



UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS
BOGOTA D.C

Estudio del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica natural, proveniente de la
mina de pavas, en el departamento del Caquetá

Diego Enrique Cruz Chala
Wilder Orley Salazar Cuellar

Estudio del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica natural, proveniente de la
mina de pavas, en el departamento del Caquetá

Diego Enrique Cruz Chala
Wilder Orley Salazar Cuellar

Coordinador: Juan Gabriel Bastidas Martínez, (Ph. D.)

Proyecto presentado como requisito para optar el título de:
“Especialista En Ingeniería De Pavimentos”



Universidad Católica De Colombia
Facultad De Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Pavimentos
Bogotá D.C - Colombia
2019

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, Junio de 2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

DEDICATORIA

Ante todo, a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de todo el postgrado; por concedernos la sabiduría y entendimiento para poder obtener nuestros logros; por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres, mi esposa, maestros y demás familiares, por ser mi mayor apoyo y motivación en mi vida encaminada al éxito profesional, que sin su ayuda no sería posible este gran logro.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestros sinceros agradecimientos al Coordinador de la Especialización en Ingeniería de Pavimentos de la Universidad Católica de Colombia, Ph.D. Juan Gabriel Bastidas Martínez, a nuestro asesor de esta tesis de especialización, Ph.D. Juan Carlos Ruge, por la confianza ofrecida, dedicación y apoyo que han brindado a este trabajo, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas, por su paciencia ante nuestras inconsistencias, por su valiosa dirección profesional que ha sido fuente de motivación para llegar a la conclusión de esta tesis. Agradecemos al jurado de tesis asignado, Ing. Brayan Gerardo Arévalo por sus orientaciones oportunas. Así mismo, agradecemos al Laboratorista de la Universidad Católica de Colombia Hugo Alfonso Rondón por su colaboración en la ejecución de los ensayos de laboratorio; al laboratorio particular “Geocon Ingeniería” en Florencia-Caquetá que nos facilitó sus instalaciones para realizar parte de los ensayos de laboratorio. Agradecemos a nuestros maestros y compañeros de la Especialización por su apoyo personal y humano.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. OBJETIVOS	11
4.1 Objetivo General:.....	11
4.2 Objetivo específicos:.....	11
5. MARCO TEÓRICO:.....	12
6. MARCO CONCEPTUAL.....	18
7. UBICACIÓN.....	20
8. METODOLOGIA	22
9. RESULTADOS Y ANALISIS.....	31
10. CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
GLOSARIO	54
ANEXO	549

Lista de Tabla

Tabla 1 Franjas granulométricas de agregados para mezcla asfáltica natural. Fuente: especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17	23
Tabla 2 Gradación partículas que componen la mezcla asfáltica natural.	31
Tabla 3 Gradación mezcla asfáltica natural MAN19.....	32
Tabla 4 Granulometría agregados para mezclas asfálticas en caliente. Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano-IDU. Especificaciones Técnicas, 2011).....	33
Tabla 5 Pesos tomados para calcular el contenido de asfalto.	35
Tabla 6 Calculo del contenido de asfalto.....	35
Tabla 7 Resultados de laboratorio Ensayo Cantabro.	37
Tabla 8 Resultados obtenidos en laboratorio, ensayo de Tracción Indirecta.....	40
Tabla 9 Criterios Marshall del Instituto Norteamericano del Asfalto Fuente: especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17.....	41
Tabla 10 Análisis resultados ensayo Tracción Indirecta mezcla asfáltica natural.....	42
Tabla 11 Comparativos Criterios diseño IDU, 2011. Mezcla MD-12, Asfaltita “Pavas”.	43
Tabla 12 Resultados ensayo por el método Marshall Mezcla asfáltica natural “Las Pavas	45

Lista de Figuras

Figura 1 Yacimiento roca asfáltica (Foto: Wilder O. Salazar, Mina de Pavas, Paujil-Caquetá, 2014).....	12
Figura 2 Aspecto Luego de explotado Asfalto Natural (Foto: Wilder O. Salazar, 2014).....	14
Figura 3 Ubicación Cuencas Sedimentarias en Colombia Geología y geomorfología (Ingeomonas-2008).....	15
Figura 4 Ubicación Algunas Fuentes Asfalto Natural en Colombia Fuente. Investigación sobre asfaltitas. Laboratorio INVIAS. 1989.....	16
Figura 5 Ubicación Mina de Pava, Municipio de Paujil-Caquetá	20
Figura 6 Frente explotación (Foto: Wilder O. Salazar, 2014). Mina de Pavas, Paujil-Caquetá...	21
Figura 7 Mina de Pavas, Paujil-Caquetá (Foto: Wilder O. Salazar, 2014).....	21
Figura 8 Metodología de la investigación.....	22
Figura 9 Curva Granulométrica Mezcla Asfáltica Natural Mina Las Pavas.	31
Figura 10 Curva granulométrica de mezcla asfáltica natural estudio vs MAN19.	33
Figura 11 Comparación Curva granulométrica MD-12 con gradación de la Asfaltita.....	34
Figura 12 Resultados de estabilidad en de cada briqueta	46
Figura 13 Criterios de diseño de estabilidad IDU 2011 – Especificación INV Art 442P	46
Figura 14 Comportamiento del flujo respecto la estabilidad.....	47
Figura 15 Comportamiento de la rigidez respecto la estabilidad.....	48

Lista de Imágenes

Imagen 1 Ensayo cántabro.....	38
Imagen 2 Ensayo de Tracción Indirecta.....	39
Imagen 3 Elaboración de briquetas de ensayo y Ensayo Marshall.....	44

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se fundamenta en la identificación de las características físico mecánicas de una mezcla de asfalto natural extraída tal como sale de la mina Las Pavas, ubicada en la parte norte del Departamento del Caquetá, mediante la ejecución de ensayos de caracterización cuantitativos y ensayos mecánicos.

Para la recolección de la muestra asfáltica natural y fabricación de las briquetas de ensayo, realizamos la extracción del material de forma manual con herramientas menores a cielo abierto en una zona puntual, donde se considera se extrae la de mejor calidad. Se lleva la muestra al laboratorio donde se inicia la ejecución de la caracterización de la mezcla por medio de extracción cuantitativa de sus componentes (agregado fino y grueso) y se determina el contenido de asfalto. Seguidamente realizamos la fabricación de los especímenes de ensayo de asfalto natural a temperatura ambiente, para cada ensayo mecánicos se realizan tres (3) briquetas por cada muestra extraída.

Luego realizamos los ensayos mecánicos en el laboratorio: ensayo Marshall, donde determinamos los parámetros de resistencia a la deformación plástica bajo carga monotónica a través de la relación entre la estabilidad y Flujo; el ensayo de Tracción Indirecta, el cual mide el potencial de daño por efecto del agua sobre la resistencia a la tracción; ensayo Cántabro, el cual mide el valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Con los resultados obtenidos entramos a la fase del análisis y comparación con los diseños de mezclas propuestos en los requerimientos de la especificación particular del INVIAS Art.442P-2017. En la última fase se determina la condición definitiva del asfalto natural y se concluye con criterios verídicos que el material no es competente para ser utilizado en proyectos de construcción de pavimentos flexibles en vías terciarias.

SUMMARY

The present research work is based on the identification of the physical and mechanical characteristics of a mixture of natural asphalt extracted as it leaves from Las Pavas mine, located in the northern part of the Department of Caquetá, through the execution of quantitative characterization tests and mechanical tests.

For the collection of the natural asphalt sample and manufacture of the test briquettes, it was done the manually extraction of the material with minor open-pit tools in a specific area, where the best quality is considered. The sample is taken to the laboratory where the execution of the characterization of the mixture begins by means of quantitative extraction of its components (fine and coarse aggregate) and the asphalt content is determined. Next was made the manufacture of the test specimens of natural asphalt at ambient temperature, for each mechanical test, three (3) briquettes are made for each extracted sample.

Then the mechanical tests were performed in the laboratory: Marshall test, where the parameters of resistance to plastic deformation under monotonic load were determined through the relationship between stability and flow; the Indirect Traction test, which measures the damage potential due to the effect of water on the tensile strength; Cantabrian test, which measures the value of the wear loss of the asphalt mixtures, allows to directly assess the cohesion, interlocking, as well as the resistance to the disintegration of the mixture, in relation to the abrasive and suction effects caused by the traffic.

With the obtained results we enter the phase of analysis and comparison with the mix designs proposed in the requirements of the particular specification of INVIAS Art.442P-2017. In the last phase the definite condition of the natural asphalt is determined and it is concluded with true criteria that the material is not competent to be used in projects of construction of flexible pavements in tertiary roads.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del contexto nacional, el mantener en buenas condiciones la red vial se constituye como parte fundamental en el fortalecimiento de la economía y la calidad de vida de sus habitantes, permitiendo mayor facilidad de conexión y movilización de las poblaciones rurales a los centros urbanos. En el caso de las vías terciarias y secundarias de nuestro país, en su mayoría están sometidas a un gran deterioro, en algunos casos, debido a las condiciones climáticas, condición geológica, la utilización de materiales no convencionales incompetentes propuestos en los diseños; y que requieren de mantenimientos continuos generando grandes inversiones.

De esta manera, surge la necesidad de implementar procedimientos novedosos utilizando materiales eficientes que disminuyen costos en su facilidad de obtención, reduciendo distancias de acarreos hacia las zonas rurales y generar un menor impacto ambiental.

Debido a las condiciones geológicas presentes en algunas regiones de Colombia, donde existe abundancia y facilidad de extracción de un material no convencional llamado Asfalto natural o Asfaltita, que podría ser utilizado para la construcción de pavimentos flexibles en vías terciarias como alternativa de reemplazo por el asfalto procesado derivado del petróleo, el cual genera altos niveles de contaminación y emisión de gases tóxicos en su proceso de fabricación.

A través de este trabajo de investigación, se promueve realizar el estudio del desempeño físico mecánico de una mezcla de asfalto natural extraída de la mina Las Pavas, ubicada en la parte norte del Departamento del Caquetá, donde se conocerá su composición granulométrica y contenido de asfalto de forma cuantitativa en laboratorio; los parámetros de resistencia (Estabilidad máxima, deformación) y parámetros volumétricos; con el fin de comparar sus condiciones con los diseños de mezclas propuestos en los requerimientos de la especificación

particular del (Vías-INVIAS., 2017), y determinar si es apto para el uso en proyectos de construcción de pavimento flexible para vías terciarias.

El asfalto natural es una sustancia sólida o viscosa combinada con materiales pétreos y bituminosos, de aspecto resinoso y fractura conoidal, que tiene que su origen en yacimientos de rocas asfálticas, por lo general calizas, areniscas y gravas, conglomeradas impregnadas de asfalto natural.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿La viabilidad de usar el asfalto natural en algunos lugares del territorio nacional, en proximidades a sus fuentes, en la pavimentación y mejoramiento de vías terciarias, de forma confiable, con bajos costos de producción y contribuyendo a la disminución y mitigación de impactos ambientales?

