



**ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA UN DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL
(MAN) PROCEDENTE DE LA MINA SAN PEDRO MUNICIPIO ARMERO – TOLIMA
CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL ALTO MAGDALENA, PARA LA
REHABILITACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL**

HEIDY VANESSA MURILLO GARAY

ANGIE CAROLINA PEÑA DÍAZ

CAMILO ALBERTO SUAREZ VANEGAS

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

SECCIONAL ALTO MAGDALENA

GIRARDOT - CUNDINAMARCA

2020



**ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA UN DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL
(MAN) PROCEDENTE DE LA MINA SAN PEDRO MUNICIPIO ARMERO – TOLIMA
CON AGREGADOS DE LA REGIÓN DEL ALTO MAGDALENA, PARA LA
REHABILITACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL**

HEIDY VANESSA MURILLO GARAY

ANGIE CAROLINA PEÑA DÍAZ

CAMILO ALBERTO SUAREZ VANEGAS

Presentado para optar el título de ingenieros civiles

Director de proyecto de grado:

LEANDRO VELÁSQUEZ SALGUERO

Ingeniero Civil

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

SECCIONAL ALTO MAGDALENA

GIRARDOT - CUNDINAMARCA

2020

Dedicatoria

Dedico este gran logro primeramente a Dios, por darme la fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mis padres y a mi abuelita por llenarme de motivación para culminar este proceso. Agradezco por recalcar me que todo en la vida requiere de sacrificios pero que al final todo vale la pena por algo que se anhela y se sueña con el corazón; Por enseñarme que siempre hay que ser un luchador por lo que se quiere y que hay que guerrearla cuando se necesita. Gracias padres por darme ejemplo de que con disciplina, compromiso y pasión por lo que se hace se logran grandes cosas.

A mi novio quien ha estado presente a lo largo de este proceso de aprendizaje. Gracias por ser parte de este trabajo y por compartir este ciclo tan enriquecedor en mi vida.

A mi amiga y compañera quien ha estado conmigo desde el inicio de esta etapa brindándome su amistad sincera e incondicional.

Heidy Vanessa Murillo Garay

Este trabajo lo dedico primero a Dios quien es la base de mi vida y con sus bendiciones me permite salir adelante cada día me da la fuerza y el valor que necesito para enfrentar cualquier adversidad.

A mis papás las personas que más admiro y la bendición más grande que Dios me ha dado. En especial por su amor, paciencia, dedicación y perseverancia por todo el esfuerzo que hacen por mí, por verme bien y feliz, por el buen ejemplo que siempre me ha dado y los valores que han inculcado en mi vida.

A mi hermano por su apoyo incondicional y su amor. A ellos que son las personas más importantes en mi vida por las que día a día trato de alcanzar mis sueños y metas.

Angie Carolina Peña Díaz

Este proyecto lo dedico principalmente a ti Dios, por bendecirme grandemente con una familia maravillosa quienes han sido mi motor y mi eje fundamental en la vida.

Principalmente quisiera dedicar con todo mi cariño este trabajo a mis padres por brindarme tanto amor, apoyo incondicional y tener siempre las palabras alentadoras en los momentos que me abrumaba cuando quería dejar a un lado este proceso y en cada paso que realicé en mi vida, porque ustedes son mi mayor motivo para salir adelante y deseo retribuir cada una de las cosas que me brindaron. Gracias a sus sacrificios y cada uno de sus esfuerzos hoy puedo decir que lo logré, culminé mi carrera profesional y deseo que se llamen orgullosos y sientan este mérito como propio porque es por y para ustedes. A mi hermano por ser mi orientación y darme su apoyo, por tener los consejos en los momentos más oportunos y colaborar en todo lo que necesité. A mi pareja por aconsejarme, guiarme en los momentos difíciles y brindarme su total apoyo para este paso que vamos a culminar juntos.

Agradezco a mis compañeras por permitir que hiciera parte de este equipo de trabajo para que pudiera brindar mis conocimientos adquiridos en todo mi proceso de formación y confiar en mis capacidades. Nuestro esfuerzo y dedicación se ven reflejados en este trabajo el cuál significa la culminación de nuestra formación como ingenieros civiles.

Camilo Alberto Suárez Vanegas

Agradecimientos

Los autores presentan agradecimientos al Ingeniero Leandro Velásquez por ser el tutor en todo este proceso y compartir sus conocimientos para poder culminar este proyecto. Al Ingeniero Faver Verá quien ofreció su apoyo y guía para iniciar este proyecto.

De igual forma extienden sus agradecimientos a la Corporación Universitaria Minuto de Dios por contribuir con el desarrollo académico, inculcando la importancia de la investigación para ampliar y afirmar los conocimientos adquiridos durante estos 5 años abriendo nuevas posibilidades en nuestras vidas.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Tabla de Contenido

Dedicatoria.....	III
Agradecimientos	VI
Tabla de Contenido de Ilustraciones	XI
Tabla de Contenido de Tablas.....	XI
Resumen	XIII
Abstract.....	XV
Introducción.....	17
1 Planteamiento del Problema	19
2 Justificación.....	21
3 Objetivos.....	22
3.1 Objetivo General.....	22
3.2 Objetivos Específicos.....	22
4 Marco Referencial.....	23
4.1 Marco Contextual	23
4.1.1 Provincia del Alto Magdalena	23
4.1.2 Municipio de Girardot.....	24
4.2 Marco Teórico	26
4.2.1 Asfaltos Naturales.....	26
4.2.2 Formaciones de los Asfaltos Naturales.....	27
4.2.3 Clasificación de los Depósitos de Asfalto Natural.....	29
4.2.4 Distribución de Asfaltos Naturales en Colombia.....	29
4.2.5 Mezcla Asfáltica Natural.....	30
4.3 Marco Conceptual.....	31
4.4 Estado del Arte.....	32
4.5 Marco Legal.....	36
4.5.1 Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural Artículo 442P – 17.....	36
4.5.2 Resistencia a la Degradación de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm (1 ½”) por Medio de la Máquina de los Ángeles INV E – 218 – 139	38
4.5.3 Análisis Granulométrico de los Agregados Gruesos y Fino INV E – 213 – 13	38
4.5.4 Solidez de los Agregados Frente a la Acción de Soluciones de Sulfato de Sodio o de Magnesio INV E – 220 – 13	39

4.5.5	Determinación del Límite Líquido de los Suelos INV E – 125 – 13	39
4.5.6	Límite Plástico e índice de Plasticidad de los Suelos INV E – 126 – 13	40
4.5.7	Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos INV E - 133 – 13	40
4.5.8	Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas en Agregados Gruesos INV E – 240 – 13	41
4.5.9	Porcentaje de Partículas Fracturadas en un Agregado Grueso INV E – 227 – 13	41
4.5.10	Determinación del Contenido de Vacíos en Agregados Finos no Compactados (Influenciado por la Forma de las Partículas, la Textura Superficial y la Granulometría) INV E – 239 – 13.....	41
4.5.11	Extracción Cuantitativa del Asfalto en Mezclas para Pavimentos INV E – 732 – 13.....	42
4.5.12	Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Equipo Marshall INV E – 748 13.....	43
5	Metodología.....	44
5.1	Procesos y Procedimientos	45
5.1.1	Ensayo Granulométrico de los Agregados Gruesos y Finos INV E – 213 – 13.....	45
5.1.2	Determinación del Límite Líquido de los Suelos INV E – 125- 13	46
5.1.3	Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos INV E - 126 – 13	47
5.1.4	Resistencia de la Degradación de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm (1 ½") por Medio de la Máquina de los Ángeles INV E – 218 – 13	49
5.1.5	Solidez de los Agregados Frente a la Acción de Soluciones de Sulfato de Magnesio INV E – 220 – 13.....	50
5.1.6	Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos INV E – 133 – 13	51
5.1.7	Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas en Agregados Gruesos INV E – 240 – 13	52
5.1.8	Porcentaje de Partículas Fracturadas en un Agregado Grueso INV E – 227 – 13	53
5.1.9	Determinación del Contenido de Vacíos en Agregados Finos No Compactados (Influenciado por la Forma de las Partículas, la Textura Superficial y la Granulometría) INV E – 239 – 13.....	54
5.1.10	Extracción Cuantitativa del Asfalto en Mezclas para Pavimentos INV E – 732 – 13.....	55
5.1.11	Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Equipo Marshall INV E – 748 13.....	56
6	Resultados.....	60
6.1	Ensayo Granulométrico de los Agregados Gruesos y Finos INV E – 213 – 13.....	60
6.2	Determinación del Límite Líquido de los Suelos INV E – 125- 13 y Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos INV E - 126 – 13.....	61

