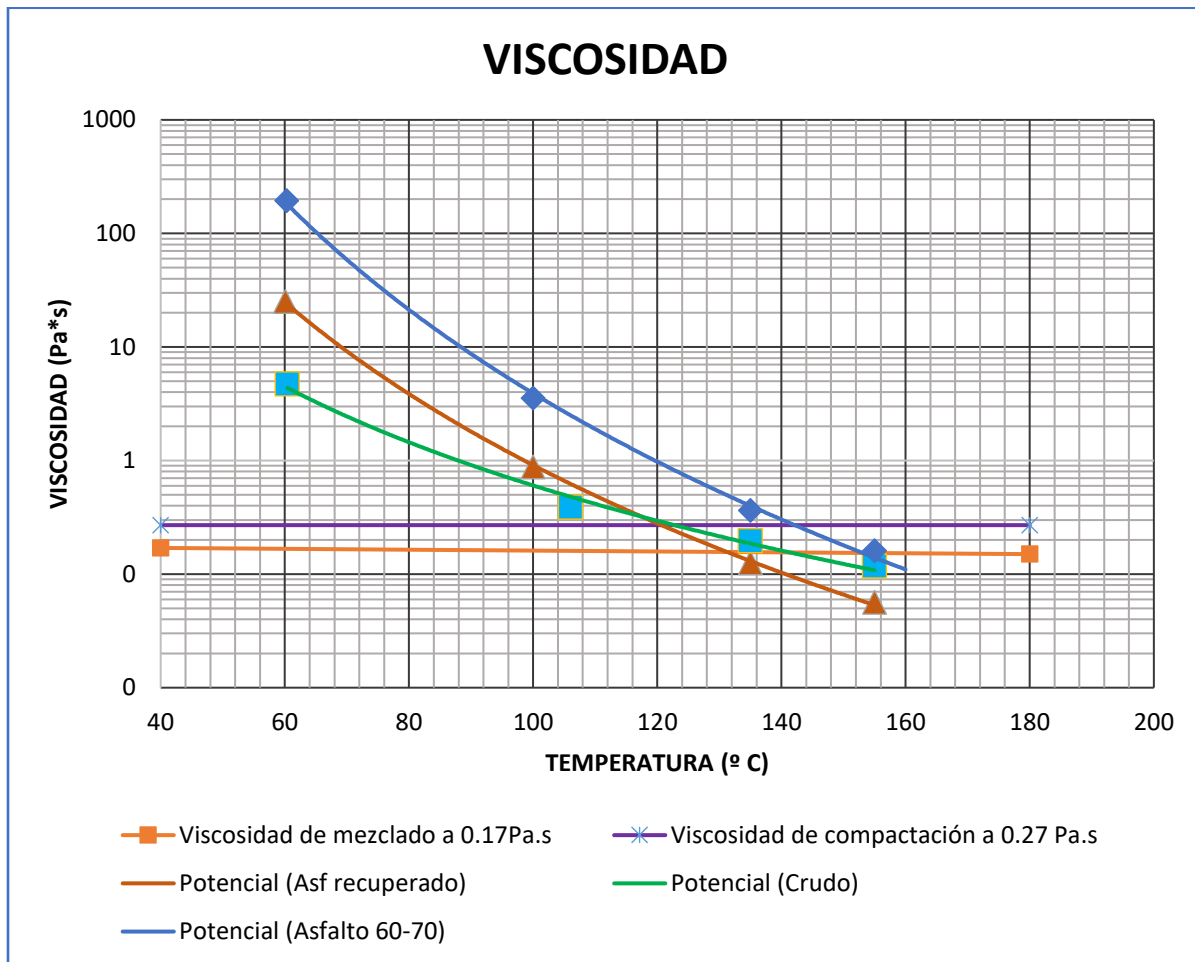


Ilustración 44 Comparación viscosidades

Fuente: propia del autor

Los valores de viscosidad absoluta del asfalto 60 – 70 obtenidos en el ensayo realizado en los laboratorios de la universidad, están dentro de los valores estandarizados para este tipo de asfaltos.



El crudo mediano tiene un rango de viscosidad entre 10 y 1000 Pa*s el cual no coincide con los valores de viscosidad obtenidos.

Para la temperatura de mezclado, se obtuvo que para el asfalto convencional AC 60 –70 fue de 157°C, para el asfalto recuperado de la mezcla asfáltica natural de 135°C y para el crudo extraído del yacimiento de Verdeyaco es de 140 °C; Por otra parte, se tiene que la temperatura de compactación del asfalto convencional A C 60-70 es de 143°C mientras que para el asfalto recuperado y el crudo se tiene una temperatura de 120°C.

Tabla 18 Comparativa de T. de Mezclado y T. de Compactación

Material\Temperaturas	T. Mezclado (°C)	T. Compactación (°C)
AC 60-70	157	143
Asf. Nat. Recuperado	135	120
Crudo	140	120

Fuente: Propia del autor

Los resultados obtenidos en la tabla 18 donde se encuentra la comparativa de temperatura de mezclado y compactación para cada material, son coherentes con la consistencia que se obtuvo del asfalto natural recuperado, debido a que al ser un material de características blandas tiende a pasar del estado semisólido a líquido a una temperatura más temprana que el asfalto convencional, por lo tanto, sus temperaturas de trabajo son más rápidas de alcanzar en un proceso constructivo.



8.4 Mezcla asfáltica natural adicionado con agregado de aporte

Se realizaron los ensayos correspondientes a la mezcla asfáltica natural adicionado con agregado de aporte obteniendo los siguientes resultados:

8.4.1. Marshall modificado

Se llevaron a cabo los siguientes ensayos: determinación del peso específico total siguiendo los lineamientos indicados en la norma INV E -733, análisis de la densidad y el contenido de vacíos (INV E-735) y medición de la estabilidad y flujo Marshall (INV E - 748), obteniendo la siguiente tabla presentada a continuación:



Tabla 19 Resumen de cálculos análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente.

MUESTRA N°	ASFALTO Pb (%)	ESPESOR PROBETA (cm)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Gmb	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Gmm	GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DEL AGREGADO Gse	ASFALTO ABSORBIDO Pba (%)	CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO Pbe (%)	VACIOS EN LOS AGREGADOS MINERALES VAM	VACIOS DE AIRE Va	VACIOS LLENOS DE ASFALTO (% VFA)	RELACIÓN DE POLVO RP	ESTABILIDAD SIN INMERSIÓN			ESTABILIDAD EN INMERSIÓN			ESTABILIDAD RESIDUAL (%)
												MEDIDA (Kg)	CORREGIDA (kN)	FLUJO (mm)	MEDIDA (Kg)	CORREGIDA (kN)	FLUJO (mm)	
1	4	6.74	2.041	2.513	2.716	2.10	1.984	23.74	18.78	20.89	0.76	273.82	2.578	4.25				
2		6.56										0.000						
3		6.60										262.33	2.470	3.75				
4		6.53													105.31	0.991	1.5	
5		6.59													153.18	1.442	1.55	
6		6.51													101.48	0.955	1.55	
PROMEDIO												1.682	4.00		1.130	1.53	67.14	
1	4.5	6.49	2.032	2.469	2.690	1.57	3.004	24.48	17.70	27.70	0.50	296.79	2.911	4.75				
2		6.56										283.39	2.779	5.25				
3		6.58										545.72	5.352	5.75				
4		6.56													277.65	2.723	1.95	
5		6.64													245.09	2.404	1.75	
6		6.61													172.33	1.690	1.80	
PROMEDIO												3.680	5.25		2.272	1.83	61.73	
1	5	6.63	2.032	2.419	2.655	1.13	3.930	24.87	16.00	35.67	0.38	0.000						
2		6.38										327.43	3.211	6.50				
3		6.43										538.06	5.277	7.50				
4		6.44													201.05	1.972	1.50	
5		6.39													170.42	1.671	1.85	
6		6.66													109.14	1.070	1.55	
PROMEDIO												2.829	7.00		1.571	1.63	55.53	
1	5.5	6.80	2.052	2.396	2.653	1.09	4.467	24.54	14.36	41.50	0.34	312.11	3.061	5.00				
2		6.63										721.88	7.079	6.25				
3		6.70										333.18	3.267	7.25				
4		6.47													381.05	3.737	1.85	
5		6.48													340.83	3.342	1.60	
6		6.49													214.46	2.103	1.95	
PROMEDIO												4.469	6.17		3.061	1.80	68.49	
1	6	6.45	2.058	2.238	2.472	-1.38	7.299	24.73	8.04	67.48	0.21	0.000						
2		6.60										511.25	4.813	4.25				
3		6.54										308.28	2.902	5.75				
4		6.32													147.44	1.388	2.00	
5		6.41													212.54	2.001	1.90	
6		6.70													245.09	2.307	2.45	
PROMEDIO												2.572	5.00		1.899	2.12	73.83	