3. JUSTIFICACIÓN

Debido a las exigencias crecientes de la economía mundial, los países en desarrollo como es el caso colombiano, requieren una mayor cobertura en infraestructura vial, debido a lo cual se busca reducir los costos de producción, dando un mayor alcance a los recursos del estado.

Teniendo en cuenta, que para mejorar una carretera se requiere la inversión de grandes cantidades de recursos y teniendo en cuenta el nivel de tránsito escaso en la mayoría de vías de segundo y tercer orden, los indicadores de relación Beneficio/Costo al igual que la tasa interna de retorno son totalmente adversos para la inversión en infraestructura de este tipo.

Por lo tanto en la búsqueda de materiales y procesos más eficientes a menores costos, se han venido usando los asfaltos naturales en diversas formas en algunos lugares del territorio nacional, los cuales son próximos a las fuentes o minas donde se explota como es el caso objeto de este estudio la mina de Pavas ubicada en la zona norte del departamento del Caquetá, que son utilizados en la mayoría de los casos en forma empírica sin estudios previos de caracterización y/o resistencia de los mismos.

El estado colombiano a través del Instituto Nacional de Vías, ha realizado estudios y algunas experiencias de investigación, encaminadas a conocer las características de los asfaltos naturales que se encuentran distribuidas en las diferentes cuencas sedimentarias colombianas.

Con base a los resultados de investigaciones y experiencias del asfalto natural en la pavimentación de vías, a lo largo de los años, el INVIAS expidió la resolución número 10099 del 27 de diciembre de 2017 (Vías-INVIAS., 2017) donde se adoptan las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando asfalto natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1, por considerar estos materiales aunque son

no convencionales, pueden llegar a ser implementados en la pavimentación de vías terciarias de la Red Vial Nacional. (Vías-INVIAS., 2017)

La presente investigación pretende dar a conocer el comportamiento mecánico de muestras fabricadas a partir de la asphaltita pura, extraída de la mina de Pavas ubicada en la parte norte del Departamento del Caquetá, con el fin de conocer su viabilidad ante la puesta en obra sobre vías terciarias.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General:

El presente estudio de investigación, tiene como finalidad conocer, evaluar las características físico - mecánicas de una mezcla asfáltica natural, proveniente de la mina Las Pavas, zona norte en el Departamento del Caquetá, y determinar cumplimiento a los requerimientos de la especificación particular del INVIAS (Vías-INVIAS., Especificaciones Técnicas, 2017), (Vías-INVIAS., Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural. Art. 442P. Resolución N°10099, 2017), “Mezcla asfáltica natural”, como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1”.

4.2 Objetivo específicos:

- ✓ Conocer el contenido de asfalto y la distribución granulométrica de los agregados finos y gruesos por medio de extracción cuantitativa de la muestra de asfalto natural.

- ✓ Establecer si la composición granulométrica de la mezcla asfáltica natural, se ajusta al tipo de gradación de diseño para capas asfálticas, propuestos en la especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17.

- ✓ Mediante ejecución del ensayo de tracción indirecta, analizar y determinar el potencial de daño por efecto del agua.

- ✓ Conocer los parámetros de resistencia (Estabilidad máxima, deformación) y los parámetros volumétricos mediante el ensayo Método Marshall.

5. MARCO TEÓRICO:

El asfalto natural o “Asfaltita”, se aplica a todos aquellos materiales encontrados en la naturaleza, que contienen alguna proporción de crudos de petróleo en forma sólida o líquida, compuesto esencialmente por arenas finas y conglomerados de distintos tamaños y formas (Vías-INVIAS., Especificaciones Técnicas, 2017)

Tiene su origen en yacimientos de rocas asfálticas, por lo general calizas, areniscas y gravas impregnadas de asfalto, su clasificación está determinada por el origen como cualquier otro elemento natural sometido al intemperismo y la acción geológica; de esta forma se pueden encontrar asfaltos nativos, sólidos o semisólidos, por ejemplo puros asociados con materia mineral y asfaltitas duras (Glisonitas). Desde el punto de vista de su evolución los asfaltos naturales pasaron por: polimerización, oxidación y supuración antes de convertirse en las diferentes formas de asfaltitas sólidas que se conocen actualmente. (Abraham, (1960))



Figura 1 Yacimiento roca asfáltica (Foto: Wilder O. Salazar, Mina de Pavas, Paujil-Caquetá, 2014)

Es claro que cualquiera que sea la clase su origen es el mismo, “mezcla de sustancias químicas orgánicas provenientes de plantas o animales microscópicos que vivieron en los mares hace millones de años”, variando solamente las condiciones geológicas o ambientales a las cuales fueron expuestas en el tiempo.

Los materiales asfálticos, tipo asfaltitas o asfaltos naturales que se emplean en la industria de la construcción y de los cuales se ha tenido alguna experiencia en Colombia son:

1. Grupo I: Crudos pesados
2. Grupo II: Asfaltos naturales generados por el afloramiento de crudos y que se encuentran mezclados en diversas proporciones con materiales circundantes de las fuentes, agregados, material orgánico y agua.
3. Grupo III: Asfaltos naturales sólidos (Asfaltitas), producidas por efectos tectónicos y que tienen muy poco o ningún porcentaje de solventes volátiles.

El tercer grupo constituido por los asfaltos naturales, el cual será objeto de este estudio, caracterizados por ser una mezcla de crudo, materiales inertes, materia orgánica y agua en diferentes proporciones, en este caso el crudo es un bitumen que afloró a la superficie a causa de cambios de posición de los estratos geológicos debidos al tectonismo y que se mezcló con los materiales circundantes, encontrándose fuentes de material con diferentes porcentajes de crudo.

(Ruiz-Acero, Reyes-Ortiz, & Moreno, 2016)



Figura 2 Aspecto Luego de explotado Asfalto Natural (Foto: Wilder O. Salazar, 2014)

En Colombia las fuentes de asfalto natural se encuentran distribuidas por las once (11) grandes cuencas sedimentarias con las que cuenta Colombia que ocupan un área aproximada de 88.7 millones de hectáreas, con lo que el 40% del territorio colombiano corresponde a cuencas sedimentarias, en las que se pueden encontrar hidrocarburos.

En estas cuencas se pueden encontrar fuentes de asfaltos naturales son: cuenca de la Guajira, cuenca Valle Inferior, Cuenca Choco-Pacífico, Cuenca Valle Medio, Cuenca Cordillera Oriental, Cuenca Llanos Orientales, Cuenca Valle Interior, Cuenca Patía, Cuenca Amazonas, Cuenca Putumayo y Cuenca. (*Geología y geomorfología. Ingeomonas-2008*).

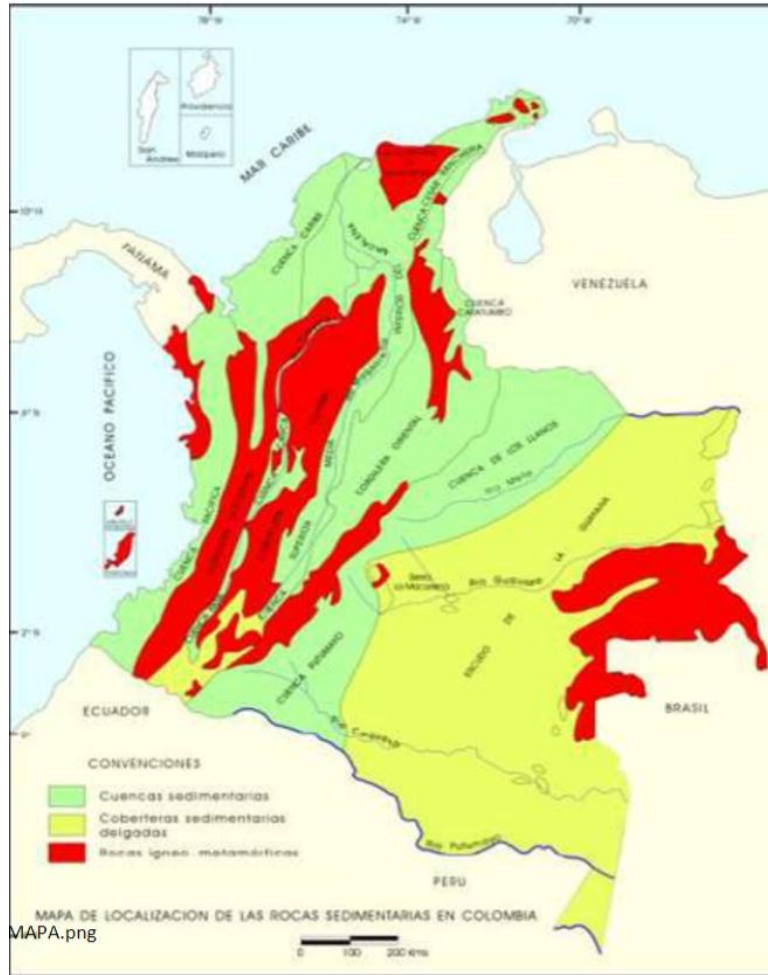


Figura 3 Ubicación Cuencas Sedimentarias en Colombia ■ Geología y geomorfología (Ingeomonas-2008)

Encontrándose dentro de estas cuencas, distribuidas por la geografía nacional fuentes de asfalto natural, donde se han contabilizado cerca de cuarenta fuentes de asfaltos naturales y varios yacimientos de crudos superpesados.

Entre las que están las fuentes de asfalto natural en el departamento del Caquetá como Doncello, Pavas, las Perlas, Los Cuervos, entre otras.

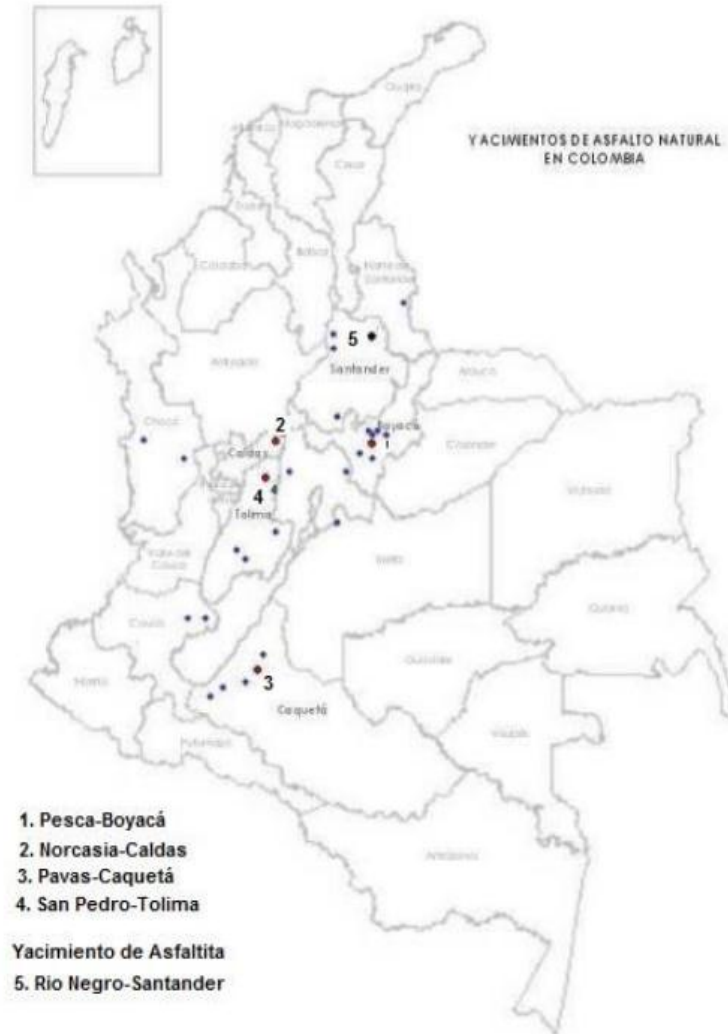


Figura 4 Ubicación Algunas Fuentes Asfalto Natural en Colombia Fuente. Investigación sobre asfaltitas. Laboratorio INVIAS. 1989

Una fuente de material de esta naturaleza es de gran beneficio para cualquier zona del país, ya que la aplicación industrial de las asfaltitas es amplia, utilizada para aplicaciones que se extienden a:

- Aditivo en explotaciones petroleras
- Elaboración de pinturas
- Elaboración de tintas
- Materiales termoplásticos

- Vías, entre otras.