6.3	Resistencia de la Degradación de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm (1 ½”) por Medio de la Maquina de los Ángeles INV E – 218 – 13.....	61
6.4	Solidez de los Agregados Frente a la Acción de Soluciones de Sulfato de Magnesio INV E – 220 – 13.....	63
6.5	Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos INV E – 133 – 13	63
6.6	Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas en Agregados Gruesos INV E – 240 – 13.....	64
6.7	Porcentaje de Partículas Fracturadas en un Agregado Grueso INV E – 227 – 13	64
6.8	Determinación del Contenido de Vacíos en Agregados Finos No Compactados (Influenciado por la Forma de las Partículas, la Textura Superficial y la Granulometría) INV E – 239 – 13.....	65
6.9	Extracción Cuantitativa del Asfalto en Mezclas para Pavimentos INV E – 732 – 13.....	66
6.10	Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Equipo Marshall INV E – 748 13.....	67
7	Análisis y Discusión de los Resultados	69
8	Conclusiones	71
9	Recomendaciones	73
10	Bibliografía	74

Tabla de Contenido de Ilustraciones

Ilustración 1 Provincia del Alto Magdalena	24
Ilustración 2 Municipio de Girardot	25

Tabla de Contenido de Tablas

Tabla 1 Franja granulométrica de los agregados combinados para la construcción de caspas asfálticas con una mezcla asfáltica natural	37
Tabla 2 Requisitos de agregados pétreos combinados para la construcción de capas asfálticas con una mezcla asfáltica natural	37
Tabla 3 Análisis granulométrico de la muestra tomada de la mina San Pedro comparadas con MAN 25 y MAN 19	60
Tabla 4 Curva granulométrica del material tomado de la mina San Pedro frente al MAN 25	60
Tabla 5 Curva granulométrica del material tomado de la mina San Pedro frente al MAN 19	61
Tabla 6 Límites de Atterberg del material tomado de la mina San Pedro	61
Tabla 7 Granulometrías de las muestras del ensayo	62
Tabla 8 Desgaste del material de la mina San Pedro en la máquina de los Ángeles	62
Tabla 9 Resultado de la muestra de la mina San Pedro (material grueso) por acción de sulfatos de magnesio	63
Tabla 10 Resultado de la muestra de la mina San Pedro (material fino) por acción de sulfatos de magnesio	63
Tabla 11 Resultado equivalente de arena de la muestra de la mina San Pedro	64

Tabla 12 Peso de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas de la muestra tomada de la mina San Pedro	64
Tabla 13 Porcentaje de caras fracturadas de la muestra de la mina San Pedro	65
Tabla 14 Promedio de contenido de vacíos en agregado fino sin compactar de la muestra de la mina San Pedro	65
Tabla 15 Porcentaje de asfalto de la muestra – primera lavada	66
Tabla 16 Porcentaje de asfalto de la muestra - segunda lavada	66
Tabla 17 Porcentaje de asfalto de la muestra - tercera lavada	66
Tabla 18 Porcentaje de asfalto de la muestra - cuarta lavada	67
Tabla 19 Porcentaje de asfalto de la muestra - quinta lavada	67
Tabla 20 Dosificaciones propuestas por los autores para una fórmula de trabajo optima.....	68
Tabla 21 Requisitos INVIAS Vs Asfalto Natural San Pedro	70

Resumen

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el fin de evaluar, comparar y promover un asfalto económico y ambientalmente sostenible para la rehabilitación de la infraestructura vial, mediante el uso de la Mezcla Asfáltica Natural (MAN). Esto se realizó evaluando las características físico-mecánicas de una muestra del asfalto natural procedente de la mina San Pedro, ubicada en el municipio de Armero Guayabal, departamento del Tolima.

Este material se pretendía someter a diferentes pruebas para apreciar si cumple con las especificaciones mínimas que exige el Instituto Nacional de Vías INVIAS para que este material sea óptimo en la implementación como opción para la capa de rodadura. En el transcurso del desarrollo de este trabajo se decidió que se iba a promover como una alternativa para la pavimentación de vías de tercer orden o las vías que tuvieran bajo nivel de tránsito ya que son las más olvidadas por los entes gubernamentales y son de gran importancia en el desarrollo económico del país, además que es el único tipo de vía en la que se tiene permitido el uso de este material.

Teniendo esto claro, se realizó un cuadro en el cual se pudiera comparar los datos de los diferentes laboratorios frente a los valores que exige el INVIAS para la implementación del material, concluyendo así que en varios aspectos el material no cumple las especificaciones técnicas por lo que se decide asumir algunas fórmulas de trabajo que cumplan con dichos requisitos. En el planteamiento del trabajo se tenía considerado realizar los laboratorios pertinentes para obtener una caracterización del material y la elaboración de briquetas con diferentes dosificaciones implementando agregados de la región del Alto Magdalena y si era necesario

emulsiones asfálticas para encontrar o acercarnos a una fórmula de trabajo de Mezcla de Asfalto Natural MAN que cumpla con cada uno de los requisitos exigidos por el Instituto Nacional de Vías.

Teniendo en cuenta que el mundo está pasando por una pandemia y en Colombia se ha visto afectado varios sectores por el COVID - 19 no se pudo llevar a cabo el proceso completo, por lo tanto se asumieron los datos de los ensayos faltantes para que en un futuro las personas interesadas en continuar con investigaciones del tema puedan evaluar lo planteado y determinar si es viable y cumple con las exigencias del INVIAS o por el contrario, es necesario seguir con investigaciones y en pruebas de ensayo y error para obtener una dosificación que cumpla con cada una de las especificaciones existentes.

Abstract

This research work was carried out in order to evaluate, compare and promote an economically and environmentally sustainable asphalt for the rehabilitation of road infrastructure, through the use of the Natural Asphalt Mix (MAN). This was done by evaluating the physical-mechanical characteristics of a sample of natural asphalt from the San Pedro mine, located in the municipality of Armero Guayabal, department of Tolima.

This material was intended to undergo different tests to see if it meets the minimum specifications required by the INVIAS National Roads Institute so that this material is optimal for implementation as an option for the tread layer. In the course of the development of this work, it was decided that it would be promoted as an alternative for the paving of third-order roads or roads that had a low level of traffic since they are the most neglected by government entities and are of great importance. in the economic development of the country, other than that it is the only type of road in which the use of this material is allowed.

Bearing this in mind, a table was drawn up in which the data from the different laboratories could be compared against the values required by INVIAS for the implementation of the material, thus concluding that in various aspects the material does not meet the technical specifications, so it is decided to assume some work formulas that meet these requirements. In the approach of the work, it was considered to carry out the relevant laboratories to obtain a characterization of the material and the preparation of briquettes with different dosages, implementing aggregates from the Alto Magdalena region and, if necessary, asphalt emulsions to find or approach a working

formula of MAN Natural Asphalt Mix that meets each of the requirements demanded by the National Road Institute.

Taking into account that the world is going through a pandemic and in Colombia several sectors have been affected by COVID-19, the complete process could not be carried out, therefore the data from the missing trials were assumed so that in a In the future, those interested in continuing with investigations on the subject can evaluate what has been raised and determine if it is viable and complies with the requirements of INVIAS or, conversely, it is necessary to continue with investigations and trial and error tests to obtain a dosage that complies with each of the existing specifications.

Introducción

El trabajo de grado se desarrolló en el municipio de Girardot – Cundinamarca y tuvo como propósito dar a conocer una alternativa económica, que contribuya al medio ambiente y que sea apta por el Instituto Nacional de Vías INVIAS, el cual brinde solución a la problemática del mal estado de la malla vial de la región del Alto Magdalena la cual presenta deterioro a causa del nivel de tráfico que transita por la región, las condiciones climáticas y el alto costo de la rehabilitación y mejoramiento de las vías secundarias que son las que sirven de conexión entre municipios y terciarias que comunican municipios con veredas.

En la región comúnmente se usa el pavimento tipo flexible o mejor conocido como asfalto. Este es un material que se elabora con la mezcla de agregados pétreos que se extraen en canteras o ríos y emulsiones asfálticas que provienen de la destilación del petróleo que se realiza por medio de las torres de fraccionamiento. Ambos materiales son extraídos por medio de minería que es una actividad que pertenece al sector primario y es una de las principales causas de afectaciones al medio ambiente ya que su proceso afecta a la atmosfera, al terreno y a fuentes hídricas superficiales y subterráneas.

Existe un material natural que sirve como alternativa y es el asfalto natural o también denominado como MAPIA (Material Pétreo Impregnado con Asfalto). Este es un material que se forma cuando el crudo del petróleo sube a la superficie a través de grietas, y por acciones del sol y del viento los aceites ligeros y los gases se separan dejando un residuo negro y plástico el cual

se denomina como asfalto. La mayoría de los asfaltos naturales se encuentran con altos porcentajes de arcilla o arena.