Fuente: propia del autor



En la tabla 19 donde se encuentra el resumen de cálculos del análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente, se observa que el porcentaje de asfalto natural que posee una mayor estabilidad tanto en inmersión como sin inmersión, es cuando el porcentaje es 5.5%, obteniendo así una estabilidad de flujo de 4.469 kN sin inmersión, y de 3.061 kN con inmersión por 3 días a 25°C.

Para el porcentaje de asfalto óptimo, se posee una estabilidad residual de 68.49%, obtenido así una pérdida la cual se puede controlar por medio de tratamientos superficiales o aditivos modificadores para mejorar la durabilidad y comportamiento del afirmado ante la presencia de agua y cambios de temperatura.

Por otro lado, en el análisis del flujo, se observa la capacidad de la mezcla asfáltica natural a deformarse bajo cargas aplicadas, es decir, que, a mayor cantidad de porcentaje de contenido de asfalto, hay una mayor capacidad de plasticidad de deformabilidad de la mezcla asfáltica natural y mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a las contracciones y expansiones térmicas.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que un flujo excesivamente alto puede llevar a problemas como la deformación permanente o la ruptura en el pavimento; como sería el caso de un porcentaje de 6% el cual posee una estabilidad residual de 73.83%, por lo cual, se determina con un óptimo contenido de asfalto, en este caso de 5.5%, que tiene un porcentaje de estabilidad de 68.49%, en consecuencia, es fundamental equilibrar el



flujo de la mezcla asfáltica en función de las condiciones específicas del proyecto, como el clima, el tráfico y la calidad de los materiales.

Finalmente, se observa una relación de polvo muy baja en las briquetas, esto es debido a que se usaron agregados de aporte con poca cantidad de llenante mineral, es decir suelo que pasa por el tamiz N° 200, por lo cual, se obtendrían mejores resultados si la cantidad de llenante mineral fuese el óptimo.



8.4.2 Ensayo cántabro

Se llevo a cabo la caracterización de la mezcla asfáltica natural adicionada con agregado de aporte, por medio del ensayo cántabro de perdida por desgaste, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 20 Resultados Cántabro

CANTABRO							
# PROBETA	PESO INICIAL	PESO FINAL A 100 REV	DESGASTE A 100 REV	DESGASTE PROM A 100 REV	PESO FINAL A 300 REV	DESGASTE A 300 REV	DESGASTE PROM A 300 REV
1	1112.2	1100.0	1	2	1087.3	2	4
2	1101.1	1033.1	6		800.0	27	
3	1096.7	1074.2	2		1025.2	7	
4	1106.7	1087.5	2		1056.6	5	

Fuente: propia del autor

Inicialmente, cabe destacar, que el cálculo del promedio de la perdida desgaste se realizó excluyendo la segunda briqueta, ya que el valor de esta probeta se encuentra muy alejada de las otras tres.

Por otro lado, se encontró en la teoría un valor de desgaste por abrasión en probetas, donde se puede observar que el porcentaje de perdida está por debajo de la especificación, debido a que tenemos un 4%, lo cual indica un buen comportamiento de la mezcla con el contenido óptimo de asfalto natural, estos valores indican un bajo porcentaje de vacíos y bajo desgaste.

Tabla 21 Criterios de dosificación para mezclas discontinuas tipo M

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	VALOR
Contenido de ligante: % en masa sobre el agregado seco, mínimo	-	5.0
Compactación: número de golpes por cara	E-760	50
Pérdida por abrasión en seco, máximo (%)	E-760	15
Vacíos con aire en la mezcla compactada, mínimo (%)	E-736	12

Fuente: Tabla Criterios de dosificación para mezclas discontinuas tipo M, 452 -6
 INVIAS.

8.5 Análisis con base en el artículo 442P del INVIAS

Se realiza el análisis a la mezcla asfáltica natural adicionada con agregado de aporte, según la especificación particular mezcla asfáltica naturales art. 442P del INVIAS, en la cual se menciona que las mezclas asfálticas natural con adición de agregado de aporte se pueden realizar de esta manera cuando se tengan “mezclas asfálticas naturales con altos contenidos de ligante asfáltico (mayor al 10%) que por sí solas no cumplan alguno de los requerimientos especificados, siendo necesario mejorar la estructura interparticular mediante la adición de un agregado de aporte.” 442P.4.2.2 Diseño de la mezcla, INVIAS.

A continuación, se presenta los criterios de cumplimientos presentes en el artículo ya mencionado.



Tabla 22 Criterios del Art. 422P INVIAS y MAN adicionado con agregado de aporte

CARACTERÍSTICAS	Artículo 442P INVIAS			MAN adicionado con agregado de aporte
	Mínimo	Promedio	Máximo	
Grado de curado %solvente evaporado Para mantenimiento Para pavimentación		25 50		47
Número de golpes por cara		75		75
%Vacíos en la mezcla	3	-	5	14.36
Estabilidad lb (25°C) Para mantenimiento Para pavimentación	500 750			688
Flujo 0.01" (25°C)	8		16	6.17
Estabilidad residual después de inmersión Durante 4 días a 25°C				68.49

Fuente: propia del autor.

Una vez realizados los diseños previos, se toma como referencia el artículo 442P del INVIAS, y se analiza el criterio de diseño conforme a los resultados obtenidos, para lo cual se obtiene de que los parámetros de flujo y porcentaje de vacíos en la mezcla no cumplen para una mezcla asfáltica como capa de rodadura, debido a que esta mezcla asfáltica natural podría ser susceptible al agrietamiento y falta de plasticidad, pero al observar la tabla 22 donde se encuentra una comparativa de los criterios de cumplimiento Art. 422P INVIAS y MAN con adicionado de agregado de aporte, los valores al parámetro mínimo se encuentran muy cercanos.

Por otro lado, la estabilidad residual que presenta la mezcla asfáltica natural con adición de agregado de aporte, es un valor bastante bueno en referencia a la normatividad, por lo cual, se obtiene una mezcla con alta capacidad para mantener su integridad estructural



después de un período de servicio y la aplicación de cargas repetidas, o sea una mayor resistencia, durabilidad y vida útil del pavimento. Por lo cual siendo un material encontrado en un yacimiento de forma natural presenta unas características que se acercan a las óptimas y a una funcionalidad para una capa de rodadura NT1 tomando la norma 442P del INVIAS.



9. Conclusiones

- Las mezclas asfálticas naturales y el crudo de esta zona en particular, presentan en su composición química una mayor cantidad de saturados y aromáticos que el asfalto convencional AC 60 –70 según el método de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier realizado por la técnica de reflectancia total atenuada, concluyendo así que la mezcla de asfalto natural tiene características químicas que se pueden reflejar en el asfalto mayor adherencia y mayor resistencia a la oxidación.
- Se debe realizar una capa impermeabilizante para la protección de la mezcla asfáltica natural con agregado de aporte debido a la pérdida de la resistencia inicial obtenida.
- Al observar el valor de estabilidad residual de 68.49% con el porcentaje óptimo de asfalto 5.5%, se observa una disminución importante de la estabilidad bajo la presencia de agua, por lo cual, para el proyecto de mejoramiento de vías terciarias utilizando mezcla asfáltica natural se recomienda hacer tratamientos superficiales para evitar la pérdida prematura de resistencia por la presencia de agua.
- Se obtuvo un porcentaje de desgaste en el ensayo del cántabro de 4%, valor que, de acuerdo a la literatura, representa un bajo desgaste en la mezcla asfáltica



natural y bajo porcentaje de vacíos, además, lo que indicaría una buena afinidad entre los agregados y el ligante, resistencia y durabilidad, esto al trabajar con el contenido óptimo de asfalto.