Al emplear materiales regionales con bajos costos de producción, transporte e instalación, hay una mejora en los indicadores sociales y económicos, teniendo en cuenta que para el mejoramiento de una vía se requiere la inversión de grandes cantidades de recursos, así los niveles de tránsito sean bajos, como en el caso de vías de segundo y primer orden. Es así que la relación costo beneficio al emplear materiales no convencionales es mayor, de esta forma la distribución de las inversiones para mejoramiento de la red vial tendrían un ámbito de aplicación mucho mayor.

Los primeros estudios de este material que se tiene referencia, en este caso, asfaltos naturales, corresponden a Abraham Herbert, Estados Unidos, Año 1930; en Colombia se conocen estudios de la zona del Caquetá, llevados a cabo en el año 1973, por medio de la publicación de (Dowling & Franco, 1973). Las investigaciones posteriores han sido llevadas a cabo por el Instituto Nacional de Vías, oficina de estudio e innovación e investigaciones realizadas por algunas universidades del país en las facultades de ingeniería, como la Universidad de los Andes, U Católica, U. Militar Nueva Granada, entre otras.

Es así que, en diciembre del 2017, el Instituto Nacional de Vías, por medio de la resolución N° 10099, crea la especificación particular (Vías-INVIAS., Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural. Art. 442P. Resolución N°10099, 2017) adaptando las especificaciones particulares de construcción como alternativas de pavimentación, utilizando asfalto natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1, especificación actualmente vigente a la realización del presente anteproyecto (Vías-INVIAS., Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural. Art. 442P. Resolución N°10099, 2017).

6. MARCO CONCEPTUAL

Desde hace varios años se utilizan materiales asfálticos no convencionales, para el mejoramiento de carreteras en las zonas aledañas a sus fuentes de explotación, vías secundarias y terciarias, como un material alternativo a los pavimentos flexibles que provienen de residuos de la transformación del petróleo, los cuales son sometidos a temperaturas entre los 150 y 180 grados centígrados para su fabricación, generando altos niveles de contaminación ambiental y emisión de gases tóxicos, lo cual a nivel mundial ha creado una conciencia en la búsqueda de disminuir dicha contaminación y menor emisión de gases.

En la actualidad el asfalto natural se aplica de forma directa como sale de la mina, sin ningún tipo de tratamiento o adición de algún producto químico.

El asfalto natural tiene un proceso o tratamiento básico para optimizar su calidad, como lo es, el de simplificar un método de explotación y su homogeneidad para lograr un terminado o superficie con la menor cantidad de vacíos posibles y garantizar su vida útil.

El presente estudio se encamina a conocer las características de muestras de asfalto natural, proveniente de la mina Las Pavas, localizada en la zona norte del departamento del Caquetá, a la cual se realizaran ensayos de caracterización del material, contenido de asfalto, ensayos mecánicos de tracción indirecta, ensayo Cántabro y Marshall, los cuales son ejecutados teniendo como referencia las normas y especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), con una metodología que permita obtener resultados (Vías-INVIAS., Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural. Art. 442P. Resolución N°10099, 2017).

De esta forma a través de los resultados obtenidos, se busca definir si este material es competente para la construcción de vías y de cualquier área que requiera pavimento flexible, cumpliendo las especificaciones requeridas por el Instituto Nacional de Vías.

7. UBICACIÓN

Ubicación de la extracción de la muestra de material: El material estudiado proviene de la mina a cielo abierto de Asfalto Natural, actualmente en explotación, ubicada en el Municipio de el Paujil, zona norte del departamento del Caquetá, en el KM 54 de la carretera Florencia – San Vicente del Caguán.

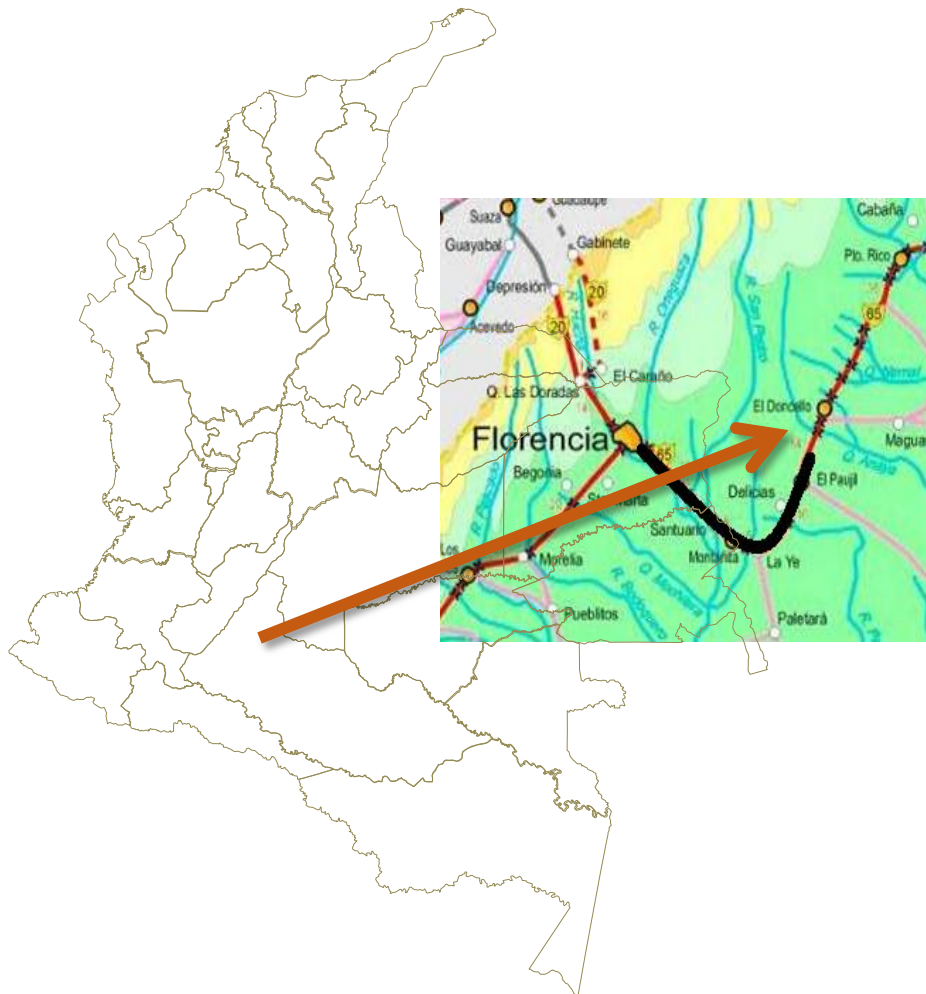


Figura 5 Ubicación Mina de Pava, Municipio de Paujil-Caquetá

Se localiza aproximadamente a 200 mts hacia el occidente de la vía principal, con un acceso carretable en buenas condiciones, su afloramiento se encuentra sobre el inicio de la ladera de una zona montañosa.



Figura 6 Frente explotación (Foto: Wilder O. Salazar, 2014). Mina de Pavas, Paujil-Caquetá

Para llevar a cabo su explotación, se utiliza bulldozer para descapotar y con retroexcavadora para la extracción propia del material. Dentro de la mina se disgrega el material utilizando el mismo bulldozer para efectuar los respectivos acopios, los cuales, sin adicionarle ningún elemento, luego de tres (3) días mínimo de curado, se llevan posteriormente a las vías en pavimentación, donde se acordona, se extiende y se compacta; labores que son adelantadas con la utilización de motoniveladora y compactadores convencionales.



Figura 7 Mina de Pavas, Paujil-Caquetá (Foto: Wilder O. Salazar, 2014).

8. METODOLOGIA

La estructura metodológica del presente estudio de investigación se ilustra de forma gráfica en el mapa conceptual de la [figura 8](#).

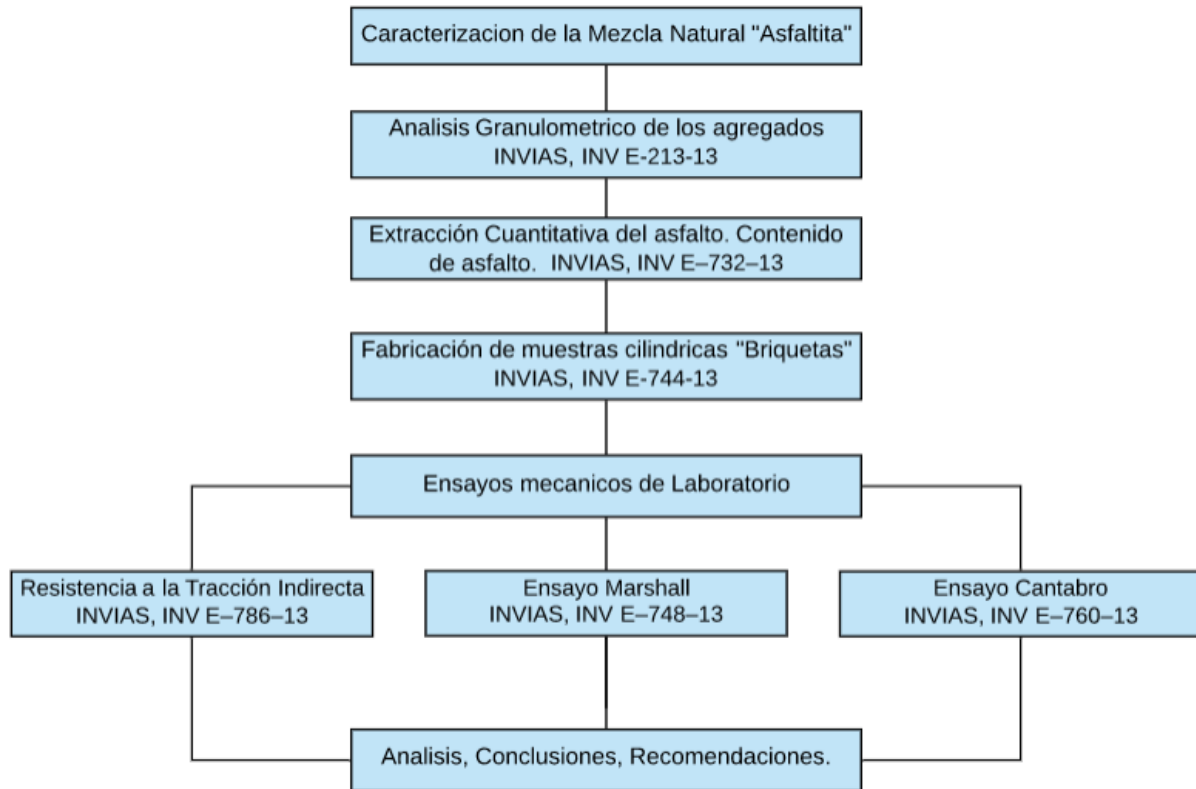


Figura 8 Metodología de la investigación.