En Colombia existen varios depósitos de asfalto natural que se encuentran en los departamentos del Caquetá, Caldas, Boyacá, Guaviare y Tolima. Gracias a varias investigaciones y a la aplicación del material como base o suba base el Instituto Nacional de Vías INVIAS sacó la Resolución 10099 del 27 de diciembre del 2017 en la que se adoptan las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1, en el cual se habla de la evaluación de factibilidad del asfalto natural para ser implementado en la construcción o reparación de la infraestructura vial como material para la capa de rodadura.

Este material para ser implementado en la construcción vial debe cumplir con los requerimientos que exige el Instituto Nacional de Vías en la **ESPECIFICACIÓN PARTICULAR MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL** Art. 442P en el cual detalla cómo debe ser su explotación, elaboración, transporte y aplicación de las capas de Mezcla Asfáltica Natural en vías y si puede ser usada en la capa de rodadura, intermedia o base.

1 Planteamiento del Problema

En la provincia del Alto Magdalena que está conformada por los municipios de Agua de Dios, Nilo, Ricaurte, Jerusalén, Nariño, Tocaima, Guataquí y Girardot, se ha hecho notable en los últimos años el deficiente estado de la malla vial. Esto se debe al poco mantenimiento que se le realiza a dichas obras por parte de los gobiernos municipales, a las condiciones climáticas ya que sus temperaturas y su humedad son altas, y por el aumento del tránsito en el transcurso de los años. Como la región es zona turística permite que el nivel de tránsito aumente considerablemente cada semana por la cantidad de visitantes que viajan a pasar el fin de semana en sus casas de descanso, hoteles, zonas turísticas, entre otros.

De acuerdo a lo anterior, el incremento del tránsito debido a los visitantes y los deterioros que se pueden presentar en la malla vial genera que se presente una congestión de vehículos en las vías y una lenta movilización. Estas fallas provocan una pérdida significativa en su turismo y directamente en su economía ya que las personas buscan opciones más seguras en varios aspectos como: la comodidad, el tiempo en su trayecto, la prevención de daños en sus automotores, entre otros. Además, estos deterioros pueden ser generadores de accidentes automovilísticos aumentando la tasa de estos incidentes causando en Colombia aproximadamente 5.400 muertes al año.

Al presentarse diferentes patologías en la vía, la comunidad puede sufrir graves problemas de salud debido a las partículas en suspensión, caída de los actores viales, atropellamientos de

peatones y proliferación de malos olores y criadero de zancudos debido al apozamiento de aguas en baches.

¿Qué producto técnico, ambiental y económicamente puede ser viable que incentive a los mandatarios locales de la región del Alto Magdalena a invertir en la rehabilitación de la infraestructura vial?

La solución a esta problemática se ejecutará en el municipio de Girardot, ya que es la cabecera municipal de la región del Alto Magdalena.

2 Justificación

Como se puede evidenciar, la infraestructura vial del municipio de Girardot y la región se ve cada día más deteriorada y los entes que realizan las mejoras de la infraestructura vial se limitan a re habilitar un porcentaje mínimo ya que las inversiones para estos arreglos son de alto costo. Teniendo en cuenta esto, nace la idea de buscar alternativas técnicas, económicas y ambientalmente sostenibles, siendo eficaces para mitigar las fallas que se generan por mal material, mala ejecución y aumento en el flujo vehicular. Una de estas soluciones planteadas es el empleo de Asfaltos Naturales, los cuales han sido reconocidos por su bajo costo de aplicabilidad, generando un impacto ambiental positivo en comparación del concreto asfáltico tradicional. Además, debido a su reciente uso son certificados como una opción práctica por parte del Instituto Nacional de Vías. Gracias a estas investigaciones ejecutadas INVIAS publicó la resolución número 10099 del 27 de diciembre de 2017 (Vías-INVIAS., 2017) donde se exponen las Especificaciones Particulares de Construcción como elección de pavimentos en vías con bajo tránsito, categoría NTI, como las vías terciarias de la Red Vial Nacional.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Determinar la viabilidad de una mezcla asfáltica natural utilizando agregados de la región del Alto Magdalena o cerca a dicha región, con el ánimo de ofrecer una alternativa económica y ambientalmente sostenible para la rehabilitación de la infraestructura vial del municipio de Girardot.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización del asfalto natural, mediante los ensayos de laboratorio con el fin de analizar sus propiedades físico – mecánicas.
- Determinar el contenido de asfalto de la muestra por medio del ensayo de centrifuga para evaluar el porcentaje de asfalto óptimo.
- Proponer una fórmula de trabajo estableciendo las dosificaciones necesarias de cada uno de los agregados de acuerdo a los parámetros de la normatividad actual vigente del INVIAS.

4 Marco Referencial

4.1 Marco Contextual

4.1.1 Provincia del Alto Magdalena

Capital: Girardot

Habitantes: 152.271

Municipios: Agua de Dios, Girardot, Guataquí, Jerusalén, Nariño, Nilo, Ricaurte y Tocaima.

La provincia del Alto Magdalena se extiende entre la última estribación de la cordillera hacia el oriente y el ancho río Magdalena, por lo que disfruta de tierras altas y bajas, de las ventajas del río y la montaña, y de una vista maravillosa desde casi todas sus alturas.

La parte más alta de la provincia cuenta con numerosos altos y cerros, como el Quininí en Nilo, el Guacaná en Tocaima, y la Despensa en Nariño. Por eso cerros bajan el río Pagüey y el Sumapaz, afluentes del Magdalena que atraviesan el parque natural Maná Dulce en Nilo, la reserva forestal del Yulo en Ricaurte y el bosque de los Chorros en Agua de Dios. Entre tales humedales y reservas abundan las lagunas, como la Sonora en Nilo, y las aguas azufradas, como las de Acuatá, Catarnica y el Limbo en Tocaima, y la de Los Chorros en Agua de Dios. Abajo, sobre el río, los puertos de El Buche en Nariño y el de Girardot, que solía quedar del lado opuesto, marcan el límite de la provincia, donde el piedemonte cede el paso al río. (Villegas, 2011)



Ilustración 1 Provincia del Alto Magdalena

Fuente: Gobernación de Cundinamarca

4.1.2 Municipio de Girardot

4.1.2.1 Geografía:

Ubicación astronómica: 4.18.18 Latitud Norte y 74.48.06 Longitud Oeste.

Altitud: 289 metros sobre el nivel del mar.

Temperatura promedio anual: 33.3 °C.

Temperatura máxima: 38.3 °C.

Temperatura mínima: 29.3 °C.

Humedad relativa: 66.38%

Distancia a Bogotá: 124 Km.

Extensión municipio: 129 Km².

Población del municipio: 150.178 habitantes (Según estadísticas del DNE para el año 2005).

Extensión conurbación: 354 Km².

4.1.2.2 Límites del Municipio:

Limita al norte con el municipio de Nariño y Tocaima.

Al sur con el municipio de Flandes y el Río Magdalena.

Al oeste con el Río Magdalena y el municipio de Coello.

Al este con el municipio de Ricaurte y el Río Bogotá. (Alcaldía de Girardot , 2020)

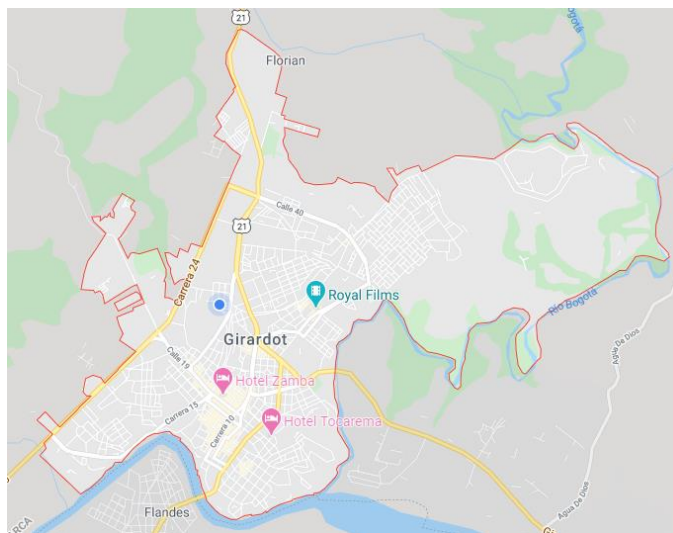


Ilustración 2 Municipio de Girardot

Fuente: Google Maps

En la región del Alto Magdalena se ha encontrado solo un artículo en el tema de Mezcla Asfáltica Natural (MAN) realizado por los ingenieros Leandro Velásquez, Faver Vera y Yamid Nuñez, en el cual pretende evidenciar el deterioro de la malla vial del municipio de Girardot y plantea una alternativa para la rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial. Este documento intenta demostrar los impactos ambientales generados por la utilización del asfalto tradicional y proponen la implementación de asfaltos naturales ya que se ha investigado que en Colombia en algunos sectores se ha trabajado con este material teniendo buenos resultados. Ellos concluyen que el material es óptimo solo para ser usado en vías de bajos y medios volúmenes de tránsito siempre y cuando se cree una fórmula de trabajo que cumpla con los requisitos que exige el Instituto Nacional de Vías INVIAS para que el material sea óptimo para la aplicación. (Salgado, Vera, & Nuñez, 2019)