- La caracterización y composición química de la mezcla asfáltica natural realizada por medio de los ensayos de espectroscopia infrarroja y SARA, son de suma importancia para la investigación debido a que se encuentra ligada potencialmente con el comportamiento físico, reológico y al desempeño.
- Se obtuvo un crudo mediano extraído de la mezcla asfáltica natural, el cual, al compararlo con la clasificación de los asfaltos líquidos, corresponde a un asfalto líquido de curado medio, hecho que significa que se puede realizar una construcción en frío o temperatura ambiente, disminuyendo los consumos energéticos al no tener que recurrir a procedimientos en caliente, haciendo que la instalación se pueda realizar con maquinaria común y a costos bajos.
- La utilización de mezclas asfálticas naturales es una opción atractiva para mejorar las vías terciarias en zonas rurales y más alejadas, donde el acceso a recursos y materiales convencionales puede ser limitado.
- En la composición de la mezcla asfáltica natural a pesar de contener material orgánico, la cantidad de asfalto residual que se obtuvo fue de 25.6%, la cual aporta mucho en el comportamiento del afirmado estabilizado con mezcla asfáltica natural, debido a que con poca mezcla asfáltica se logra una mayor cantidad de

kilómetros mejorados y la cantidad del material orgánico que se obtiene al realizar la estructura para afirmado es mínimo respecto a lo que logra aportar por el hecho de tener esta alta cantidad de ligante.

- La mezcla de asfalto natural de Verdeyaco, es una solución de infraestructura vial para una subbase estabilizada, una base estabilizada, inclusive en el caso la estabilización de un material con características de afirmado, siendo esta una alternativa económica y técnicamente viable para realizar mejoramientos en vías terciarias.
- Una vez realizado los análisis comparativos con el Art. 442P del INVIAS podemos determinar que este material tiene unas características muy cercanas a una capa de rodadura para un NT1 a excepción de su flujo que no cumple por un rango del 1%, por lo cual se podría utilizar con éxito en capas de subbases y bases estabilizadas o para capa de rodaduras que tengan un flujo vehicular NT1
- La mezcla contiene un Alto contenido de cohesión Debido a la comparación de las Resinas entre una mezcla asfáltica natural y un asfalto convencional 60-70
- Según la composición química la mezcla de asfalto natural presenta una rigidez mayor que el asfalto convencional AC 60 –70 esto debido a una mayor cantidad de asfáltenos.



- Con respecto a una mayor cantidad de Saturados en la mezcla asfáltica podemos concluir que este material tiene un comportamiento mayor a la resistencia al envejecimiento y estabilidad en comparación a la mezcla AC 60 –70.
- Las mezclas Asfálticas Naturales de Verdeyaco con el agregado de aporte presenta una resistencia baja a temperaturas medias de servicio(P25)



10. Recomendaciones

- Se necesitan más investigaciones y estudios para comprender mejor las propiedades mecánicas, los componentes, los valores óptimos y las técnicas de construcción de las mezclas asfálticas naturales para el mejoramiento de carreteras terciarias.
- Es necesario establecer políticas y estrategias a nivel nacional y local para promover la utilización de mezclas asfálticas naturales para la construcción y el mantenimiento de carreteras terciarias en zonas rurales y remotas.
- La inclusión de asfaltos naturales puede mejorar significativamente la calidad y las propiedades mecánicas de las capas de pavimento en comparación con el uso de otros tipos de estabilizadores.
- La utilización de mezclas asfálticas naturales en el mejoramiento de carreteras terciarias mediante afirmado estabilizado con un porcentaje de asfalto del 5,5% es técnicamente viable y puede producir una carretera funcional y duradera.
- Las mezclas asfálticas naturales son una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente a las mezclas asfálticas convencionales por su menor consumo de recursos.



11. Bibliografía

- Bedoya, J. M. (2012). (2012). Asfalto natural modificado. *Asfalto Natural Modificado*, 66, 37–39.
- Departamento Nacional de Planeación. (2016a). Mejoramiento de Vías Terciarias Mediante el Uso de Placa Huellla. *Proyectos TIPO. Soluciones Ágiles Para Un Nuevo País*, 1, 44.
- Departamento Nacional de Planeación. (2016b). Política para la Gestión de la Red Terciaria: presupuesto informado por resultados. *Departamento Nacional de Planeación*, 1–50.
- Fredy Alberto, R. (2012). *DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES SARA DE ASFALTOS COLOMBIANOS ENVEJECIDOS AL MEDIO AMBIENTE EMPLEANDO CROMATOGRFÍA LÍQUIDA EN COLUMNA*. 47–56.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. (2022). Capítulo 3 - Afirmados, Subbases y Bases. *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de Ensayo Para Materiales de Carreteras*, 150.
- INVIAS, I. N. D. V. (2013a). *MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO*. 1–28.
- INVIAS, I. N. D. V. (2013b). *No Title*. 1–95.
- INVIAS, I. N. D. V. (2017). *Art. 321P*. 1–22.
- Ministro de Transporte. (2017). Nuevo país. *INVIAS*, 245.
- Módulo, D. D. E. L., & Herrera-montealegre, M. (2014). *PAVIMENTOS MEDIANTE CRITERIOS ASSHTO 1993 Y 2002*.
- Pavimentos, P. D. E., & Parte, P. (n.d.). *NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS CAPITULO 700*.LO 700.
- Ruíz, J. C., & Reyes, O. J. (2016). *Evaluación del comportamiento mecánico de asfalto natural a partir de muestras a temperatura ambiente provenientes de Caquetá, Colombia Assessment of mechanical response of natural asphalt using ambient*