Caracterización de mezcla de asfalto natural "Asfaltita"

Se inicia la primera etapa con la caracterización de la mezcla de asfalto natural, la cual incluye determinar la composición granulométrica cuantitativa, a partir de la masa y la distribución de los agregados gruesos y finos recuperados de la mezcla natural, empleando una serie de tamices con malla de abertura cuadrada progresivamente decreciente hasta el de 75 μm (No.200), según norma de ensayo **INVIAS, INV E-213-13** "Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos". (Manrique, 2013)

Para conocer el comportamiento de los asfaltos naturales “Asfáltita” frente a una mezcla densa en caliente, vamos a realizar un comparativo con la caracterización granulométrica en su límite inferior y superior de una mezcla densa MD12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

Los agregados pétreos de la mezcla asfáltica en su estado natural (tal como sale de la mina) tendrá un tamaño máximo de 19 mm (3/4”) y únicamente será aceptada si la mezcla asfáltica cumple con cada uno de los requerimientos exigidos en la [tabla 1](#). (INVÍAS, 2013)

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm/U.S Standard)								
	37.5 1 1/2”	25.0 1”	19.0 3/4 ”	12.5 1/2 ”	9.5 3/8 ”	4.75 No. 4	2.36 No. 8	0.300 No. 50	0.075 No. 200
	% PASA								
MAN-38	100	80-95	-	62-77	-	45-60	35-50	13-23	3-8
MAN-25	-	100	80-95	-	60-75	47-62	35-50	13-23	3-8
MAN-19	-	-	100	80-95	-	50-65	35-50	13-23	3-8
TOLERANCIA EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FORMULA DE TRABAJO (±)				4%			3%		1%

Tabla 1 Franjas granulométricas de agregados para mezcla asfáltica natural. Fuente: especificación particular del INVÍAS, Artículo 442P-17

Extracción cuantitativa del contenido de asfalto

Continuando con la caracterización de la mezcla natural “Asfaltita”, vamos a conocer el contenido de asfalto en la mezcla por medio del ensayo Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos, norma **INVÍAS, INV E-732-13**. 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. (INVÍAS, 2013)

Seguidamente se procede a realizar la fabricación de los especímenes de ensayo de asfalto natural “Briquetas” a temperatura ambiente. Los especímenes de laboratorio se pueden moldear de acuerdo con las normas **INVIAS, INV E-747, INV E-748 o INV E-800**. Si los especímenes tienen un diámetro nominal de 101.6 mm, su altura debe ser, como mínimo, 50.8 mm; mientras que, si el diámetro nominal es de 150 mm, la altura mínima debe ser 75 mm. Para cada ensayo mecánico en laboratorio, vamos a preparar y ensayar tres (3) briquetas por cada muestra. (INVÍAS, 2013)

Ensayo Cántabro.

A continuación, realizamos el ensayo Cántabro que se establece según norma **INVIAS, I.N.V. E-760-13** “Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste”

Mediante este ensayo podemos determinar el valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles. Igualmente nos permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico. (INVÍAS, 2013)

Procedimiento del ensayo:

Se elaboran las probetas de ensayo, para nuestro ejercicio se fabricaron y ensayaron tres (3) briquetas. Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0.1 g y se anota este valor como P1. Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo ambiente un mínimo de seis (6) horas. Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y, sin la carga abrasiva de las esferas, se hace girar el tambor a la misma

velocidad normalizada en las normas INV E 218, INV E 219, de 3.1a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.

Al final del ensayo, se saca la probeta y se determina de nuevo su masa con la misma aproximación de 0.1 g, anotando este valor como P_2 .

El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas.

Cálculos:

Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en porcentaje (%)

P_1 = Masa inicial de la probeta, en gramos, y

P_2 = Masa final de la probeta, en gramos.

Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas. (*Especificaciones Técnicas. INVÍAS, 2013*).

Ensayo de Tracción Indirecta

Realizamos este ensayo para muestras en estado seco, rigiéndonos bajo la norma **INVIAS, INV E-725-13**, “Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de Tracción Indirecta”, con el propósito de medir el potencial de daño por efecto del agua sobre la resistencia a la tracción indirecta. Igualmente se pretende conocer la calidad relativa de la mezcla natural y poder estimar su potencial de agrietamiento y de ahuellamiento.

Para nuestro estudio de investigación no se realizó el ensayo en estado húmedo debido a que el asfalto natural presenta un alto índice de susceptibilidad al estar expuesto al agua por tanto tiempo, motivo por el cual genera pérdida de sus condiciones físico mecánicas, y puede llegar al estado de disolución de la muestra. (*Especificaciones Técnicas. INVÍAS, 2013*).

Procedimiento del ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta:

- a. Se elaboran las probetas de ensayo, para nuestro ejercicio se fabricaron y ensayaron tres (3) briquetas. La dosificación, mezcla y compactación de los especímenes debe ser de acuerdo con alguno de los siguientes métodos descritos en las normas INV E –747 ó INV E – 748; para nuestro ejercicio se realizaron mediante el método Marshall INV E–748, donde se utilizó el martillo manual. Se compactan los especímenes a $7 \pm 1\%$ de vacíos, o a un nivel de vacíos esperado en el campo en el momento de la construcción.
- b. Se determina la gravedad específica máxima teórica de la mezcla de acuerdo con la norma INV E – 735.
- c. Se determina la gravedad específica Bulk de los especímenes compactados de acuerdo con la norma INV E–733, y se expresa el volumen de cada espécimen en centímetros cúbicos.
- d. Se calcula el % de volumen de vacíos con aire respecto del volumen total (% Vv) de cada espécimen de acuerdo con la norma INV E–736, y se expresa el volumen de aire en centímetros cúbicos. El volumen de vacíos del espécimen se calcula multiplicando el volumen total encontrado por el porcentaje de vacíos, dividido entre 100, (% Vv/100).

- e. Se ajusta la temperatura de los especímenes acondicionados al agua, colocándolos en un baño a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$) durante 1 hora.
- f. Se mide la altura de los especímenes acondicionados con agua, de acuerdo con la norma INV E – 744 y se determina el volumen por el método de la norma INV E – 733.
- g. Se determina el volumen del espécimen parcialmente saturado de acuerdo con la norma INV E–733. Se determina el volumen de agua absorbida, substrayendo la masa seca en el aire del espécimen de la masa del espécimen parcialmente saturado y superficialmente seco.
- h. Se calcula el grado de saturación dividiendo el volumen del agua absorbida por el volumen de vacíos con aire del espécimen y se expresa como porcentaje. Un grado de saturación que exceda a 80% es aceptable.
- i. Se determina la resistencia a la tensión en estado $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$).
- j. Se coloca un espécimen en el aparato de carga, con las franjas de carga centradas y paralelas, en el plano diametral vertical. Se aplica una carga del diametral a una rata de deformación 50 mm/min (2”/ min) hasta que se alcance la carga máxima y se registra.
- k. Se continúa cargando hasta fracturar el espécimen.

(Especificaciones Técnicas. INVÍAS, 2013)

CALCULOS

La resistencia a la tensión indirecta se calcula con la expresión:

$$RTI = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D}$$

Donde RTI: Resistencia a la tensión indirecta, Kpa;

P: Carga máxima, N;

t: Altura del espécimen inmediatamente antes del ensayo, mm;

D: Diámetro del espécimen justo antes del ensayo, mm.

Ensayo por el método Marshall

Finalmente realizamos el ensayo denominado “Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall”, rigiéndonos a la norma **INVIAS, INV E-748-13**, que describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1”).

El alcance por el cual se realiza el ensayo Marshall en nuestro trabajo de investigación, es determinar los parámetros de resistencia a la deformación plástica bajo carga monotónica a través de la relación entre la estabilidad (E) y el Flujo (F), de la mezcla asfáltica natural extraída de la mina Las Pavas, ubicada en la zona norte del Departamento del Caquetá. En este ensayo, el porcentaje de asfalto contenido en la asfaltita (tal como sale de la mina) se determina en la caracterización cuantitativa de los materiales. También mediante este ensayo se mide la

composición volumétrica de la mezcla (% de vacíos a partir de las gravedades específicas de los materiales empleados y de las briquetas de ensayo). (INVÍAS, 2013)

Resumen del Método

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente las gravedades específicas de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura, de acuerdo con las normas correspondientes.

El procedimiento se inicia con la elaboración de las briquetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás fijadas para el diseño proyecto. En nuestro trabajo de investigación fabricamos tres (3) briquetas de ensayo de la muestra extraída (tal como sale de la mina). Se deberá determinar previamente la gravedad específica bulk de los agregados, así como la gravedad específica del asfalto, y se deberá efectuar un análisis de Densidad- Vacíos de las probetas compactadas. (INVÍAS, 2013)

Ensayo de estabilidad y flujo

Se colocan las probetas en un baño de agua durante 30 o 40 minutos o en el horno durante 2 horas, manteniendo el baño o el horno a $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{ C}$ ($140^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{ F}$).

Se limpian perfectamente las barras guías y las superficies interiores de las mordazas de ensayo antes de la ejecución de éste, y se lubrican las barras guías de tal manera que la mordaza superior se deslice libremente. La temperatura de las mordazas se deberá mantener entre 21.1° C y 37.8° C (70° F a 100° F), empleando un baño de agua cuando sea necesario

Se retira una probeta del baño de agua u horno y se coloca centrada en la mordaza inferior; se monta la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa.

Se coloca el medidor de flujo en posición, se ajusta a cero, y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.

Se aplica, a continuación, la carga sobre la probeta con la prensa a una tasa de deformación constante de 50.8 mm (2") por minuto, hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye, según se lea en el dial respectivo. Se anota el valor máximo de carga registrado en la máquina de ensayo o, si es el caso, la lectura de deformación del dial indicador, la cual se convierte a carga, multiplicándola por la constante del anillo. El valor total en Newtons (kgf) que se necesite para producir la falla de la muestra se registrará como su valor de Estabilidad Marshall.