4.2 Marco Teórico

4.2.1 Asfaltos Naturales.

Hace más de 5000 años el asfalto natural fue manipulado para impermeabilizaciones, revestimiento de tuberías, construcciones de pavimentos, elaboración de medicamentos, lacas, baterías, llantas, entre otros. Según exploraciones arqueológicas se han encontrado aplicaciones en caminos desde 3200 a 5400 A.C. en el Valle del Éufrates, en Mesopotamia y del Indo. En 1802, en Francia, se manejó un asfalto natural procedente del Valle del Ródano para el acabado superficial de pisos, puentes y bermas. En estados Unidos, 36 años después lo usó para construir

bermas en Filadelfia, y para 1870 pavimentaron unas vías en Newmark (Nueva Jersey) adicionando asfalto del lago de Trinidad. (PEÑA, 2014)

En Colombia se conoce el uso de asfaltos naturales en la construcción de pavimentos para carreteras y calles. El geólogo Emil Grosse por encargo del Gobierno Nacional, en 1928 llevó a cabo estudios preliminares sobre los yacimientos de este material en la región de Boyacá. Esta explotación se realizaba a tajo abierto o subterráneamente mediante galerías o cruzadas, este proceso generaba pérdidas hasta del 45%. Al conocer los resultados se dieron cuenta que el porcentaje de asfalto que poseía era muy bajo igual que el comportamiento en los pavimentos. (PEÑA, 2014)

En el año 1941 gracias a una propuesta de explotación de los yacimientos de este material en la región de Boyacá por parte del Consejo de Tuta, municipio de este departamento, en Colombia resurge el interés por los asfaltos naturales. Los ingenieros y geólogos de los Ministerios de Minas y Obras Públicas, reconocen la falta de conocimiento del comportamiento del producto natural, por lo tanto, se consideró que los bajos contenidos de asfalto podían mejorarse mediante un proceso de aplicación del conglomerado mineral impregnado para el mejoramiento de la infraestructura vial. (PEÑA, 2014)

4.2.2 Formaciones de los Asfaltos Naturales.

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

4.2.2.1 *Manantiales.*

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

4.2.2.2 *Lagos.*

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

4.2.2.3 *Filtraciones.*

Se presenta cuando las rocas impregnadas de asfalto están de soporte o en la base de una montaña o peñasco. El peso de tales formaciones o el aumento de temperatura provocada por las radiaciones solares, genera una cierta cantidad de asfalto que fluye al exterior de la roca.

4.2.2.4 *Venas llenas de asfalto.*

Los asfaltos duros se encuentran normalmente llenando fisuras en direcciones que dependen del tipo de falla.

4.2.3 Clasificación de los Depósitos de Asfalto Natural.

4.2.3.1 Depósito con alto contenido de asfalto.

En este grupo se encuentran las asfaltitas en las cuales su contenido de asfalto es mayor del 80%. Aparecen en forma de vetas. Las asfaltitas se clasifican según sus propiedades físicas en Gilsonita, Grahamita y Glace Pitch. Son asfalto muy duros, negros y brillantes y con elevado punto de fusión.

4.2.3.2 Depósitos con contenido medio de asfalto.

Son los depósitos naturales más conocidos en el mundo y contiene asfalto en una proporción del 25 – 80% asociado con material mineral, arcillas coloidales, arenas y materia orgánica. Se presenta en forma de flujos superficiales. El depósito de mayor proporción es el lago asfáltico de la isla Trinidad.

4.2.3.3 Depósito con bajo contenido de asfalto.

Se presenta como rocas impregnadas de asfalto con proporciones entre el 5 – 15%. Generalmente, el material mineral está conformado por calizas o areniscas.

4.2.4 Distribución de Asfaltos Naturales en Colombia.

En Colombia se encuentran depósitos de asfalto natural, casi siempre rocas impregnadas y en menor proporción, flujos superficiales y vetas.

Los principales yacimientos en el país se ubican en los departamentos de Santander, Norte de Santander, Boyacá, Antioquía, Cundinamarca, Caldas, Choco, Tolima, Meta, Cauca y Caquetá. En algunos de ellos como el de pesca en Boyacá y el de San Pedro en el Tolima se han explotado en forma artesanal desde comienzos del siglo XX.

4.2.5 Mezcla Asfáltica Natural.

La mezcla asfáltica natural es un material combinado principalmente de agregados finos (arenas) y conglomerados que están humedecidos de asfalto, cuyo proceso se llevó a cabo en el interior de los depósitos naturales y de manera igualmente natural durante muchos años, siendo este parámetro común para la mayoría de los depósitos que se encuentran en el territorio colombiano. El contenido de asfalto puede variar según el origen y la fuente de explotación. (INVIAS, 2018)

Estas mezclas se pueden usar para la realización de capas de afirmado, sub base y base en todo tipo de pavimentos y en capas de rodadura. El uso que se le desee dar va previo a un estudio de granulometría y la correcta dosificación de los diferentes agregados que lo conforman los cuales son, material grueso, material fino y emulsiones asfálticas o crudo pesado para que esta composición cumpla con los parámetros establecidos por la normatividad existente.

La asphaltita es un hidrocarburo derivado del petróleo, su color es negro brillante hasta negro mate. Es un producto mineral, liviano, quebradizo, con escasas impurezas y alto poder clórico, de aspecto resinoso y fractura conoidal en las formas frescas, dotadas de un punto de fusión elevado, superior a 110° C. Químicamente están constituidas por hidrocarburo muy pobres en oxígeno y parafinas cristalizables, siendo compuestos de alto molecular. En su génesis intervienen factores físicos - químicos y procesos geológicos de índole dinámica, en escala y magnitud variable, su origen es debido a la metamorfosis de un petróleo asfáltico que, debido a cambios de temperatura y presión creciente, seguiría los pasos siguientes: Petróleo asfáltico, Asfalto blando, Asfalto duro, Asphaltitas, Piro bitúmenes asfáltico. (PEÑA, 2014)

4.3 Marco Conceptual

VÍA: Zona de uso público o privado, abierta al público destinada al tránsito de vehículos, personas y animales. (MINISTERIO DE TRANSPORTE, s.f.)

CARRETERA: Es un camino publico pavimentado que está dispuesto para el tránsito de vehículos. Por lo general se trata de vías anchas que permiten fluidez en la circulación. (Porto & Merino, 2013)

PAVIMENTO: Es una capa dura y resistente, esta puede ser de asfalto, cemento y adoquines.

ASFALTO: Sustancia de color negro que procede de la destilación del petróleo crudo, se encuentra en grandes depósitos naturales, como el lago Asphaltites o el mar Muerto, y se utiliza para

pavimentar carreteras y como revestimiento impermeable de muros y tejados. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, s.f.)

EMULSIÓN ASFALTICA: Mezcla homogénea entre asfalto y agua que puede ser aplicada en frío ya que contiene sustancias emulsionantes. (MAVEGSA, 2019)

CANTERA: Sitio de donde se saca piedra, greda u otra sustancia análoga para obras varias. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, s.f.)

CARRETERAS TERCIARIAS O DE TERCER ORDEN: Son aquellas vías de acceso que unen cabeceras municipales con sus veredas, o que unen veredas entre sí. (Cárdenas, 2013)

NIVEL DE TRÁNSITO UNO, NT1: Hace referencia a las vías en las que el tránsito es inferior a 0.5×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño. (Instituto Nacional de Vías INVIAS)

4.4 Estado del Arte

En busca de obtener mezclas asfálticas con asfalto natural se han realizado varios trabajos de investigación que permiten evidenciar que para su mejoramiento deben incluir aditivo según sus características, algunas investigaciones son:

- “Estudio del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica natural, proveniente de la mina de pava, en el departamento del Caquetá”; en este 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, como la caracterización de la mezcla por medio de extracción cuantitativa de sus componentes (agregado fino y grueso) y se determina el contenido de asfalto; luego se realizaron los ensayos mecánicos en el laboratorio: ensayo Marshall, el ensayo de Tracción Indirecta, ensayo Cántabro.