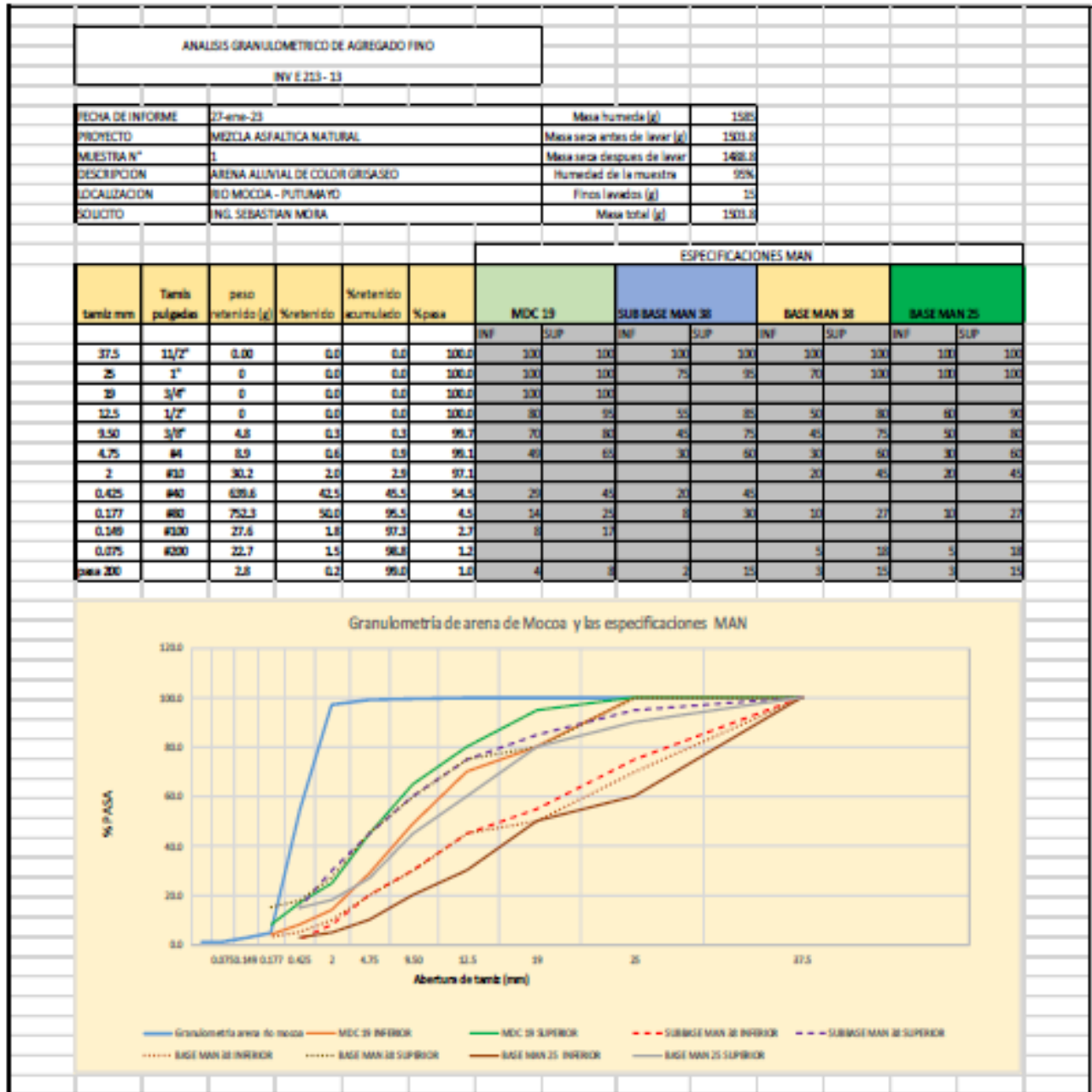
temperature samples from Caquetá, Colombia. 6(2), 145–154.

Velázquez, R. T., Villares, H. H., & Zepeda, F. R. (2017). Prueba de desempeño en diferentes mezclas asfálticas. *Entretextos*, 24(2007–5316), 97–107.

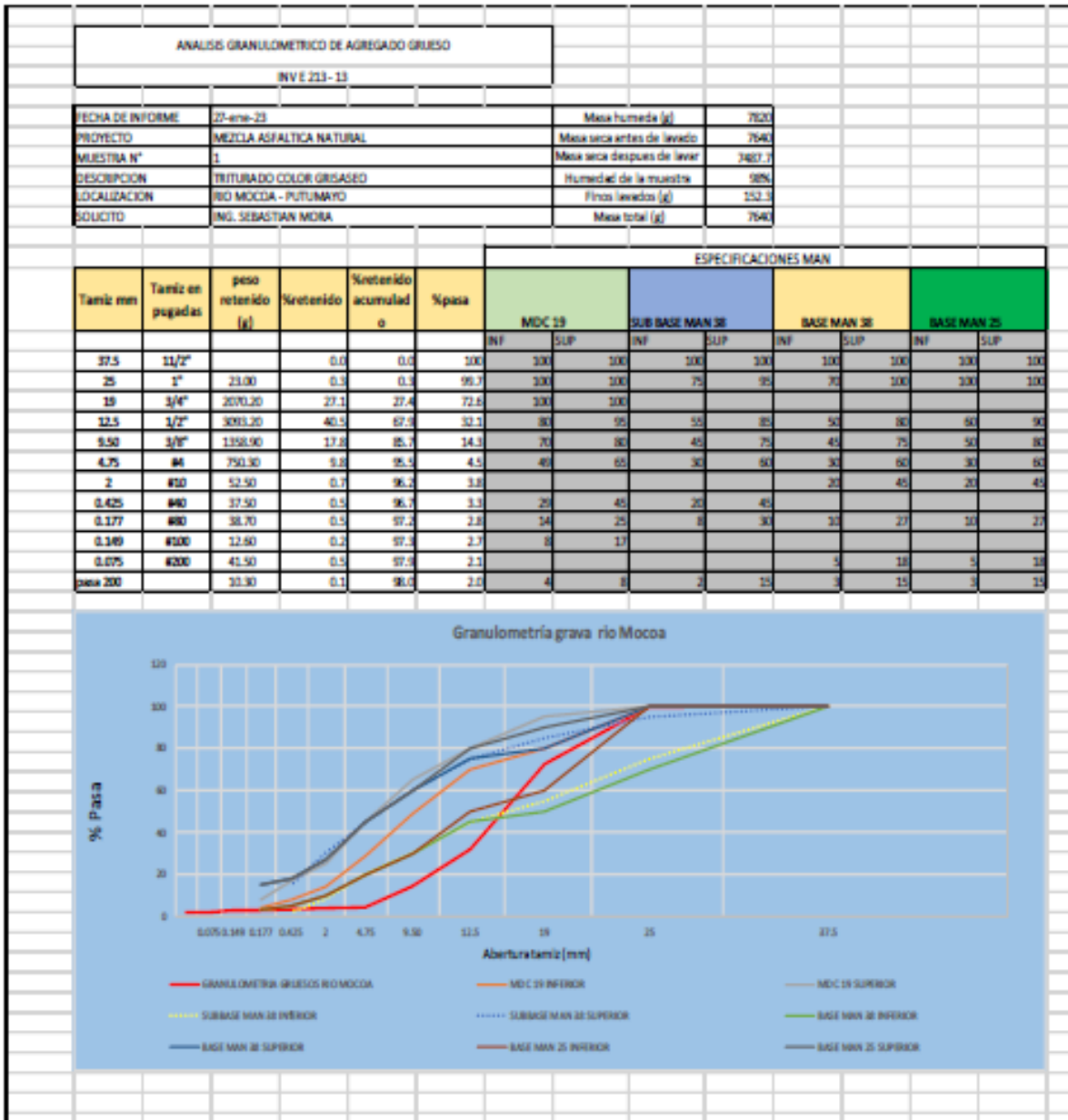
Pro, M. (2011). Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre.

12. Anexos.

12.1 Análisis granulométrico



12.2 Análisis granulométrico





12.3 Densidad Bul (Peso unitario)

DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO INV E - 217 - 13			
FECHA DE INFORME	27-ene-23		
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL		
MUESTRA N°	1		
DESCRIPCION	ARENA ALLUVIAL DE COLOR GRISASEO		
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO		
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA		
DATOS DE RECIPIENTE			
MASA DEL RECIPIENTE (T) Kg	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (V) m3		
4.695	0.008036		
MASA UNITARIA SIMPLE			
ENSAYO N°	1	2	3
MASA T + MUESTRA (G)	8.045	7.985	8.050
DENSIDAD BULK KG/m3	1103.42556	1083.66271	1105.07246
MASA UNITARIA COMPUESTA			
ENSAYO N°	1	2	3
MASA T + MUESTRA (G)	8.47	8.555	8.550
DENSIDAD BULK KG/m3	1243.41238	1271.40975	1269.76285
OBSERVACION			
La realizacion de este ensayo se hizo con la humedad natural con la que llego la muestra			

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
 PROYECTO DE GRADO



DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO INV E - 217 - 13			
INV E 217 - 13			
FECHA DE INFORME	27-ene-23		
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL		
MUESTRA N°	1		
DESCRIPCION	TRITURADO COLOR GRISASEO		
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO		
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA		
DATOS DE RECIPIENTE			
MASA DEL RECIPIENTE (T) Kg	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (V) Kg/m3		
9.135	0.014		
MASA UNITARIA SIMPLE			
ENSAYO N°	1	2	3
MASA T + MUESTRA (KG)	28.795	29	28.595
DENSIDAD BULK KG/m3	1404.28571	1396.07143	1390
MASA UNITARIA COMPUESTA			
ENSAYO N°	1	2	3
MASA T + MUESTRA (G)	30.285	30.62	30.675
DENSIDAD BULK KG/m3	1510.71429	1534.64286	1538.57143
Observacion: La realizacion de este ensayo se hizo con la humedad natural con la que llevo la muestra.			