Si el espesor de la probeta es diferente de 63.5 mm, el valor registrado de Estabilidad Marshall deberá ser corregido, multiplicándolo por el factor que corresponda.

Se anota la lectura en el medidor de flujo en el instante de alcanzar la carga máxima. Este será el valor del "flujo" para la probeta, expresado en mm, e indica la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. El procedimiento completo, a partir de la sacada de la probeta del baño de agua, se deberá completar en un período no mayor de 30 segundos. (INVÍAS, 2013)

9. RESULTADOS Y ANALISIS

Análisis Granulométrico de los Agregados INVIAS, INV E-213-13

Se efectuó la respectiva gradación de las partículas que componen la mezcla asfáltica natural y hallamos la siguiente granulometría (ver tabla 2):

Proyecto:	Caracterización de los materiales			Fecha:	28 abril de 2019
Descripción:	Mezcla Asfáltica Natural "Asfaltita"			Fuente:	Mina Las Pavas
Norma Ref:	INV-E-732-13	INV-E-213-13			
P1=	897.4 g			P2=	725.7 g
# TAMI Z	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO O	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/4"	19	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.5	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.5	5.3	0.6	0.6	9.4
4	4.75	11.9	1.3	1.9	98.1
10	2	49.4	5.5	7.4	92.6
40	0.425	246.1	27.4	34.9	65.1
80	0.177	329.1	36.7	71.5	28.5
200	0.075	83.9	9.3	80.9	19.1
-200	-0.075	171.7	19.1	100.0	0.0

Tabla 2 Gradación partículas que componen la mezcla asfáltica natural.

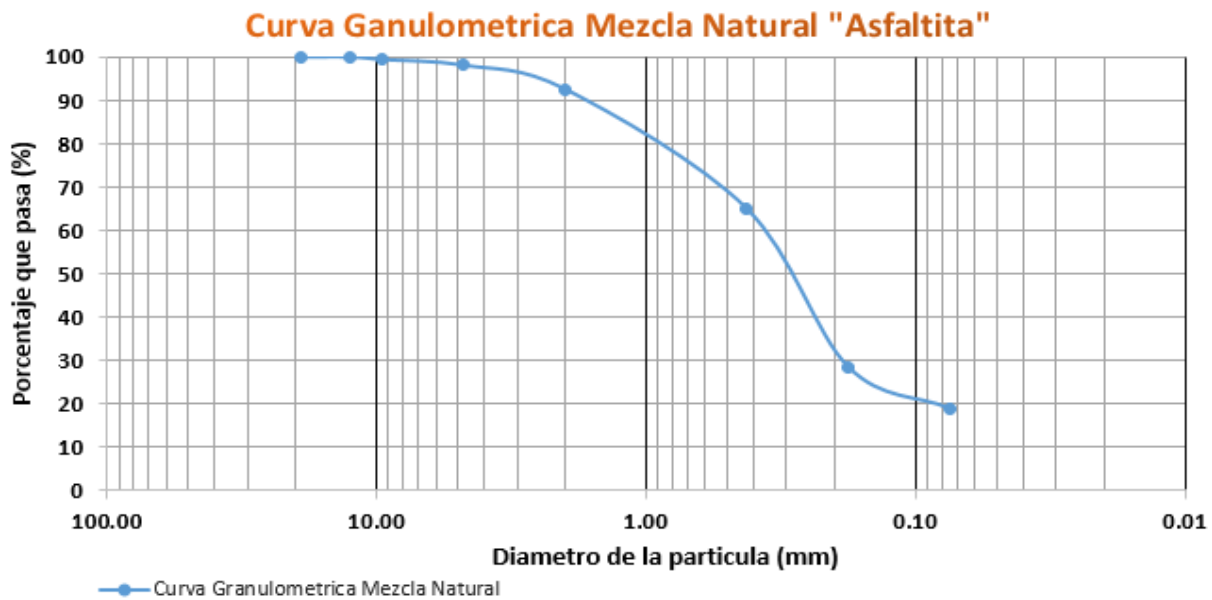


Figura 9 Curva Granulométrica Mezcla Asfáltica Natural Mina Las Pavas.

Se puede evidenciar que los agregados pétreos de la mezcla asfáltica en su estado natural tal como sale de la mina, presenta tamaños menores (tamiz ½”= 12.5 mm) al tamaño máximo permitido de 19 mm (¾”), según “Especificación particular Art. 442P. INVÍAS, 2013”.

De la presente gradación se puede demostrar que esta mezcla de asfalto natural está compuesta principalmente por un alto porcentaje de arenas finas, debido a que está pasando 98.1% por el tamiz 4.75 mm, y en el #200 retiene un 80.9%.

Se comprueba que esta mezcla natural no se encuentra dentro de las franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción de capas asfálticas, según criterios de diseño de mezclas referenciados en la especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17. Los resultados obtenidos en nuestro estudio se aproximan al tipo de gradación MAN-19 (Mezcla asfáltica Natural 19 mm), diseño que se podría escoger como fórmula de trabajo para cumplimiento. Mirar **Tabla 1. Franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción de capas asfálticas con una mezcla asfáltica natural.**

Esto nos demuestra que la mezcla asfáltica natural que estamos estudiando requiere un ajuste en su granulometría, mediante la adición de agregados pétreos combinados, alcanzando los límites de gradación, solicitados en los criterios de diseño de la especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17.

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	MAN-19	
¾	19.00	100	100
½	12.50	80	95
4	4.75	50	65
8	2.36	35	50
50	0.30	13	23
200	0.075	3	8

Tabla 3 Gradación mezcla asfáltica natural MAN19.

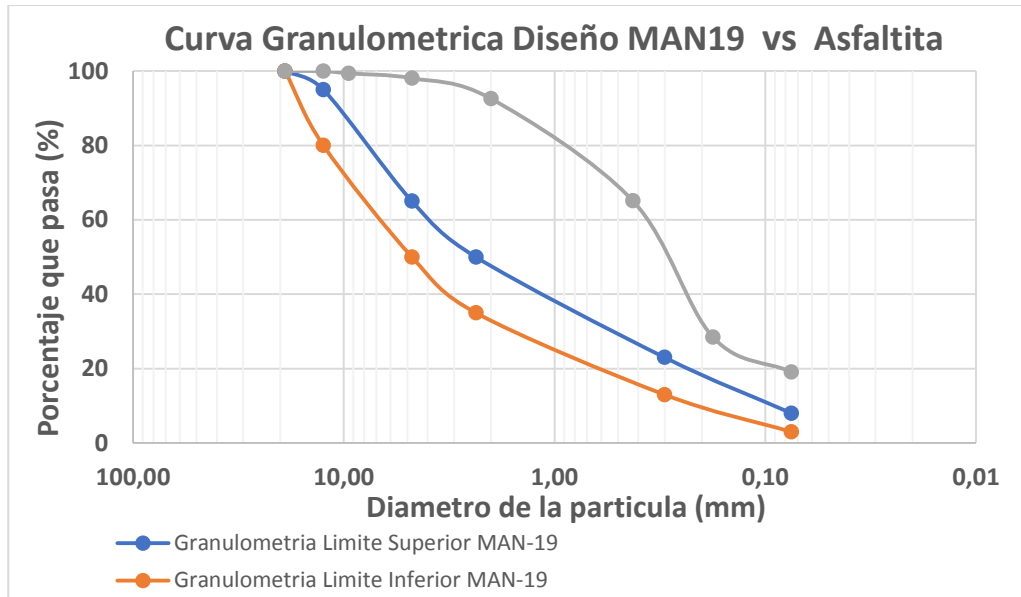


Figura 10 Curva granulométrica de mezcla asfáltica natural estudio vs MAN19.

COMPARACION CON GRANULOMETRIA MEZCLA DENSA MD12 (IDU 2011)

Ahora para conocer el comportamiento de los asfaltos naturales “Asfaltita” frente a una mezcla densa en caliente, vamos a realizar un comparativo con la caracterización granulométrica en su límite inferior y superior de una mezcla densa MD12, diseño del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), como se muestra en la [tabla 4](#).

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

Tabla 4 Granulometría agregados para mezclas asfálticas en caliente. Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano-IDU. Especificaciones Técnicas, 2011).

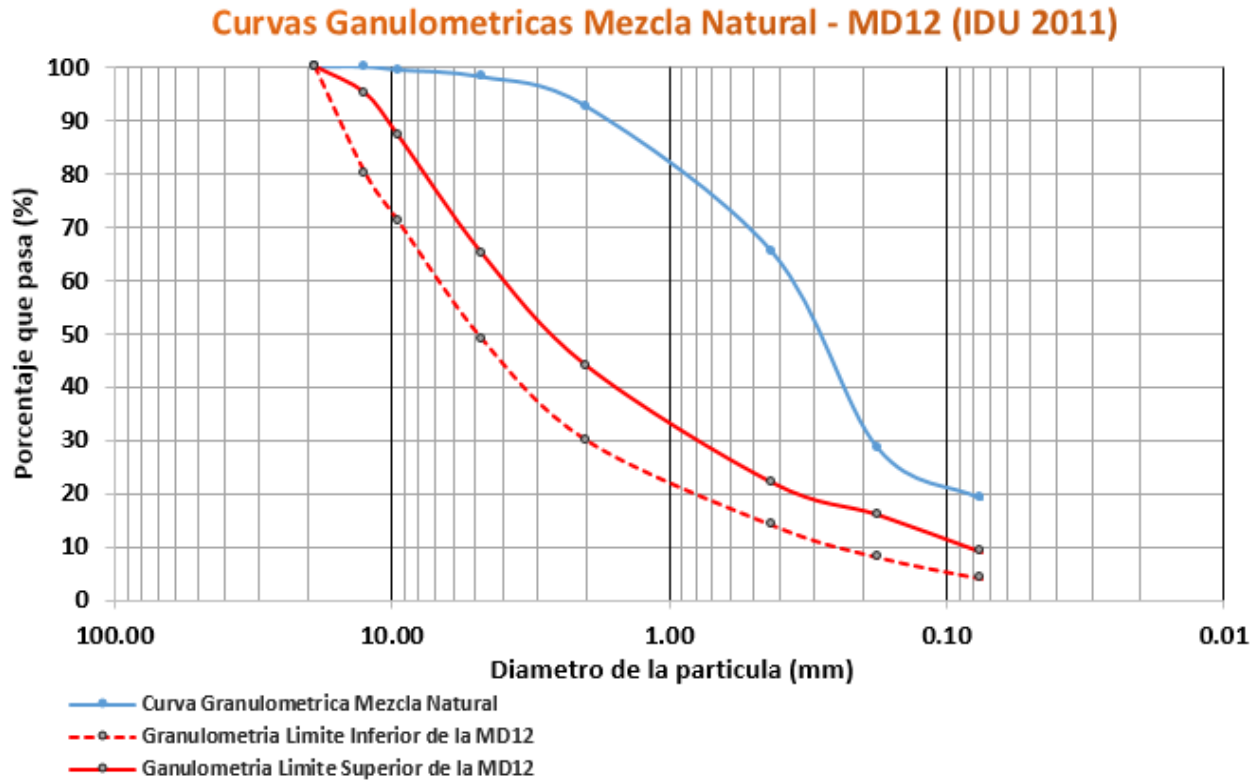


Figura 11 Comparación Curva granulométrica MD-12 con gradación de la Asfaltita.