Con los resultados obtenidos se llevó a cabo el 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 determinó la condición definitiva del asfalto natural y se concluyó con criterios verídicos que el material no es competente para ser utilizado en proyectos de construcción de pavimentos flexibles en vías terciarias. (Chala & Cuellar, 2019)

- “Asfalto natural modificado”; Este estudio propone e investiga una modificación practica y económica que mejore las características físico mecánicas del asfalto natural y de cumplimiento a las especificaciones requeridas por el Instituto Nacional de Vías.

Teniendo en cuenta las cualidades anti disgregantes que poseen los carbonatos de calcio, se propuso para esta investigación adicionar un 5% de Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, mineral común en nuestro territorio conocido como Cal o Cal Hidratada. Se realizaron 45 ensayos con Asfalto Natural Modificado al 5% con Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a

temperaturas de compactación 35°C, 70°C y 100°C para Mezclas Densas en Caliente MDC-1, MDC-2 y MDC-3 aplicado del Método Marshall norma INV-E-748-07; de esta misma manera se realizan 45 para Asfalto Natural sin Modificar o Asfalto Natural Estándar.

Al comparar los resultados obtenidos se evidenció claramente que la adición del 5% de Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mejora considerablemente las características, pero que aun así, no se cumple por exceso con todos los criterios de diseño requeridos y se recomendó disminuir el porcentaje de adición de Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. (López, 2012)

- “Estudio del comportamiento de asfaltos naturales en mezclas asfálticas fabricadas con asfalto AC – 20 y granulometría MD – 12”; Este proyecto tuvo como objetivo realizar procesos experimentales con materiales naturales como lo es la asfaltita procedente de Pesca, departamento Boyacá, evaluando el comportamiento y beneficios que este material pueda aportar a las mezclas convencionales, realizando ensayos en el laboratorio a la asfaltita.

Para conocer el comportamiento de asfaltos naturales en mezclas asfálticas fabricadas con asfalto AC-20 y granulometría MD-12, fue necesario caracterizar la asfaltita proveniente de Pesca, Boyacá, lo cual incluía hallar el contenido de asfalto y conocer la granulometría. Luego, se realizaron probetas con asfaltita pura y también probetas con asfaltita, agregados y asfalto usando el porcentaje óptimo hallado. Para la fabricación

de muestras se usó la granulometría MD-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y asfalto AC-20.

Finalmente, se fallaron las muestras en estado seco, húmedo y envejecido según lo indica el ensayo Marshall, con el fin de conocer la viabilidad de los materiales utilizados sobre vías terciarias del departamento de Boyacá y se concluyó la viabilidad del uso de mezclas asfálticas fabricadas con asfaltita y con cemento asfáltico AC-20 en vías terciarias. (Acero, Anselmi, & Ortiz, 2014)

- “Utilización de mezcla asfáltica natural (MAN), procedente de la mina san pedro, ubicada en el municipio de armero guayabal, departamento del Tolima, Colombia, con adición de gránulo de caucho reciclado (GCR), para reparcho localizado. Reparcho ecológico”; Este trabajo de investigación aplicada se realizó para evaluar, comparar y producir un asfalto 100 % ecológico y ambientalmente sostenible, mediante la utilización de Mezcla Asfáltica Natural (MAN) procedente de la mina San Pedro, ubicada en el municipio de Armero Guayabal, departamento del Tolima, Colombia, y contiene adición de gránulo de caucho reciclado (GCR), para re parcheo localizado.

Para lograr la creación de Mezcla Asfáltica Natural MAN VERDE, se utilizaron materiales naturales y reciclaron gran cantidad de llantas usadas (alrededor de 51.31 kg por m³). Al no requerir plantas mezcladoras en caliente ni de gran infraestructura para procesos mecánicos, se evitó la producción de gases contaminantes en un 48%,

comparado con la producción de una mezcla asfáltica tradicional. El uso de maquinaria pesada es mínimo y resulta económicamente sostenible.

Mediante la aplicación metodológica de la Norma particular 442 p, del Instituto Nacional de Vías INVÍAS, se evaluó el comportamiento físico de nuestra mezcla MAN VERDE, cumpliendo con los parámetros de las especificaciones técnicas solicitadas en la norma particular. (Camargo & Gómez, 2019)

4.5 Marco Legal

4.5.1 Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural Artículo 442P – 17

Este trabajo consiste en la explotación, elaboración, transporte, colocación y compactación de una o más capas de Mezcla Asfáltica Natural en vías con un nivel de tránsito NT1, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos o determinados por el interventor. (INVIAS, 2018)

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm/ U.S Standard)									
	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	0.300	0.075	
	1½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 50	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	
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4%						3%		1%	

Tabla 1 Franja granulométrica de los agregados combinados para la construcción de capas asfálticas con una mezcla asfáltica natural

Fuente: INVIAS

CARACTERÍSTICA	Norma de Ensayo INV	REQUISITO
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%) - Capa de: rodadura / intermedia	E – 218-13	25 / 35
Coefficiente de pulimento acelerado para rodadura, Mínimo	E – 232-13	0.45
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, Máximo (%)	E-220-13	18
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237-13	0.5
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125-13 y E-126-13	7
Equivalente de arena, mínimo (%) (Nota 1)	E-133-13	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235-13	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240-13	10
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara: rodadura / intermedia - Dos caras: rodadura / intermedia	E-227-13	75 / 60
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%) - Capa de: rodadura / intermedia	E-239-13	40 / 35
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%)	E-757-13	Reportar
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E - 774-13	4

Tabla 2 Requisitos de agregados pétreos combinados para la construcción de capas asfálticas con una mezcla asfáltica natural

Fuente: INVIAS

4.5.2 Resistencia a la Degradación de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm (1 ½”) por Medio de la Máquina de los Ángeles INV E – 218 – 139

Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra del ensayo. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. Entonces, la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que las pestañas las levantan y se repite el ciclo. Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida. (INVIAS, 2012)

4.5.3 Análisis Granulométrico de los Agregados Gruesos y Fino INV E – 213 – 13

Una muestra de agregado seco, de masa conocida, se separa a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más pequeñas, con el fin de determinar la distribución de los tamaños de sus partículas. (INVIAS, 2012)

4.5.4 Solidez de los Agregados Frente a la Acción de Soluciones de Sulfato de Sodio de Magnesio INV E – 220 – 13

Este método de ensayo brinda un procedimiento para hacer una valoración preliminar de la solidez de los agregados previstos para la elaboración de concretos y para otros propósitos. Los valores obtenidos se pueden comparar con los indicados en las especificaciones, con el fin de establecer la aptitud de un agregado para un determinado uso. Dado que la precisión de este método del ensayo es baja, el rechazo de los agregados que no cumplan las especificaciones pertinentes no se puede dar sin confirmar los resultados de otros ensayos mejor relacionados con el uso que se le va a dar al material.

Los valores de las pérdidas resultantes al aplicar este método son, generalmente, diferentes para agregados finos y agregados gruesos. Además, se llama la atención sobre el hecho de que los resultados que se obtienen, varían según la sal que se emplee y que hay que ser cuidadoso al fijar los límites de cualquier especificación que incluya un requisito en relación con este ensayo. Normalmente, el ensayo es más severo cuando se usa sulfato de magnesio; por lo tanto, los porcentajes de pérdida permitidos cuando se usa sulfatos de magnesio suelen ser mayores que cuando se usa sulfato de sodio. (INVIAS, 2012)

4.5.5 Determinación del Límite Líquido de los Suelos INV E – 125 – 13

Se procesa la muestra de suelo para remover cualquier porción retenida en el tamiz de 425 μm (No. 40). El límite líquido se determina mediante tanteos, en los cuales una porción de la muestra

se esparce sobre una cazuela de bronce que se divide en dos partes con un ranurador, permitiendo que esas dos partes fluyen como resultado de los golpes recibidos por la caída repetida de la cazuela sobre una base normalizada. El límite líquido multipunto, Método A, requiere 3 o más tanteos sobre un rango de contenidos de agua, cuyos resultados se dibujan para establecer una relación a partir de la cual se determina el límite líquido. El método de un punto, Método B, usa los datos de dos tanteos realizados con un solo contenido de agua, multiplicado el valor obtenido por un factor de corrección. (INVIAS, 2012)