12.4 Gravedad específica grava

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO					
INV E 223 - 13					
FECHA DE INFORME	27-ene-23				
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL				
MUESTRA N°	1				
DESCRIPCION	TRITURADO COLOR GRISASEO				
LOCALIZACION	RIO MOCOCA - PUTUMAYO				
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA				
INFORMACION DE LA GRAVA					
	MUESTRA 1	MUESTRA 2			
MASA SECA AL HORNO (SH) g	3215	2965	DENSIDAD DEL AGUA g/cm ³	0.997	
MASA SSS g	3300	3041			
MASA EN INMERSION g	2035	1880			
GRAVEDAD ESPECIFICA (SH)	2.54	2.55			
GRAVEDAD ESPECIFICA (SSS)	2.61	2.62			
GRAVEDAD ESPECIFICA (AP)	2.72	2.73			
DENSIDAD SH	2.53	2.55			
DENSIDAD SSS	2.60	2.61			
DENSIDAD AP	2.72	2.72			
ABSORCION %	2.64	2.56			



12.5 Equivalente de arena

EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS				
INV E - 133 - 13				
FECHA DE INFORME	27-ene-23			
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL			
MUESTRA N°	1			
DESCRIPCION	ARENA ALLUVIAL DE COLOR GRISASEO			
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO			
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA			
EQUIVALENTE DE ARENA				
TIPO DE MUESTRA	Arena			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	#4			
MASA DE ENSAYO	1645g			
MUESTRA	LECTURA DE ARENA	LECTURA DE ARCILLA	EQUIVALENTE DE ARENA (%)	
1	3.1	3.3	93.9	
2	3.3	3.4	97.1	
3	3.2	3.4	94.1	
		Promedio	95.0	
Observaciones:				



12.6 Índice de aplanamiento y alargamiento

INDICES DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS				
INV E - 230 - 13				
FECHA DE INFORME	27-ene-23			
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL			
MUESTRA N°	1			
DESCRIPCION	TRITURADO DE COLOR GRISASEO			
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO			
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA			
INDICE DE APLANAMIENTO				
TIPO DE MUESTRA	TRITURADO			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"			
MASA DE ENSAYO	2079.5			
ABERTURA DE TAMIZ	FRACCION g	PARTICULAS PLANAS g	INDICE DE APLANAMIENTO (IAI) %	INDICE DE APLANAMIENTO
3/4"	542	76.7	14.2	
1/2"	810	132.2	16.3	
3/8"	356	54.2	15.2	
1/4"	371.5	21.9	5.9	
TOTALES	2079.5	285		14
INDICE DE ALARGAMIENTO				
TIPO DE MUESTRA	TRITURADO			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"			
MASA DE ENSAYO	2079.5			
ABERTURA DE TAMIZ	FRACCION g	PARTICULAS ALARGADAS g	INDICE DE ALARGAMIENTO (IL) %	INDICE DE ALARGAMIENTO
3/4"	542	55.8	10.3	
1/2"	810	357.7	44.2	
3/8"	356	126.5	35.5	
1/4"	371.5	331.8	89.3	
TOTALES	2079.5	871.8		42



12.7 Partículas fracturadas

PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN AGREGADOS GRUESOS	
INV E - 227 - 13	
FECHA DE INFORME	27-ene-23
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
MUESTRA N°	1
DESCRIPCION	TRITURADO DE COLOR GRISASEO
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA
TIPO DE MUESTRA	TRITURADO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"
MASA DE ENSAYO (g)	1500
PARTICULAS FRACTURADAS (%)	100
OBSERVACION	Mediante metodo visual se determino que el 100 % de las particulas presentan caras fracturadas



12.8 Resistencia a la degradación en máquina de los Ángeles

RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES			
INV E - 218 - 13			
FECHA DE INFORME	27-ene-23		
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL		
MUESTRA N°	1		
DESCRIPCION	TRITURADO DE COLOR GRISASEO		
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO		
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA		
TIPO DE MUESTRA	TRITURADO		
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"		
MASA DE ENSAYO (g)	5000		
METODO	A		
RESULTADO			
MASA INICIAL (g)	MASA LUEGO DEL ENSAYO	% PERDIDA A 100 REV	% PERDIDA A 500 REV
5000	4585	8.3	
	3630		27.4



12.9 Gravedad y especifica agregados finos

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS INV E- 222 - 13
--

FECHA DE INFORME	10-feb-23
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
MUESTRA N°	1
DESCRIPCION	ARENA ALUVIAL DE COLOR GRISASEO
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA

INFORMACION DE LA ARENA			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
MASA SECA AL HORNO (SH) g	489,40	491,00	489,90
MASA SSS g	500,00	500,00	500,00

997,5 Kg/cm³

Picnometro + agua (g)	Picnometro aforado + agua + muestra (g)
658,80	969,50
653,10	962,50
658,70	969,90

				PROMEDIO
GRAVEDAD ESPECIFICA (SH)	2,59	2,58	2,59	2,59
GRAVEDAD ESPECIFICA (SSS)	2,64	2,62	2,65	
GRAVEDAD ESPECIFICA (AP)	2,74	2,70	2,74	

ABSORCION %	2,17	1,83	2,06
-------------	------	------	------

DENSIDAD SH (Kg/m ³)	2578,85	2569,64	2588,32
DENSIDAD SSS (Kg/m ³)	2634,71	2616,74	2641,68
DENSIDAD AP (Kg/m ³)	2731,82	2696,99	2734,61



12.10 Contenido de finos

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE VACIOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS (INFLUENCIADO POR LA FORMA DE LAS PARTICULAS, LA TEXTURA SUPERFICIAL Y LA GRANULOMETRIA) INV E- 289 - 13

FECHA DE INFORME	30-Feb-13
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
MUESTRA N°	1
DESCRIPCION	ARENA ALLVIAL DE COLOR GRISASEO
LOCALIZACION	RIO MOCCA - PUTUMAYO
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA

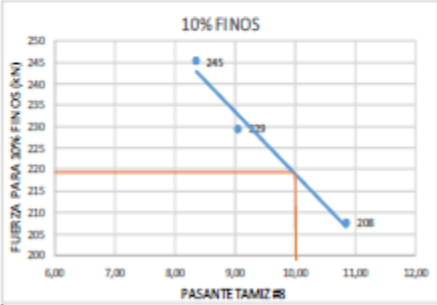
DATOS DE RECIPIENTE	
MASA DEL RECIPIENTE	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (V) cm ³
185,6	99,55

DATOS DE ENSAYO			
ENSAYO N°	1	2	3
MASA CILINDRO + MUESTRA (g)	327,4	327,6	327,10
MASA DEL AGREGADO EN EL RECIPIENTE MEDIDOR (g)	142,8	142	141,5

% DE VACIOS AGREGADO FINO SIN COMPACTAR				
ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO (Ls)
GRAVEDAD ESPECIFICA	2,59	2,59	2,59	
% DE VACIOS (U)	45,00	44,93	45,12	45