La gradación de la mezcla asfáltica natural “Las Pavas” no se encuentra dentro de los límites de franjas granulométricas de los agregados pétreos como criterio de diseño de la mezcla MD-12. Lo que significa, que cada uno de estos diseños de mezcla en estudio, presentan un contenido de material pétreo con gradaciones distintas, generando una diferencia de comportamiento en sus características físico-mecánicas. En la Asfaltita predomina los agregados finos (arenas), mientras que en la MD12 presenta una gradación variable en cuanto a sus tamaños.

Para que las condiciones mecánicas de los dos tipos de mezclas tengan un comportamiento análogo, la curva granulométrica de la Asfaltita debe ser ajustada a una media entre los límites de gradación inferior y superior de la MD-12, mediante la combinación óptima de los agregados.

Extracción cuantitativa del contenido de asfalto

Mediante este ensayo de extracción cuantitativa de la mezcla asfáltica natural, conocimos el contenido de asfalto inherente en la Asfaltita. En la siguiente [tabla 5](#). Se establecen los pesos tomados para calcular el contenido de asfalto:

ACTIVIDAD	PESO (g)
Peso del recipiente	112.1
Muestra sin centrifugar (P1)	1000
Muestra Inicial + Recipiente	1112.1
Peso después del lavado a gasolina + Recipiente	998.9
Peso después del lavado sin recipiente	886.8
Peso muestra después de meterla al horno + recipiente	997.8
Peso muestra después de meterla al horno sin recipiente	885.7
Peso de la muestra después del lavado + recipiente	982
Peso de la muestra después del lavado	869.9
Material Pasa Tamiz #200	15.8
Peso filtro antes de centrifugado	14
Peso filtro después de centrifugado	25.7
Material depositado en el filtro	11.7
Peso Total muestra (P2)	897.4
% Asfalto	10.26

Tabla 5 Pesos tomados para calcular el contenido de asfalto.

ENSAYO No	1	2	PROMEDIO
P1	1000		
P2	897.4		
DIFERENCIA	102.6		10.26
% ASFALTO	10.26		

Tabla 6 Calculo del contenido de asfalto.

El contenido de asfalto (%) en la mezcla asfáltica natural de la Mina Las Pavas es de **10.26%**, considerado en la especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17, como un porcentaje alto (Mayor al 10%).

Conociendo el alto contenido de asfalto en la presente mezcla asfáltica natural de investigación, resulta viable realizar ajustes necesarios en su estructura para mejorar condiciones mecánicas, mediante la adición de un agregado de aporte para en cumplimiento de los requerimientos establecidos en la especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17.

El contenido de asfalto puede variar según el origen y la fuente de explotación.

Ensayo Cántabro.

Por medio de este ensayo determinamos el valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles.

Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en porcentaje (%)

P_1 = Masa inicial de la probeta, en gramos, y

P_2 = Masa final de la probeta, en gramos.

Resultados obtenidos en el ensayo de laboratorio:

Proyecto:	Cántabro pérdida por desgaste	Fecha:	14 mayo de 2019
Descripción:	Mezcla Asfáltica Natural "Asfaltita"	Fuente:	Mina Las Pavas
Norma Ref:	INV-E-760-13		
Referencia	30 RPM	30 RPM	30 RPM
Muestra	4	5	6
Condición de la muestra	Seca	Seca	Seca
Descripción	Asfaltita	Asfaltita	Asfaltita
Masa muestra inicial (P1) (g)	1,011.00	1,021.60	1,025.70
Masa muestra final (P2) (g)	974.10	764.30	1,007.40
Perdida (g)	36.90	257.30	18.30
Porcentaje de perdida (%)	3.65	25.19	1.78
Promedio Porcentaje de perdida		10.21	

Tabla 7 Resultados de laboratorio Ensayo Cantabro.

El valor promedio calculado en las tres (3) briquetas ensayadas en el laboratorio, nos arrojó un porcentaje del **10.21%**. Con estos resultados podemos conocer una propiedad mecánica de mezcla asfáltica natural, que es la pérdida por desgaste.

Teniendo en cuenta el resultado que obtuvimos en la muestra #5 con un porcentaje de 25.19%, presentó una gran diferencia con los resultados de las muestras #4 y #6, se concluye que se presentó un problema en la fabricación de la briqueta.

El comparativo con el requerimiento “Desgaste máximo en la máquina de los ángeles” no se logra realizar, debido a que la especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17, no establecen los parámetros de aceptación mínimos.

Por medio de este ensayo, evidenciamos que la muestra #4 y #6 presenta una buena resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico. Igualmente presenta una buena cohesión y trabazón entre los agregados de la mezcla a temperatura ambiente.



Foto Muestra 4 (P1)



Foto Muestra 4 (P2)



Foto Muestra 5 (P1)



Foto Muestra 5 (P2)



Foto Muestra 6 (P1)



Foto Muestra 6 (P2)



Briquetas de ensayo



Briqueta dentro de Maquina Los Angeles

Imagen 1 Ensayo cántabro.

Ensayo de Tracción Indirecta

Mediante este ensayo mecánico logramos conocer la carga máxima de rotura a tracción “Estabilidad” de la mezcla asfáltica natural en laboratorio y la resistencia a la tensión indirecta (RTI) en estado seco. El RTI se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$RTI = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D}$$

A continuación, presentamos registro fotográfico y los resultados obtenidos:



Briquetas a ensayar



Baño de maria T= 25°C



Carga a tracción indirecta Briqueta 1



Carga a tracción indirecta briqueta 3



Carga a tracción indirecta briqueta 2



Baño de maria a 25 °C

Imagen 2 Ensayo de Tracción Indirecta.

Proyecto:	Susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando prueba de Tracción Indirecta										Fecha:	28 de abril de 2019					
Descripción:	Mezcla Asfáltica Natural "Asfaltita"										Fuente:	Mina Las Pavas					
Norma Ref:	INV-E-725-13																
Peso específico de los agregados:							2.562			Peso específico del asfalto:				1.02			
N o	%	Espes or Muestr a (mm)	Diametro Muestra (mm)	Peso en Gramos			Peso Especifico			Volumen - % Total			Volum. Vacíos con aire	Carga (N)	Resist. Tracción RTI (Kpa)		
				Seca en Aire	S.S.S En aire	En Agua	Volum.	Peso Unit TN/M ³	Max. Teoric o	Asfalto	Agregados	Vacíos (%)					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		
							F-G	E/H		$\frac{(B \times I)}{Ps_{Asf}}$	$\frac{(100 - B) \times I}{Ps_{Ag}}$	100-K-L	$H \times M / 100$		$Rt = \frac{2000P}{PtD} [kPa]$		
1	10.26	67.1	101.6	1027.0	1027.4	467.6	559.8	1.834	2.22	18.45	64.26	17.29	96.77	900.0	84.04		
2	10.26	68.3	101.6	1024.7	1026.1	473.5	552.6	1.854	2.22	18.65	64.95	16.40	90.60	920.0	84.40		
3	10.26	68.4	101.6	1019.1	1020.0	466.5	553.5	1.841	2.22	18.52	64.49	16.99	94.03	960.0	87.94		
Promedio								1.843	2.22	18.54	64.57	16.89	93.8	926.7	85.46		

Tabla 8 Resultados obtenidos en laboratorio, ensayo de Tracción Indirecta.

Para el presente estudio de investigación, vamos a comparar la carga máxima de rotura a tracción que nos está arrojando el ensayo, con la estabilidad mínima aceptable según los Criterios de diseño Marshall del Instituto Norteamericano del Asfalto ([tabla 9](#)), citados en especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17.

CARACTERISTICAS	Mínimo	Promedio	Máximo
Grado de curado			
% Solvente evaporado para mantenimiento para pavimentación		25 50	
Numero de golpes por capa		75	
% Vacios por mezcla	3	-	5
% Vacios en los agregados		Ver Tabla 442-9	
Estabilidad lb. (25°C)			
Para mantenimiento para pavimentación	500 750		
Flujo 0.01" (25°C)	8		16
Estabilidad residual Después de inmersión Durante 4 días a 25°C	75		

Tabla 9 Criterios Marshall del Instituto Norteamericano del Asfalto Fuente: especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17.

Los resultados de la carga máxima de rotura a la tracción indirecta “Estabilidad” en cada una de las briquetas ensayadas, nos arrojó valores que se encuentran por debajo de la estabilidad mínima requerida para pavimentación, por lo tanto, no cumple. El porcentaje de vacíos presente en la Asfaltita no cumple debido que, se encuentra por encima del requerido, ver **tabla 10**. Estos parámetros evaluados nos están indicando que la mezcla asfáltica natural “mina las Pavas”, presenta altos porcentaje de vacíos generando alta susceptibilidad a la humedad e influyendo en el decrecimiento del índice de estabilidad, lo cual es necesario mejorar la mezcla con la adición de agregados pétreos a la misma temperatura.

Parámetros	Especificación particular INV, Art. 442P-17	Mezcla Asfáltica Natural Las Pavas			
		Resultado Carga Max. Rotura (Kg)			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Estabilidad Mínimo (Kg)	Mantenimiento	500	91.8	93.8	97.9
	Pavimentación	750			
% Vacíos	Min. 3 – Max. 5	17.3	16.4	17.0	
		No Cumple	No Cumple	No Cumple	

Tabla 10 Análisis resultados ensayo Tracción Indirecta mezcla asfáltica natural.

Ensayo por el método Marshall

Por medio de este ensayo mecánico se determinaron los parámetros de resistencia (Estabilidad máxima, deformación) y los parámetros volumétricos (% de vacíos a partir de las gravedades específicas de los materiales empleados y de las briquetas de ensayo) presentes en la mezcla asfáltica natural extraída de la mina Las Pavas, localizada en el Departamento del Caquetá.

COMPARACION DE RESULTADOS CON CRITERIOS DE DISEÑO DEL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU, 2011) Y LA ESPECIFICACIÓN PARTICULAR INV, ART. 442P-17.

Para tener un parámetro de comparación de los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación con los criterios de diseño de mezclas especificadas por el Instituto de desarrollo Urbano 2011 (IDU) transito NT1, se comparan los resultados de los parámetros de resistencia y volumétricos. Igualmente se hace un análisis comparativo con los resultados de una mezcla densa MD12, diseño del Instituto de Desarrollo Urbano (Urbano-IDU., 2011), ver **tabla 11**. (Urbano-IDU., 2011)

Parámetros	Criterio Diseño IDU, 2011	Criterio Diseño INV- Art 442P-17	Mezcla Densa, Semidensa, Gruesa		Cumple Diseño IDU, 2011 S/N	Cumple Diseño INV- Art 442P-17 S/N
			Transito NT1	Transito NT1		
Estabilidad mínima (Kg)	600	750	1435	174.0	NO	NO
Flujo Marshall (mm)	2 - 4	8 - 16	3.1	4.5	NO	NO
Estabilidad/Flujo (Kgf/mm)	200-400	-	463	40.8	NO	-
Gravedad Especifica Bulk	N.A	-	2207	2059	NA	-
Vacíos con Aire - Va (%)	4.0 - 6.0	3.0 - 5.0	4.8	7.20	NO	NO
Vacíos en los Agregados Minerales - VAM (%)	Min 15	Min 15	16.4	27.9	SI	SI
Vacíos Llenos de Asfalto-VFA (%)	65 - 75	-	69	74.2	SI	-
Contenido Óptimo de Asfalto (%)	N.A	-	5.8	10.26	NA	-

Tabla 11 Comparativos Criterios diseño IDU, 2011. Mezcla MD-12, Asfaltita "Pavas".