4.5.6 Límite Plástico e índice de Plasticidad de los Suelos INV E – 126 – 13

El límite plástico se determina presionando de manera repetida una pequeña porción de suelo húmedo, de manera de formar rollos de 3.2 mm (1/8”) de diámetro, hasta que su contenido de agua se reduce a un punto en el cual se produce el agrietamiento y/o desmoronamiento de los rollos. El límite plástico es la humedad más baja con la cual se pueden formar rollos de suelo de este diámetro, sin que ellos se agrieten o desmoronen. (INVIAS, 2012)

4.5.7 Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos INV E - 133 – 13

Un volumen normalizado de suelo o de agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante se colocan en un cilindro de plástico graduado y se agitan, para que las partículas de arena pierdan la cobertura de material arcilloso o similar. La muestra es posteriormente “irrigada”, usando cierta cantidad de solución floculante, para forzar al material arcilloso o similar a quedar en suspensión sobre la arena. Después de un periodo de sedimentación, se determinan las alturas

del material arcilloso y fino floculado y de la arena en el cilindro. El equivalente de arena es la relación entre la altura de arena y la altura de la arcilla, expresada en porcentaje. (INVIAS, 2012)

4.5.8 Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas en Agregados Gruesos INV E – 240 – 13

Se miden partículas individuales de agregado de una fracción de tamaño específico, para determinar las relaciones de ancho/espesor, largo/ancho o largo/espesor. (INVIAS, 2012)

4.5.9 Porcentaje de Partículas Fracturadas en un Agregado Grueso INV E – 227 – 13

Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en masa o por conteo, de partículas de un agregado grueso que tienen un número especificado de caras fracturadas. (INVIAS, 2012)

4.5.10 Determinación del Contenido de Vacíos en Agregados Finos no Compactados (Influenciado por la Forma de las Partículas, la Textura Superficial y la Granulometría) INV E – 239 – 13

En un recipiente cilíndrico de 100 ml nominales se llena con un agregado fino de gradación prescrita, permitiendo que la muestra fluya a través de un embudo desde una altura fija dentro del recipiente. El agregado fino se extrae del recipiente y se pesa para determinar su masa. El contenido

de vacíos sin compactar se calcula como la diferencia entre el volumen del medidor cilíndrico y el volumen absoluto del agregado fino recogido en el medidor. El contenido de vacíos del agregado fino sin compactar se calcula usando la densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino. Se hacen dos medidas con cada muestra y los resultados se promedian. (INVIAS, 2012)

- Para una muestra gradada (Métodos de prueba A o C) el contenido porcentual de vacíos se determina directamente y se reporta el valor promedio de las dos medidas.
- Para las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B), el contenido porcentual de vacíos promedio se calcula usando los resultados de cada una de las 3 fracciones de tamaño individual.

4.5.11 Extracción Cuantitativa del Asfalto en Mezclas para Pavimentos INV E – 732

– 13

El ligante de la mezcla se extrae con tricloroetileno, bromuro de n-propilo (nPB) o cloruro de metileno, empleando el equipo de extracción aplicable al método particular. El contenido de asfalto se calcula por diferencia a partir de la masa del agregado extraído, del contenido de humedad, y del material mineral en el extracto. El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en masa de la mezcla asfáltica libre de humedad. (INVIAS, 2012)

4.5.12 Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Equipo Marshall INV E – 748 13

Este ensayo consiste en la elaboración de probetas cilíndricas de mezcla asfáltica, de 102 mm (4") de diámetro y una altura nominal de 63.5 mm (2 ½"), las cuales se someten a curado en un baño de agua o en un horno para luego someter la muestra a una carga en la prensa Marshall bajo las condiciones de la norma para determinar su estabilidad y su deformación (flujo). (INVIAS, 2012)

Este ensayo se puede realizar en 2 equipos, 1 por el método tradicional, que emplea un marco de carga con un anillo de carga y un dial para medir la deformación (flujo) de las probetas (Método A), y 2 un registrador de carga-deformación combinado con una celda de carga y un transductor lineal diferencial variable (TLDV) u otro dispositivo de registro automático de la deformación (Método B). (INVIAS, 2012)

5 Metodología

Este proyecto se pretendía realizar con metodología investigativa y experimental, ya que tiene como objetivo indagar sobre los componentes, comportamientos y uso del asfalto natural para la rehabilitación de las vías de la región del Alto Magdalena en el municipio de Girardot – Cundinamarca, realizando un análisis del tiempo de durabilidad de la mezcla diseñada con agregados para una óptima condición.

Debido a las circunstancias por las que el mundo entero está pasando por el COVID – 19 no se pudo llevar a cabo el proceso como se planteó inicialmente ya que en Colombia por el aumento de los casos el presidente ordenó un aislamiento social preventivo (Cuarentena) para prevenir que la curva de contagios aumentara drásticamente y poder llevar un aumento de contagios controlado para no colapsar los centros de salud y poder garantizar una atención oportuna a cada caso que se presente. Por lo que el Ministerio de Educación en forma de apoyo expidió un decreto en el que universidades y colegios tanto públicos y privados tendrían que suspender clases presenciales sin excepciones hasta el 31 de mayo.

Como primera sección de este trabajo se pretendía desarrollar los laboratorios para la caracterización físico – mecánica del asfalto natural tomado de la cantera San Pedro del municipio de Armero – Tolima, para identificar que normatividad cumple y que aportes requiere para mejorar su característica y pueda ser implementada como una alternativa para el proceso de pavimentación.

La segunda parte consistía en realizar pruebas de ensayo – error para determinar un diseño de mezcla apta que cumpla con los parámetros establecidos por el INVIAS (Instituto Nacional de Vías).

Teniendo esto en cuenta lo anteriormente dicho no se pudo ejecutar todo el proceso que se había planteado en el anteproyecto por lo cual se tomó la decisión de asumir los datos faltantes guiados por las diferentes investigaciones que se han hecho de asfaltos naturales en el país y por nuestro tutor de monografía el Ingeniero Leandro Velásquez Salguero, quien ha realizado investigaciones del tema, ha estudiado la aplicación de las mezclas asfálticas naturales y ha llevado a cabo una ponencia del tema en Ecuador.

5.1 Procesos y Procedimientos

5.1.1 Ensayo Granulométrico de los Agregados Gruesos y Finos INV E – 213 – 13

- 1 Se seca la muestra a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ} \text{F}$), hasta obtener una masa constante.
- 2 Se selecciona un grupo de tamices de tamaño adecuado para suministrar la información requerida por la especificación del material que se va a ensayar. Se encajan los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura y se coloca la muestra sobre el tamiz superior. Se agitan los tamices a mano o por medio de la tamizadora mecánica durante un periodo adecuado.

- 3 Si no se usa una tamizadora mecánica, las partículas mayores de 75 mm (3") se deberán tamizar a mano, determinando la abertura más pequeña de tamiz por la cual pasa la partícula. Las partículas se rotan, si es necesario, con el fin de determinar si ellas pasan o no a través de dicho tamiz; sin embargo, no se deberán forzar para obligarlas a pasar por las aberturas.
- 4 Se determina la masa de la fracción retenida en cada tamiz, empleando una balanza que cumpla las especificaciones. La masa total del material después del tamizado debe ser muy cercana a la masa de la muestra original colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más de 0.3% de la masa original de la muestra seca.

5.1.2 Determinación del Límite Líquido de los Suelos INV E – 125- 13

- 1 Se debe realizar el espécimen según se especifica en la guía del ensayo escogiendo el método que se utilizará para su elaboración.
- 2 Se remezcla la muestra para ajustar su contenido de agua para que adquiera la consistencia requerida para que sean necesarios entre 25 y 35 golpes de la cazuela para cerrar la ranura que se forma en el suelo. Se debe colocar la cantidad justa y necesaria del material encima del punto donde esta descansa en la base y se comprime y extiende con la espátula para nivelarla y dejarla con una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor.

- 3 La muestra colocada en la cazuela se divide con un ranurador formando una línea desde el punto más alto al punto más bajo de la cazuela. se verifica que no haya restos de la muestra en la cazuela. luego se procede a girar la manija una velocidad de 1.9 a 2.1 revoluciones por segundo hasta que las dos mitades de la pasta se pongan en contacto.
- 4 Se registra el número de golpes, N, requeridos para cerrar la ranura en la longitud indicada en el ensayo. Se saca una porción de la muestra tomando de ambas partes. Luego se debe lavar los elementos utilizados para proceder con el siguiente tanteo.
- 5 Se remezcla el material restante en la vasija agregando agua para lograr el estado de mayor fluidez y se repite los pasos nombrados anteriormente. Este ensayo se finaliza cuando se logre obtener muestras con las consistencias tales, que al menos una de las determinaciones del número de golpes para cerrar la ranura se halle en los intervalos que se especifican en la norma.
- 6 Se toma el recipiente con la porción de la muestra, se pesa y se anota el valor obtenido, se coloca en el horno hasta obtener a una masa constante y se vuelve a pesar tan pronto como se haya enfriado y antes de que pueda haber absorbido humedad. Se anota la masa como la pérdida de masa debida al seco. La determinación de la masa inicial se deberá realizar inmediatamente se termine el ensayo.