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
 PROYECTO DE GRADO

12.11 10% de finos

DETERMINACION DEL VALOR DE 10% DE FINOS INV E - 224 - 13																																				
FECHA DE INFORME	13-feb-23																																			
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL																																			
MUESTRA N°	1																																			
DESCRIPCION	TRITURADO DE COLOR GRISASEO																																			
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO																																			
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA																																			
TIPO DE MUESTRA	TRITURADO																																			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"																																			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>PRUEBA 1</th> <th>PRUEBA 2</th> <th>PRUEBA 3</th> <th>PRUEBA 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MASA 1</td> <td>2575</td> <td>2580</td> <td>2540</td> <td>2555</td> </tr> <tr> <td>MASA 2</td> <td>215</td> <td>280</td> <td>230</td> <td>325</td> </tr> <tr> <td>MASA 3</td> <td>2360</td> <td>2300</td> <td>2310</td> <td>2230</td> </tr> <tr> <td>CARGA (F)</td> <td>216,4</td> <td>220,2</td> <td>214</td> <td>277,1</td> </tr> <tr> <td>% PASA (m)</td> <td>8,35</td> <td>10,85</td> <td>9,06</td> <td>12,72</td> </tr> <tr> <td>FUERZA 10%</td> <td>245</td> <td>208</td> <td>229</td> <td>232</td> </tr> </tbody> </table>		PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	MASA 1	2575	2580	2540	2555	MASA 2	215	280	230	325	MASA 3	2360	2300	2310	2230	CARGA (F)	216,4	220,2	214	277,1	% PASA (m)	8,35	10,85	9,06	12,72	FUERZA 10%	245	208	229	232
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4																																
MASA 1	2575	2580	2540	2555																																
MASA 2	215	280	230	325																																
MASA 3	2360	2300	2310	2230																																
CARGA (F)	216,4	220,2	214	277,1																																
% PASA (m)	8,35	10,85	9,06	12,72																																
FUERZA 10%	245	208	229	232																																
	<div style="text-align: center;">  </div>																																			
CONDICION DEL AGREGADO	Seco al horno																																			
VALOR 10% (kN)	219																																			

12.12 Sanidad de los agregados

SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO			
INV 8 - 200 - 18			
FECHA DE INFORME	18-Feb-18		
PROYECTO	MIXCZA ANALÍTICA NATURAL		
MUESTRA N°	1		
DIRECCIÓN	TRATAMIENTO DE COLOR GRUESADO		
LOCALIZACIÓN	BIO MACOLA - PUTUMAYO		
SOLICITO	EVL. SBRANTIAN MORA		

INDICE DE APLANAMIENTO	
TIPO DE MUESTRA	TRITUBADO
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	3/8"
MAZA DE ENSAYO (g)	1817

ABERTURA DE TAMIZ	FRACCIÓN (MUESTRA) (g)
3/8"	2020.2
1/2"	2020.2
3/4"	2020.9
#4	202.9
TOTALES	7272.8

ABERTURA DE TAMIZ	FRACCIÓN (FINA) (g)
#4	8.9
#10	80.2
#40	896.8
#60	212.9
#100	22.8
#200	22.7

TAMIZ	PESO INICIAL MUESTRA DE ENSAYO (g)	PESO FINAL MUESTRA DE ENSAYO (g)	PERDIDA DE MUESTRA (g)
PASA 3/8" - RET 1/2"			
PASA 1/2" - RET 3/4"	1000	978	22
PASA 3/4" - RET #4	808	289.2	518.8
PASA No. 10 - RET No. 60	100	96.8	3.2
PASA No. 60 - RET No. 100	100	83	17
TOTAL	1817		

EXAMEN CUANTITATIVO DE LAS PARTICULAS RESECA Y FINA				
TAMAÑO DE TAMIZ	GRADUACION DE MUESTRA ORIGINAL EN %	MAZA DE LAS FRACCIONES I ANTES DE ENSAYO (g)	% QUE PASA EL TAMIZ DESIGNADO DESPUES DE ENSAYO	PERDIDA PONDERAL A EN %
ENSAYO DE SOLIDES DEL AGREGADO RESECA				
18.0mm(3/4") A 8.0mm (1/2")				
12.5mm(1/2") A 8.0mm (3/8")	22.7	1000	0.7	0.3
8.0mm(3/8") A 4.75mm (No. 4)	80.7	808	8.1	1.2
				1.4
ENSAYO DE SOLIDES DEL AGREGADO FINO				
600µm (No. 250) a 420µm (No. 40)	13.6	100	8.1	1.0
150µm (No. 100) a 75µm (No. 200)	13.6	100	0.7	0.3
				1.3

EXAMEN CUALITATIVO DE LAS PARTICULAS RESECA					
TAMAÑO TAMIZ	PARTICULAS QUE EXHIBEN ALTERACION				
	ACTIVA	DESINTEGRACION	ASERTAMIENTOS	EXPOLVACION	Nº. TOTAL PARTICULAS I ANTES DE ENSAYO
Nº. PARTICULAS					
18.0mm(3/4") A 8.0mm (1/2")	0	1	-	-	100
8.0mm(3/8") A 4.75mm (No. 4)	0	2	-	-	128
% PARTICULAS					
18.0mm(3/4") A 8.0mm (1/2")	0.0	0.7	-	-	1.00
8.0mm(3/8") A 4.75mm (No. 4)	0.0	1.7	-	-	1.33

OBSERVACIONES: El tipo de colación empleada para el ensayo de solides, fue sulfato de magnesio.



12.13 Azul de metileno

VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS	
INV E - 235 - 13	

FECHA DE INFORME	24-feb-23
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
MUESTRA N°	1
DESCRIPCION	ARENA ALLUVIAL DE COLOR GRISASEO
LOCALIZACION	RIO MOCOA - PUTUMAYO
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA

AZUL DE METILENO	
TIPO DE MUESTRA	ARENA DE RIO
MASA DE ENSAYO 1 (g)	205.9
MASA DE ENSAYO 2 (g)	205.2

MUESTRA DE ARENA 1							
TIEMPO (MINUTOS)	1	2	3	4	5	6	7
DOSIS (ml)	5	5	0	0	0	0	0
REACCION	-	+	+	+	+	+	+

MUESTRA DE ARENA 2							
TIEMPO (MINUTOS)	1	2	3	4	5	6	7
DOSIS (ml)	5	5	0	0	0	0	0
REACCION	-	+	+	+	+	+	+

VALOR DE AZUL DE METILENO (V1/M1)X10					
MUESTRA No.	AZUL DE METILENO ADICIONADO (ml)	MUESTRA DE ARENA (g)		VA (mg/g)	
1	10	205,9		0,5	
2	10	205,2		0,5	
PROMEDIO				0,5	

Observaciones: Se realizaron 2 pruebas de azul de metileno para confirmar el resultado.



12.14 Extracción

EXTRACCION CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS
INV E - 732 - 13

FECHA DE INFORME	3-mar-23
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
MUESTRA N°	1
DESCRIPCION	MEZCLA ASFALTICA NATURAL (MAN)
LOCALIZACION	VERDEYACO - CAUCA
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA

DATOS DE EXTRACCION						
TIPO DE MUESTRA	MASA INICIAL DE ENSAYO 1 (g)	MASA INICIAL DE ENSAYO 2 (g)	PAPEL FILTRO (1) ANTES DE ENSAYO (g)	PAPEL FILTRO (2) ANTES DE ENSAYO (g)	MASA 1 DESPUES DE CENTRIFUG A (g)	MASA 2 DESPUES DE CENTRIFUG A (g)
MEZCLA ASFALTICA NATURAL	500	500	13,5	13,4	70	60

RESULTADOS % DE ASFALTO	
PESO RETENIDO FILTRO 1	14,4
PESO RETENIDO FILTRO 2	14,5
PESO DE MUESTRA (1) DESPUES DE EXTRACCION	69,1
PESO DE MUESTRA (2) DESPUES DE EXTRACCION	58,9

% ASFALTO DE EXTRACCION	
MUESTRA 1	13,8
MUESTRA 2	11,8
PROMEDIO %	12,8

OBSERVACION: El solvente utilizado fue gasolina, para realizar el proceso de extraccion de asfalto natural (MAN).