A continuación, se presenta cuadro de resultados ensayo por el método Marshall de la mezcla asfáltica natural "Mina Las Pavas":



Imagen 3 Elaboración de briquetas de ensayo y Ensayo Marshall

Proyecto:		Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el Método Marshall												Fecha:		28 de abril de 2019				
Descripción:		Mezcla Asfáltica Natural "Asfaltita"										Fuente:		Mina Las Pavas. Dpto. Caquetá						
Norma Ref:		INV-E-748-13																		
Peso específico de los agregados 2.562										Peso específico del asfalto: 1.02										
		Peso en Gramos			Peso Especifico			Volumen - % Total			Vacíos %			ESTABILIDAD						
N	%	Espe	Sec	S.S	En	Vol	Pes	Teo	Asfalto	Agreg	Vací	Agre	Mezcla	Llenos	Peso	Medid	Corre	Fl	Fact	Rigid
o	Asfalt	sor	a	.S	Agua	um.	o	rico		ados	os	gado	Total		Unit	a (Kgf)	gid	ujo	or	ez
	o	Mue	en	En			Unit								Lbs/Pi		(N)	0.0	Cor	E/F
		stra	Air	air			TN/								e3			1	rec.	KN/m
		(mm	e	e			M3											(m		m)
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
						E-F	D/G		$(B * H) / P_s$	$(100 - B) * H / P_s$	$100 - J - K$	$100 - K$	$100 - 100 * H / I$	$100 * J / (J + N)$	$H * 62.4$		$Q * T$			R/S
1	10.26	65	101	99	493.7	500.	2.03									175	1785	4.6	1.04	0.39
			9.2	3.8		1	8													
2	10.26	67	104	99	494.6	498.	2.09									182	1856	4.2	1.04	0.44
			1.4	2.7		1	1													
3	10.26	65	103	99	491.9	504.	2.04									164	1673	4.7	1.04	0.36
			3.1	6.6		7	7													
							2.05	2.22	20.71	72.11	7.19	27.89	7.19	74.23	128.45		1771	4.5		0.40
							9										0			

Tabla 12 Resultados ensayo por el método Marshall Mezcla asfáltica natural "Las Pavas"

”.Analizando los resultados “Estabilidad” en cada una de las muestras ensayadas, se obtuvieron valores por debajo de la estabilidad mínima requerida, tanto para el criterio de diseño de mezclas del Instituto de desarrollo (Urbano-IDU., 2011) transito NT1, como para el criterio de diseño de mezclas de la especificación particular INV, Art. 442P-17, como se ilustra en la [figura 12](#). Estos datos paramétricos demuestran que la Asfaltita presenta baja resistencia a cargas de transito categoría NT1 y un alto potencial de falla por agrietamiento y ahuellamiento.

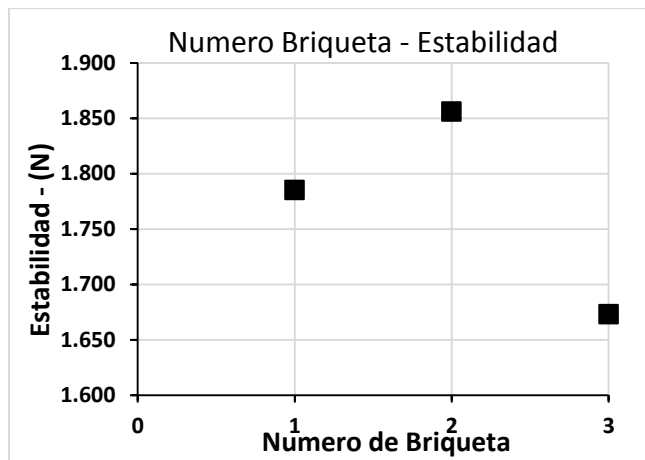


Figura 12 Resultados de estabilidad en de cada briqueta

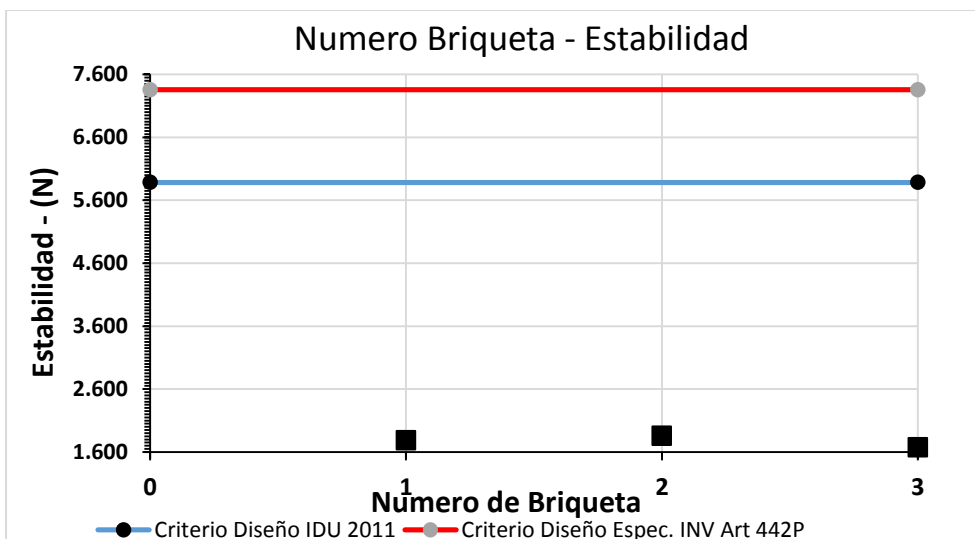


Figura 13 Criterios de diseño de estabilidad IDU 2011 – Especificación INV Art 442P

Respecto al flujo “desplazamiento en el momento de la falla” la mezcla asfáltica natural está por debajo del flujo mínimo requerido como criterios de diseño de mezclas citados en la especificación particular INV, Art. 442P-17; lo que indica que la Asfaltita presenta buen comportamiento ante las deformaciones elásticas a compresión por efecto de las sollicitaciones del tránsito. Según criterios de diseño de mezclas del Instituto de desarrollo Urbano 2011 (Urbano-IDU., 2011) transito NT1, el flujo de la Asfaltita se encuentra muy cerca al límite superior de aceptación (2-4 mm), pero no estaría cumpliendo.

La [figura 14](#) nos muestra que el valor de la estabilidad es inversamente proporcional al flujo, queriendo decir que, a mayor estabilidad el desplazamiento va a ser menor, y cuando la estabilidad sea menor, su desplazamiento aumenta. Este comportamiento se asocia como consecuencia al alto contenido de asfalto y grandes porcentajes de vacíos presentados en la mezcla asfáltica natural; incrementando su condición elástica y acomodación de sus agregados al aplicar las cargas de estabilidad menores.

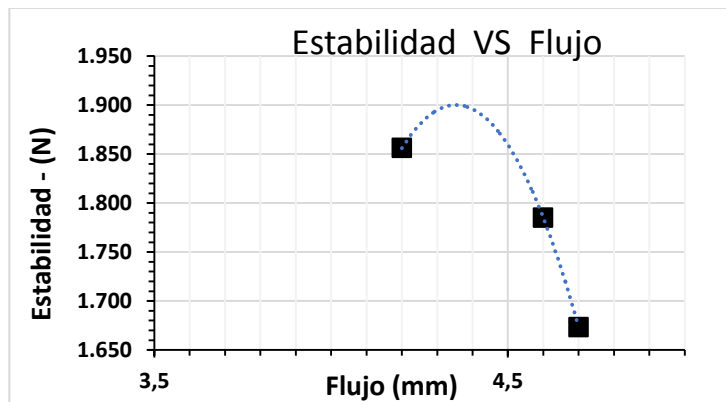


Figura 14 Comportamiento del flujo respecto la estabilidad.

Referente al % de vacíos presentado en la mezcla asfáltica natural “Mina Las Pavas” (7.20%). Este valor está por encima de los rangos de aceptación y no cumple con los criterios de diseño de mezclas establecidos por el Instituto de desarrollo Urbano 2011 (IDU) transito NT1 y tampoco cumple con criterio de diseño de la especificación particular INV, Art. 442P-17, indicando que su baja estabilidad y rigidez es consecuencia de los altos porcentaje de vacíos presentados en la Asfaltita. Por esta razón es necesario mejorar la mezcla con la adición de agregados pétreos con gradación óptima.

Respecto al parámetro de rigidez (E/F), se concluye que, a mayor valor de estabilidad, la rigidez de la mezcla va a aumentar de forma proporcional. Ver [figura 15](#).

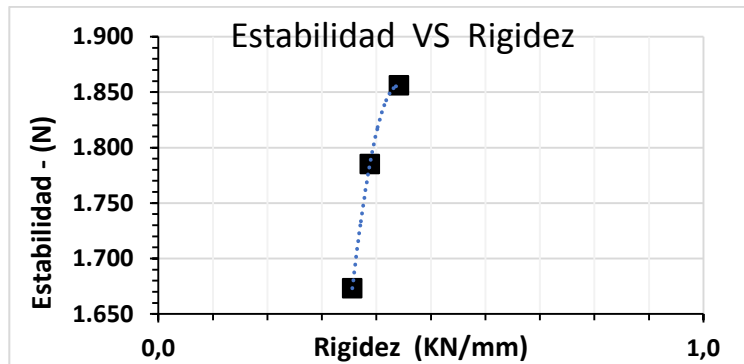


Figura 15 Comportamiento de la rigidez respecto la estabilidad.

10. CONCLUSIONES

- ✓ Mediante el proceso de la caracterización de materiales de la mezcla asfáltica natural, se comprobó que la composición granulométrica está conformada principalmente por un alto porcentaje de arenas finas.

- ✓ La curva de gradación de la Asfaltita no se encuentra dentro de las franjas granulométricas de los agregados tanto para el criterio de diseño de mezclas de la especificación particular INV, Art. 442P-17, como en el diseño de la mezcla MD-12 del Departamento de desarrollo Urbano IDU, 2011.

- ✓ Conociendo el alto contenido de asfalto (10.26%) en la mezcla asfáltica natural de investigación, resulta viable realizar ajustes necesarios en su estructura para mejorar condiciones mecánicas, mediante la adición de agregado de aporte para cumplir con diseños del INVIAS, Artículo 442P-17.