5.1.3 Limite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos INV E - 126 – 13

- 1 Se selecciona una porción de 1.5 a 2.0 g de la muestra con la que se forma una masa elipsoidal.
- 2 Se forman rollos con la masa de suelo, siguiendo el procedimiento del método manual, en el que para formar los rollos se hace rodar la masa de suelo entre la palma de la mano o de los dedos y una placa de vidrio, con la presión estrictamente necesaria para formar un rollo de diámetro uniforme en toda su longitud. El rollo debe adelgazar más con cada rotación hasta que su diámetro sea aproximadamente de 3.2 mm.
- 3 Cuando se tenga el rollo con el diámetro correcto este se divide en varios trozos. Se juntan los trozos y se comprimen entre los pulgares y los demás dedos de ambas manos formando una masa uniforme de forma elipsoidal y se enrolla de nuevo. Se repite este procedimiento, partiendo, juntando, amasando y enrollando, hasta que el rollo de 3.2 mm de diámetro se desborone bajo la presión requerida para el enrollamiento y la muestra no pueda ser enrollado más en cilindros de 3.2 mm de diámetro. Lo único que se requiere para continuar el ensayo, es que al juntar estos rollos se pueda volver a formar una masa elipsoidal y luego crear nuevos rollos. El desmoronamiento de un rollo puede ocurrir cuando este tenga un diámetro mayor de 3.2 mm, aquí se podría considerar el punto final del ensayo.
- 4 Se recogen las porciones de suelo desmoronado y se colocan en un recipiente adecuado. Se seleccionan otras porciones de 1.5 a 2 g del espécimen del límite plástico y se repite los procedimientos nombrados anteriormente hasta que el recipiente tenga aproximadamente 6 g de suelo.

- 5 Se determinará el contenido de agua del suelo de acuerdo con la norma INV E – 122 y se anotan los resultados.

5.1.4 Resistencia de la Degradación de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm (1 ½”) por Medio de la Máquina de los Ángeles INV E – 218 – 13

- 1 Luego de comprobar que el tambor este limpio, la muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los Ángeles y se hace girar el tambor a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 rpm) hasta completar 500 revoluciones. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del tambor y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, empleando un tamiz de abertura mayor al de 1.70 mm. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm, utilizando el procedimiento de la norma INV E – 213. El material más grueso que la abertura del tamiz de 1.70 mm se lava, se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante, y se determina su masa con precisión de 1g.

5.1.5 Solidez de los Agregados Frente a la Acción de Soluciones de Sulfato de Magnesio INV E – 220 – 13

- 1 Las diferentes fracciones de la muestra total se sumergen en la solución de sulfato de sodio o de magnesio durante un periodo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que el nivel de la solución las cubra por lo menos 12.5 mm.
- 2 Después del periodo de inmersión, cada fracción se saca de la solución dejándola escurrir durante 15 o 5 minutos y se introduce en el horno, cuya temperatura se debe haber regulado previamente a $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Se secan las fracciones a la temperatura indicada hasta masa constante.
- 3 El proceso de inmersión y secado de las muestras se repite hasta completar el número especificado de ciclos.
- 4 Después de terminar el último ciclo y de que todas las fracciones se han enfriado, se lavan hasta que queden exentas de sulfato de sodio o de magnesio, lo que se determina por la reacción del agua de lavado con el cloruro de bario. El lavado se realiza haciendo circular agua a $43 \pm 6^\circ \text{C}$ a través de las fracciones de agregados en su recipiente, lo que se hace colocando estos en un tanque en el cual se introduce el agua caliente cerca del fondo y permitiéndole pasar a través de los agregados hasta que rebose por encima de ellos.

5.1.6 Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos INV E – 133 – 13

- 1 Se vierte solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro graduado, con la ayuda de sifón, hasta una altura de 101.6 ± 2.54 mm.
- 2 Con ayuda de un embudo se vierte un espécimen de ensayo en el cilindro graduado.
- 3 Se golpea varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente.
- 4 Se deja reposar durante 10 minutos, pasado este tiempo se tapa el cilindro con un tapón y se afloja el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.
- 5 Después de aflojar el material del fondo, se agita el cilindro de forma manual.
- 6 Inmediatamente después de la agitación, se coloca el cilindro en posición vertical en una mesa y se retira el tapón.
- 7 Durante el procedimiento de irrigación debe mantener el cilindro en posición vertical y su base en contacto con la superficie de trabajo. Se inserta el tubo irrigador dentro del cilindro, se afloja la pinza de presión de la manguera y se lava el material de las paredes del cilindro a medida que se baja el irrigador.

- 8 Se deja en reposo el cilindro con su contenido durante 20 min.
- 9 Determinar la lectura de arcilla y determinación de la lectura de arena.
- 10 Después de tomar las lecturas, se saca del cilindro el dispositivo de lectura, se tapa aquel con su tapón de caucho y se sacude hacia arriba y hacia abajo en posición invertida hasta que el material sedimentado se deshaga, y se vacía inmediatamente.

5.1.7 Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas en Agregados Gruesos INV E – 240 – 13

- 1 La muestra de agregado grueso que va a ser ensayada se tamiza de acuerdo con la norma INV E – 213. Usando el material retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8”) o de 4.75 mm (No. 4), según esté especificado.
- 2 Se prueba una a una las partículas de cada fracción y se colocan, según el resultado, en uno de los 4 grupos: 1. Planas, 2. Alargadas, 3. Partículas que satisfacen simultáneamente lo criterios 1 y 2 y 4. Partículas que no son ni planas ni alargadas. Para su categorización se usa el calibrador proporcional posicionado en la relación apropiada.
- 3 Después de que las partículas han sido clasificadas en los grupos descritos, se determina la proporción de cada grupo en la muestra, ya sea por conteo o por masa, según sea requerido.

5.1.8 Porcentaje de Partículas Fracturadas en un Agregado Grueso INV E – 227 –

13

- 1 Se lava el material sobre el tamiz designando para la determinación de las partículas fracturadas, con el fin de remover cualquier residuo de material fino, y se seca a masa constante.
- 2 Se esparce la muestra sobre una superficie limpia y plana para permitir la inspección detallada de cada partícula. Para verificar que una partícula cumple el criterio de fractura, se la sostiene de manera que 1 cara se pueda ver directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto de la mayor sección transversal de la partícula, se debe considerar como una cara fracturada.
- 3 Se divide la muestra en dos categorías, 1. Partículas fracturadas, con base en el hecho de que la partícula tiene el número requerido de caras fracturadas, 2. Partículas que no cumplan el criterio especificado.
- 4 Se determina la masa o se cuenta el número de partículas clasificadas en la categoría de partículas fracturadas, así como la masa o el conteo de las partículas que no cumplen el criterio especificado de fracturadas. Se debe usar la masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas, a menos que se especifique calcular el porcentaje con base en el conteo de partículas.

**5.1.9 Determinación del Contenido de Vacíos en Agregados Finos No Compactados
(Influenciado por la Forma de las Partículas, la Textura Superficial y la
Granulometría) INV E – 239 – 13**

- 1 Se mezcla cada muestra de prueba con la espátula hasta que parezca homogénea. Se ubica en el soporte el embudo con su complemento y se centra el recipiente cilíndrico. Se debe usar un dedo para bloquear la abertura del embudo. Se viértela muestra dentro del embudo y se nivela el material en el embudo y se nivela el material en el embudo con la espátula.
- 2 Una vez el embudo queda vacío, se remueve el exceso de agregado fino del recipiente cilíndrico con un paso de la espátula con el ancho de la hoja vertical, usando la parte recta de su borde en suave contacto con la parte superior del recipiente cilíndrico. Hasta que esta operación esté completa, se debe tener cuidado para evitar vibraciones o cualquier disturbio que pudiera causar la compactación del agregado fino dentro del recipiente. Se cepillan los granos adheridos en el exterior del medidor y se determina la masa del recipiente con su contenido al 0.1 gramo más cercano.
- 3 Se combina la muestra de la bandeja con la del recipiente cilíndrico y se repite el procedimiento. Se promedian los resultados de las dos pruebas.
- 4 Se registra la masa del recipiente cilíndrico vacío. También, para cada prueba, se debe registrar la masa del recipiente con el agregado fino.