12.15 Destilación de asfaltos líquidos

DESTILACION DE ASFALTO LIQUIDOS	
INV E - 723 - 13	

FECHA DE INFORME	10-abr-23
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
MUESTRA N°	1
DESCRIPCION	CRUDO
LOCALIZACION	VERDEYACO - CAUCA
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA

VOLUMEN DE MUESTRA (ml)	200	CONDICIONES DE ENSAYO	
GRAVEDAD ESPECIFCA DE ASFALTO	0.9	ALTITUD (m)	1800

RESULTADOS

TEMPERATURA (°C)	LECTURA (ml)	% DESTILADO ACUMULADO	% DESTILADO	% DESTILADO RESPECTO A DT	RESIDUO ASFALTICO (%)	
182	42	21	21	43.3	DESTILADO TOTAL (%)	48.5
216	70	35	14	28.9		
250	84	42	7	14.4		
306	94	47	5	10.3		
349	97					
					51.5	

12.16 Densidad y densidad relativa de los materiales bituminosos

DENSIDAD Y DENSIDAD RELATIVA DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS	
NLT - 122/84	

FECHA DE INFORME	29-may-23
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
MUESTRA N°	1
DESCRIPCION	CRUDO
LOCALIZACION	VERDEYACO - CAUCA
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA

METODO DEL PICNOMETRO TIPO GAY LUSSAC



DATOS Y RESULTADOS

MASA DEL PICNOMETRO VACIO TEMP AMBIENTE, m1 (g)	17.567
MASA DEL PICNOMETRO VACIO TEMP ENSAYO, m'1 (g)	17.573
MASA DE PICNOMETRO LLENO DE AGUA, m2 (g)	43.033
MASA DE PICNOMETRO LLENO DE MUESTRA, m3 (g)	40.683

CONDICIONES DE ENSAYO	
TEMPERATURA DE ENSAYO °C	25
DENSIDAD DEL AGUA A T °C, g/cm3 (ρ)	0.997 0

DENSIDAD RELATIVA (d)	$\frac{m3 - m'1}{m2 - m1}$
	0.91

DENSIDAD, g/cm3 (d)	$d' = d * \rho$
	0.90

GRADO API	$\frac{141.5}{d} - 131.5$
	24



12.17 Viscosidad asfalto recuperado

DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO UN VISCOSIMETRO ROTACIONAL	
INV E - 717 - 13	

FECHA	31-may-23							
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL							
MUESTRA N°	1							
DESCRIPCION	ASFALTO RECUPERADO							
LOCALIZACION	VERDEYACO - CAUCA							
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA							
DATOS DE ENSAYO								
MUESTRA	Asfalto recuperado							
TAMAÑO DE VASTAGO (mm)	27							
RESULTADOS								
# DATOS	TEMP ° C	RPM	TORQUE %	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa*s)	VISCOSIDAD PROM (Pa*s)	CORTANTE (din/cm2)	VELOCIDAD (1/s)
1	60.1	9.3	96.1	25161	25.161	25.179	795	3.16
2		9.3	93.8	25215	25.215		797	4.16
3		9.3	93.8	25161	25.161		796	5.16
4	100	230	83.9	904	0.904	0.877	705	78.2
5		230	80.9	876	0.876		684	79.2
6		230	78.8	850	0.850		665	80.2
7	135	250	13.1	128	0.128	0.125	109	85
8		250	12.7	125	0.125		106	85
9		250	12.3	123	0.123		105	85
10	155	250	5.8	58	0.058	0.056	49.3	85
11		250	5.7	56	0.056		47.6	85
12		250	5.5	55	0.055		46.8	85



12.18 Viscosidad crudo

DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO UN VISCOSIMETRO ROTACIONAL								
INV E - 717 - 13								
FECHA	31-may-23							
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL							
MUESTRA N°	1							
DESCRIPCION	CRUDO							
LOCALIZACION	VERDEYACO - CAUCA							
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA							
DATOS DE ENSAYO								
MUESTRA	Crudo Pesado							
TAMAÑO DE VASTAGO (mm)	27							
RESULTADOS								
# DATOS	TEMP °C	RPM	TORQUE %	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa*s)	VISCOSIDAD PROM (Pa*s)	CORTANTE (din/cm2)	VELOCIDAD (1/s)
1	60.4	50	94.2	4720	4.720	4.727	803	17
2			94.5	4725	4.725		804	17
3			94.6	4735	4.735		805	17
4	106	250	38.3	390	0.390	0.387	334	85
5			38.2	387	0.387		332	85
6			38.3	385	0.385		333	85
7	135	250	20	196	0.196	0.196	165	85
8			20.2	195	0.195		162	85
9			20.1	196	0.196		159	85
10	155	250	12.2	117	0.117	0.118		85
11			12.5	118	0.118			85
12			12.4	118	0.118			85



12.19. Viscosidad asfalto 60-70

DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO UN VISCOSIMETRO ROTACIONAL								
INV E - 717 - 13								
FECHA	31-may-23							
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL							
MUESTRA N°	1							
DESCRIPCION	ASFALTO 60 - 70							
LOCALIZACION	VERDEYACO - CAUCA							
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA							
DATOS DE ENSAYO								
MUESTRA	Asfalto 60 - 70							
TAMAÑO DE VASTAGO (mm)	27							
RESULTADOS								
# DATOS	TEMP ° C	RPM	TORQUE %	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa*s)	VISCOSIDAD PROM (Pa*s)	CORTANTE (din/cm2)	VELOCIDAD (1/s)
1	60.3	4.7	91.1	193620	193.620	193.760	2280	1.17
2			91.1	193830	193.830		2278	1.17
3			91.1	193830	193.830		2278	1.13
4	100	240	89.6	3700	3.700	3.537	2215	60
5			85.1	3530	3.530		2110	60
6			81.3	3380	3.380		2020	60
7	135	250	9.6	370	0.370	0.363	233	62.5
8			9.2	360	0.360		228	62.5
9			9	360	0.360		225	62.5
10	155	250	4.3	160	0.160	0.160	103	62.5
11			4	160	0.160		100	62.5
12			4	160	0.160		100	62.5



12.20 Ensayo cántabro

CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE							
INV E - 760 - 13							
FECHA DE INFORME	02-jun-23						
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL						
MUESTRA N°	1						
DESCRIPCION	PROBETA TIPO MARSHALL						
LOCALIZACION	VERDEYACO - CAUCA						
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA						
RESULTADOS							
# PROBETA	PESO INICIAL	PESO FINAL A 100 REV	DESGASTE A 100 REV	DESGASTE FROM A 100 REV	PESO FINAL A 300 REV	DESGASTE A 300 REV	DESGASTE FROM A 300 REV
1	1112.2	1100.0	1	2	1087.3	2	4
2	1101.1	1093.1	6		800.0	27	
3	1096.7	1074.2	2		1025.2	7	
4	1106.7	1087.5	2		1056.6	5	

12.21 Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas asfáltica compactadas

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA NORMA I. N. V. E-733-07								
FECHA DE INFORME		8-may-23						
PROYECTO		MEZCLA ASFALTICA NATURAL						
N° MUESTRAS		30						
DESCRIPCION		BRIQUETA DE MAN						
LOCALIZACION								
SOLICITO		ING. SEBASTIAN MORA						
MUESTRA N°	ASFALTO %	ESPOSOR (cm)	MASA DEL ESPECIMEN EN EL AIRE (g)	MASA EN EL AIRE DEL ESPECIMEN SSS (g)	MASA DEL ESPECIMEN EN EL AGUA (g)	VOLUMEN BRIQUETA (cm ³)	AGUA ABSORBIDA POR VOLUMEN (%)	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Gm b
1	4	6,74	1111,9	1121,9	577,6	544,300	1,84	2,043
2		6,56	1112,1	1124	584,4	539,600	2,21	
3		6,60	1109,7	1126,7	577,5	549,200	3,10	2,021
4		6,53	1120,2	1133,4	583,6	549,800	2,40	2,037
5		6,59	1115,7	1128	573,8	554,200	2,22	2,013
6		6,51	1118,3	1129,6	583,9	545,700	2,07	2,049
PROMEDIO								2,033
1	4,5	6,49	1117,9	1121,8	572,8	549,000	0,71	2,036
2		6,56	1111,3	1116,2	566,5	549,700	0,89	2,022
3		6,58	1114,4	1120,2	574,5	545,700	1,06	2,042
4		6,56	1101,9	1108,6	564,1	544,500	1,23	2,024
5		6,64	1112,4	1122,3	570,5	551,800	1,79	2,016
6		6,61	1111,3	1118,9	574,8	544,100	1,40	2,042
PROMEDIO								2,030
1	5	6,63	1109,6	1116,5	565,1	551,400	1,25	
2		6,38	1099,7	1105,5	563,4	542,100	1,07	2,029
3		6,41	1121,5	1125,1	574,2	550,900	0,65	2,036
4		6,44	1107,2	1111,6	565,4	546,200	0,81	2,027
5		6,39	1095,8	1101,5	558,7	542,800	1,05	2,019
6		6,66	1112,9	1115,8	571,4	544,400	0,53	2,044
PROMEDIO								2,031
1	5,5	6,80	1105,2	1107,7	577,8	529,900	0,47	2,086
2		6,63	1101,9	1106,6	562,5	544,100	0,86	2,025
3		6,70	1105,5	1110,5	569,9	540,600	0,92	2,045
4		6,47	1099,7	1103,9	564,9	539,000	0,78	2,040
5		6,48	1116,8	1123,3	572,3	551,000	1,18	2,027
6		6,49	1118,0	1121,5	582,1	539,400	0,65	2,073
PROMEDIO								2,049
1	6	6,45	1097,5	1101,6	571,6	530,000	0,77	
2		6,60	1119,4	1122,2	578,6	543,600	0,52	2,059
3		6,54	1120,7	1126,4	577,9	548,500	1,04	2,043
4		6,32	1109,6	1114,1	575,3	538,800	0,84	2,059
5		6,41	1105,8	1109,8	575,6	534,200	0,75	2,070
6		6,70	1124,9	1129,2	576,8	552,400	0,78	2,036
PROMEDIO								2,054
Observaciones: Las briquetas de ensayo se dejaron curar al aire por 72 horas y la temperatura de baño de agua fue de 25°C								