- ✓ Se evidencio en el ensayo de tracción indirecta, que la mezcla asfáltica natural presenta altos porcentaje de vacíos, generando alta susceptibilidad al contacto con el agua e influyendo en el decrecimiento de su estabilidad.

- ✓ La estabilidad en las briquetas ensayadas, resultó tener valores muy bajos que no cumplen con los criterios de diseño de la especificación particular INVIAS, Artículo 442P-17, es necesario ajustar su estructura con la adición de agregados pétreos.

- ✓ El valor de la estabilidad es inversamente proporcional al flujo, queriendo decir que, a mayor estabilidad el desplazamiento va a ser menor, y cuando la estabilidad sea menor, su desplazamiento aumenta. Este comportamiento se asocia al alto contenido de asfalto y grandes porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica natural.

- ✓ Se concluye que la mezcla de asfalto natural (tal como sale de la mina Las Pavas), no cumple con los criterios de diseño de mezclas que plantea la especificación particular del INVIAS, Artículo 442P-17, “Mezcla asfáltica natural”, como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1. Pero existe la posibilidad de ajustar sus componentes estructurales para mejorar condiciones mecánicas, mediante la adición de un agregado de aporte o ligante asfáltico.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar la toma de muestras en diferentes zonas de la mina obteniendo mayores valores de comparación y generando mayor confiabilidad en los resultados.
- ✓ Realizar un estudio más exhaustivo de la muestra ampliando nuestra investigación, mediante la realización de otros ensayos de laboratorio para la medición y análisis de la deformación permanente, vida a fatiga, módulos dinámicos y demás.
- ✓ Ejecutar la fabricación de un número mayor de briquetas de muestreo, ante la necesidad de repetir un procedimiento de ensayo por fallas en la elaboración de alguna muestra, tal como se presentó en la muestra #5 del ensayo cántabro.
- ✓ Por su alto contenido de asfalto, resulta viable su utilización como agente modificador de mezclas asfálticas, mejorando las características de rigidez y resistencia a las deformaciones permanentes de una mezcla ante las sollicitaciones del tránsito.

BIBLIOGRAFÍA

Abraham, H. ((1960)). Clasificación de los asfaltos naturales. New Jersey, USA.: Van Nostrand Company Inc, Princeton.

Dowling, J., & Franco, R. (1973). Los asfaltos naturales del Caquetá, Estudios Materiales. Caquetá, Colombia: Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Colombia.

INVÍAS. (2013). Especificación particular Art. 442P. Bogotá.

Juan jose Potty. (2014). Asfalto y pavimentacion. Asfalto y pavimentacion , IV (13), 58.

Manrique, I. R. (Febrero de 2013). . Caracterización y Diseño de Mezclas Asfálticas con Asfaltitas de Boyacá para Uso en Vías de Bajo Volumen de Tránsito. Obtenido de <http://prezi.com/h53vaheham8p/ponencia-2do-encuentro-de-materiales/>

Ruiz-Acero, J., Reyes-Ortiz, O., & Moreno, A. (2016). Evaluación del comportamiento mecánico del asfalto natural a partir de muestras a temperatura ambiente provenientes de Caquetá. Rev.investig.desarro.innov , 6 (2), 145-154.

Urbano-IDU., I. d. (2011). Especificaciones Técnicas. Bogotá.

Vías-INVÍAS., I. N. (2017). Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural. Art. 442P. Resolución N°10099. Bogotá.

Vías-INVÍAS., I. N. (2017). Especificaciones Técnicas. Bogotá.

Rondón, H. A., & Reyes, F. A. (2012). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con asfaltita. Revista de Ingeniería, 36, 12-19. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/1210/121025826002.pdf>

“*RONDON, H. A., & REYES, F. A.*”. *Pavimentos: materiales, construcción y diseño. Bogotá.: Ecoe Ediciones, 2015. 608P-(Ingeniería y salud en el trabajo. Ingeniería Civil). ISBN 978-958-771-175-2.*

Caicedo, J. J. (Junio de 1996). Experiencias con mezclas de asfaltitas-emulsión asfáltica y asfaltitas-crudo de castilla en la pavimentación. Bogotá, Colombia: Decimo Primer Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos.

García, E. (2000). Análisis de los pavimentos construidos con asfalto natural en la vía Dorada - Norcasia. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura Ingeniería Civil.

Salamanca R, E.C., y Santos C, C.F. (2012). Características y Diseño de una MDensa en Caliente con las Asfaltitas de Pesca- Boyacá. Cantera Santa Teresa.

“*GARCIA Manuel, BARRIOS Julio & CAÑÓN Julio*”. *Manual de estabilidad de taludes, Geotecnia Vial. Bogotá: INVIAS, editado Escuela Colombiana de Ingeniería. 7998.34 Pg.*
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES Y PAVIMENTADORES ASFÁLTICOS DE COLOMBIA ASOPAC. Cartilla de pavimento asfáltico. Bogotá: ASOPAC, 2004.24p

Norma Unión Europea UNE-EN 12697-24 de 2012: Mezclas Bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 24: Resistencia a la fatiga.

Potty Juan. (2014). Asfalto y pavimentación. Revista, número 13, volumen IV. Madrid: Prensa Técnica, S. L. 56p. ISSN: 2174-2189. Recuperado de: http://www.asefma.es/wp-content/uploads/2014/06/asfalto_13.pdf

GLOSARIO

Calzada: Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado.

Carril: Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.

Agregado: un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Base: Capa principal de la estructura de pavimento ubicada entre la subrasante o la subbase y la capa de rodadura.

Pavimento: Estructura constituida por una serie de capas (Subbase, Base y Capa de Rodadura) dispuesta sobre la subrasante, que tiene como propósito mejorar las condiciones naturales del terreno y brindar al usuario las condiciones de comodidad y seguridad.

Pavimento flexible: Tipo de pavimento constituido por una capa de rodadura bituminosa apoyada generalmente sobre capas de material no ligado.

Asfalto: “Un material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo” (ASTM D8).

Asfalto natural: Asfalto que ocurre en la naturaleza y que ha sido derivado del petróleo por procesos naturales de evaporación de las fracciones volátiles, dejando así las fracciones asfálticas.

Período de diseño: Es el tiempo para el que se estima que la estructura de pavimento va a funcionar con un nivel de servicio adecuado, sin requerir actividades de rehabilitación.

Ahuellamiento: Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

Tamiz: Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

Viscosidad: Es una medida de la resistencia al flujo es un método usado para medir la consistencia del asfalto.

Consistencia: Describe el grado de fluidez o plasticidad de un cemento asfáltico a determinada temperatura. La consistencia del cemento asfáltico varía con la temperatura; por lo tanto, es necesario usar una temperatura patrón. La temperatura patrón es de 60°C (140°F).

Ductilidad: La habilidad de una sustancia de ser estirada o estrechada en forma delgada. Aun cuando la ductilidad se considera como una característica importante del cemento asfáltico en muchas de sus aplicaciones.

Flexibilidad: La habilidad de un pavimento asfáltico para ajustarse a asentamientos en la fundación. Generalmente, un alto contenido de asfalto mejora la flexibilidad de una mezcla.

Deformación: La deformación de un pavimento es cualquier cambio que presente el pavimento con respecto a su forma original.

Impermeabilidad: La capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro a través del mismo.

Porosidad: Propiedad de un cuerpo que se caracteriza por la presencia de vacíos en su estructura.

Vacíos: Espacios vacíos en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.

Volumen de Vacíos: Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla compactada.

Compactación: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Portland.

Consolidación: Reducción gradual en volumen de un suelo, como resultado de un incremento de las tensiones de compresión.

Cohesión: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

Penetración: La consistencia de un material bituminoso expresada como la distancia, en décimas de milímetro (0.1mm), que una aguja patrón penetra verticalmente en una muestra de material, bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.

Resistencia a La Fatiga: La habilidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.

Contracción: Esfuerzo volumétrico asociado con un decrecimiento en sus dimensiones

Granulometría: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

Módulo Resiliente: También llamado módulo elástico-dinámico de los materiales que conforman una estructura de pavimento.

CBR (California Bearing Ratio): Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

Contenido de Humedad Óptimo: Es el contenido de humedad al cual un suelo ó material granular al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado proporciona una máxima densidad seca.

Contenido de Humedad: Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo.

Corte (directo): Ensayo según el cual un suelo sometido a una carga normal falla al moverse una sección con respecto a otra.

Ensayo Marshall: Procedimiento para obtener el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.

Ensayo SPT (Standard Penetration Test): Medida de la resistencia de un suelo al ser hincado en el terreno, un muestreador o instrumento.

Equivalente de Arena: Proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo (sucio) o material arcilloso en los suelos o agregados fino

Limite Liquido: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

Limite Plástico: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi- sólido.

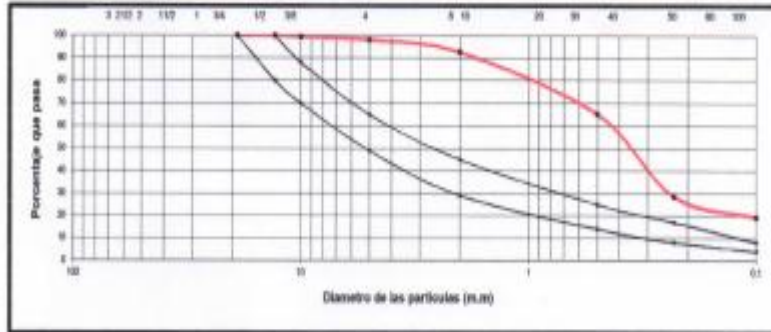
ANEXOS

GEOCON INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS
CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES

MATERIAL ASFALTICO NATURAL (ASFALTITA)
E - 123 - E - 732

SEÑORES:	WILDER SALAZAR / DIEGO CRUZ	FECHA:	Abril 28 de 2019
PROYECTO:	CARACTERIZACION		
DESCRIPCION:	ASFALTO NATURAL (Asfáltita)	FUENTE:	MINA LA PAVA

P1=	897,4	P2=	725,7	
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	5,3	0,6	0,6	99,4
4	11,9	1,3	1,9	98,1
10	49,4	5,5	7,4	92,6
40	246,1	27,4	34,8	65,2
80	329,1	36,7	71,5	28,5
100	83,9	9,3	80,9	19,1
-100	171,7	19,1	100,0	0,0



ENSAYO No.	1	2	Promedio
P1	1000,0		10,26
P2	897,4		
DIFERENCIA	102,6		
% ASFALTO	10,26		

Valor Especificado	
TEMPERATURA DE SALIDA	
TEMPERATURA DE COMPACTADA	

Observaciones:	HAY QUE TENER EN CUENTA QUE PARA ESTE MATERIAL NO HAY NORMAS	
Elaboró:	LUIS ANTONIO AVILEZ Laboratista, Nombre/Firma	REVISÓ: LUIS ANGEL AVILEZ MURCIA Ingeniero, Nombre / Firma

Barrio Villanueva, Cel 312523949
E-mail: geconingenieria@hotmail.com
Florencia - Capatí