12.22 Ensayo estabilidad y flujo por el método Marshall modificado.

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL MODIFICADO.					
FECHA DE INFORME	8-may-23				
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL				
MUESTRA N°	30				
DESCRIPCION	BRIQUETA DE MAN				
LOCALIZACION					
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA				

Datos estabilidad y flujo de 3 briquetas sin inmersión					
constante del anillo		1,9148 Kg/cm			
		10,7 Lb/0,0001*			
MUESTRA N°	ASFALTO Pb (%)	ESPESOR PROBETA (cm)	ESTABILIDAD		FLUJO (mm)
			MEDIDA (Kg)	CORREGIDA (N)	
1	4	6,74	273,8164	2577,813	4,25
2		6,56	325,516	3064,533	2,50
3		6,60	262,3276	2469,653	3,75
4	4,5	6,49	296,794	2794,133	4,75
5		6,56	283,3904	2667,946	5,25
6		6,58	545,718	5137,599	5,75
7	5	6,63	271,9016	2559,786	6,00
8		6,38	327,4308	3082,559	6,50
9		6,41	538,0588	5065,492	7,50
10	5,5	6,80	312,1124	2938,346	5,00
11		6,63	721,8796	6796,052	6,25
12		6,70	333,1752	3136,639	7,25
13	6	6,45	325,516	3064,533	6,75
14		6,60	511,2516	4813,119	4,25
15		6,54	308,2828	2902,293	5,75

Promedio estabilidad y flujo		
1,9148 Kg/cm		
10,7 Lb/0,0001*		
ESTABILIDAD		
MEDIDA (Kg)	CORREGIDA (N)	FLUJO (mm)
273,8164	2577,813	4,25
	0,000	
262,3276	2469,653	3,75
Promedio	1682,488	4,00
296,794	2910,555	4,75
283,3904	2779,110	5,25
545,718	5351,665	5,75
Promedio	3680,444	5,25
	0,000	
327,4308	3210,999	6,50
538,0588	5276,554	7,50
Promedio	2829,185	7,00
312,1124	3060,777	5,00
721,8796	7079,221	6,25
333,1752	3267,333	7,25
Promedio	4469,110	6,17
	0,000	
511,2516	4813,119	4,25
308,2828	2902,293	5,75
Promedio	2571,804	5,00

Observaciones: Las briquetas de ensayo se dejaron curar al aire por 72 horas y la temperatura de baño de agua fue de 25°C



12.23 Ensayo de estabilidad y flujo

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL MODIFICADO.

FECHA DE INFORME	8-may-23
PROYECTO	MEZCLA ASFALTICA NATURAL
MUESTRA N°	30
DESCRIPCION	BRIQUETA DE MAN
LOCALIZACION	
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA

constante del anillo	1,9148	Kg/cm
	10,7	Lb/0,0001"

Datos estabilidad y flujo de 3 briquetas en inmersión por 3 días a 25°C

MUESTRA N°	ASFALTO Pb (%)	ESPESOR PROBETA (cm)	ESTABILIDAD		FLUJO (mm)
			MEDIDA (Kg)	CORREGIDA (N)	
1	4	6,53	105,314	991,466	1,50
2		6,59	153,184	1442,133	1,55
3		6,51	101,4844	955,413	1,55
4	4,5	6,56	277,646	2613,866	1,95
5		6,64	245,0944	2307,413	1,75
6		6,61	172,332	1622,400	1,80
7	5	6,44	201,054	1892,800	1,50
8		6,39	170,4172	1604,373	1,85
9		6,66	109,1436	1027,520	1,55
10	5,5	6,47	381,0452	3587,306	1,85
11		6,48	340,8344	3208,746	1,60
12		6,49	214,4576	2018,986	1,95
13	6	6,32	147,4396	1388,053	2,00
14		6,41	212,5428	2000,960	1,90
15		6,70	245,0944	2307,413	2,45

Promedio estabilidad y flujo

1,9148	Kg/cm	
10,7	Lb/0,0001"	
ESTABILIDAD		
MEDIDA (Kg)	CORREGIDA (N)	FLUJO (mm)
105,314	991,466	1,50
153,184	1442,133	1,55
101,4844	955,413	1,55
Promedio	1129,671	1,53
277,646	2722,777	1,95
245,0944	2403,555	1,75
172,332	1690,000	1,80
Promedio	2272,111	1,83
201,054	1971,666	1,50
170,4172	1671,222	1,85
109,1436	1070,333	1,55
Promedio	1571,074	1,63
381,0452	3736,777	1,85
340,8344	3342,444	1,60
214,4576	2103,111	1,95
Promedio	3060,777	1,80
147,4396	1388,053	2,00
212,5428	2000,960	1,90
245,0944	2307,413	2,45
Promedio	1898,808	2,12

Observaciones: Las briquetas de ensayo se dejaron curar al aire por 72 horas y luego se sumergieron en agua por 48 horas para luego realizar ensayo de estabilidad y flujo Marshall modificado.



12.24 Peso específico teórico máximo de MAN

PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS NORMA I.N.V. E-735.

FECHA DE INFORME	12-may-23
PROYECTO	MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL
MUESTRA N°	5
DESCRIPCIÓN	Rice MAN
LOCALIZACIÓN	
SOLICITO	ING. SEBASTIAN MORA

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO DE APORTE (mm)	19				
TAMAÑO MÍNIMO MUESTRA DE ENSAYO (g)	2000				
% mezcla asfáltica natural	4	4,5	5	5,5	6
mezcla asfáltica natural (g)	162	182	204	111	122

DATOS	MUESTRA N°				
	1	2	3	4	5
Contenido de asfalto (%)	4	4,5	5	5,5	6
A, masa muestra en el aire (g)	2231,2	2243,7	2225,5	2261,3	2233,9
D, masa frasco con agua a la línea de enrase y T ens. (g)	7390	7390	7390	7390	7390
E, masa frasco con agua y mezcla a la línea de enrase	8733,5	8725	8695,6	8707,5	8625,6
Temperatura de ensayo Te (°C)	23	23	23	23	23
Gravedad específica máxima teórica Gmm					
	2,513	2,469	2,419	2,396	2,238

Observaciones: El ensayo de gravedad específica máxima se realizó en un picnómetro metálico con dispositivo de agitación y bomba de vacío. La temperatura de ensayo fue de 23°C y de la cual se obtiene la masa de frasco en la línea de enrase.