5.1.10 Extracción Cuantitativa del Asfalto en Mezclas para Pavimentos INV E – 732

– 13

- 1 Determinar la humedad del material.
- 2 Se coloca en la taza una porción de ensayo de 650 a 2500 g.
- 3 Se cubre la porción de ensayo con tricloroetileno, cloruro de metileno o bromuro n-propilo y se deja el tiempo suficiente para que el disolvente desintegre la porción de ensayo. Se coloca la taza con la porción de ensayo y el solvente en el aparato de extracción. Se seca un anillo filtrante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$, se determina su masa y se ajusta alrededor del borde de la taza. Se sujeta la tapa de la taza con las abrazaderas y se ubica un recipiente apropiado bajo el desagüe para recoger el extracto.
- 4 Se inicia la centrifuga girando lentamente y aumentando de manera gradual la velocidad hasta un máximo de 3600 rpm o hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe. Se detiene la máquina, se agrega 200 ml del solvente empleado y se repite el procedimiento. Se deben emplear suficientes adiciones de 200 ml solvente, hasta que el extracto no sea más oscuro que un color ligero de paja. Se recogen el extracto y el material mineral obtenido tras el lavado.
- 5 Se retira el anillo de filtro y se seca al aire. Si se ha usado un anillo de fieltro, se cepilla el material mineral adherido a él y se añade al agregado extraído. Se seca el anillo hasta

masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Se pasa todo el agregado de la taza de la centrifuga a una bandeja metálica, se seca inicialmente en un baño de vapor y después hasta masa constante en un horno o una placa de calentamiento. El secado en el baño de vapor se puede omitir si el solvente usado fue tricloroetileno o bromuro n-propilo. La masa del agregado extraído es igual a la masa del agregado en la bandeja más el aumento de masa del anillo filtrante.

- 6 Se determina la cantidad de material mineral en el extracto.

5.1.11 Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Equipo

Marshall INV E – 748 13

5.1.11.1 Elaboración de la probeta.

- 1 Determinar el número de probetas, para esto se debe preparar una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos del 0.5%) esto para determinar un contenido óptimo.
- 2 Para determinar la cantidad de material se debe tener en cuenta se por cada dosificación se necesitarán 3 probetas. Cada probeta necesitaría unos 1200 g de material, por lo que para una serie de muestras se debe disponer de unos 23 kg de agregados y alrededor de 4 kilos de cemento asfáltico.

- 3 Para preparar los agregados se deberá sacar hasta masa constante a una temperatura entre 105° y 110° C y se separarán por tamizado en fracciones de diferentes tamaños. Se debe tener en cuenta las porciones que se indican en el ensayo del INVIAS.
- 4 Determinar las temperaturas de mezcla y compactación que se indican en el documento expedido por el INVIAS.
- 5 Se debe preparar las cantidades necesarias para elaborar una probeta, para esto se debe separar cada fracción de la muestra y agregarle las respectivas porciones de los agregados en una bandeja para alcanzar las medidas necesarias y requeridas. Los agregados se calienta a la temperatura establecida para la mezcla pero teniendo en cuenta que no exceda los 28°C, luego de esto de pasan al recipiente de mezclado donde se realiza un mezclado por 5 s y luego se vierte la cantidad de asfalto determinada, luego se realiza una mezcla rápida no mayor a 60 s para conservar la temperatura.
- 6 La bachada de una sola probeta se coloca en un horno ventilado a una temperatura entre los 8° a 11° durante un periodo de 1 y 2 horas. Si por el contrario la bachada es múltiple se debe colocar en una superficie limpia y no absorbente. Se hace una mezcla manual y se reparte las fracciones para cada probeta y realizando el mismo procedimiento como si fuera una bachada sencilla.

5.1.11.2 Compactación de las probetas.

- 1 Después de la preparación de la mezcla, se debe limpiar el conjunto de molde, collar, placa de base y la base del martillo de compactación y se calientan en baño de agua hirviendo o en el horno a las temperaturas recomendadas. Se arma el molde y se coloca en el fondo un papel de filtro, luego se vierte la mezcla en el molde y se golpea fuertemente con una espátula caliente por 15 veces alrededor y 10 sobre el interior y se coloca otro papel sobre la mezcla.
- 2 Se coloca el molde en el pedestal de compactación y se aplica el número de golpes especificados con el martillo. Después se retira la placa de la base y el collar y se colocan en los extremos opuestos y se le aplica el mismo número de golpes. Luego de realizar la respectiva compactación se retira todo el juego de molde y se deja enfriar.

5.1.11.3 Ensayo de Estabilidad y Flujo.

- 1 Se debe tener en cuenta que este ensayo se debe practicar dentro de las 24 horas siguientes a la realización de las briquetas. Dichas muestras que calentaran en baño de agua en un periodo de 30 a 40 minutos o en el horno en un tiempo de dos horas a dos horas y media.
- 2 Se limpian los elementos del equipo del ensayo antes de poner las probetas y se lubrican para permitir que la mordaza superior se deslice fácilmente.

- 3 Se secan las probetas que se saquen del agua u horno con una toalla y se coloca en el centro de la mordaza inferior y se coloca la mordaza superior con el medidor de deformación teniendo cuidado de que todo quede centrado con la prensa. Se coloca el medidor de flujo en cero y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.

- 4 Se continúa el ensayo aplicando la carga sobre la probeta con la prensa a una rata de deformación constante hasta que ocurra la falla. Se debe tener en cuenta que el proceso completo, desde la remoción de la probeta del baño de agua hasta su falla no debe pasar más de 30 s.

- 5 Se continúa calculando la deformación dependiendo el método que se llevó a cabo.

6 Resultados

6.1 Ensayo Granulométrico de los Agregados Gruesos y Finos INV E – 213 – 13

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						% QUE PASA EN ESPECIFICACIONES			
Peso Inicial		4773				MAN 25		MAN 19	
Tamiz		Peso retenido individual	% retenido individual	% Retenido acumulado	% que pasa				
Pulg	mm								
1 - 1/2"	37,5	0	0,0	0,0	100,0			-	
1"	25,0	35	0,7	0,7	99,3	100	100	-	
3/4"	19,0	227	4,8	5,5	94,5	80	95	100	100
1/2"	12,5	410	8,6	14,1	85,9	-	-	80	95
3/8"	9,5	310	6,5	20,6	79,4	60	75	-	-
No. 4	4,75	560	11,7	32,3	67,7	47	62	50	65
No. 8	2,36	500	10,5	42,8	57,2	35	50	35	50
No. 50	0,300	2021	42,3	85,1	14,9	13	23	13	23
No. 200	0,075	540	11,3	96,4	3,6	3	8	3	8
F		170	3,6	100,0	0,0	NO CUMPLE		NO CUMPLE	

Tabla 3 Análisis granulométrico de la muestra tomada de la mina San Pedro comparadas con MAN 25 y MAN 19

Fuente: Autores

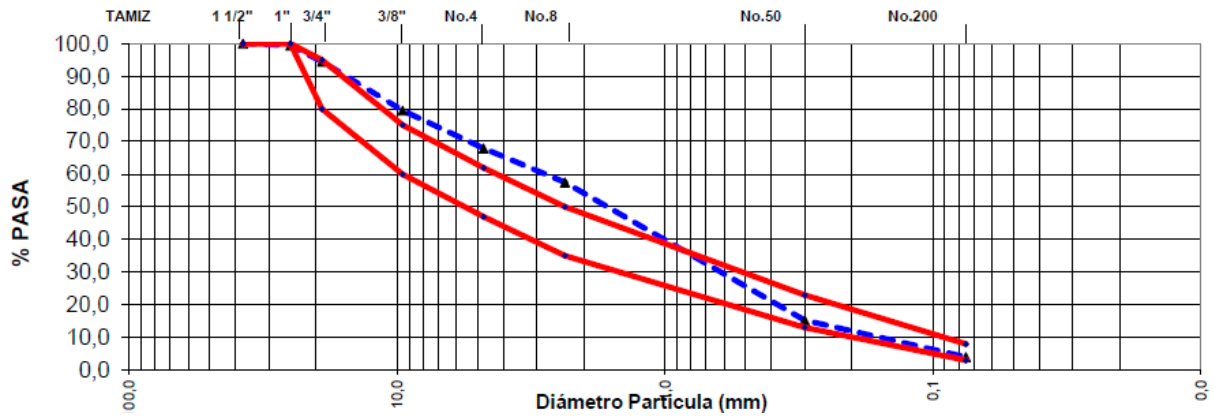


Tabla 4 Curva granulométrica del material tomado de la mina San Pedro frente al MAN 25

Fuente: Autores

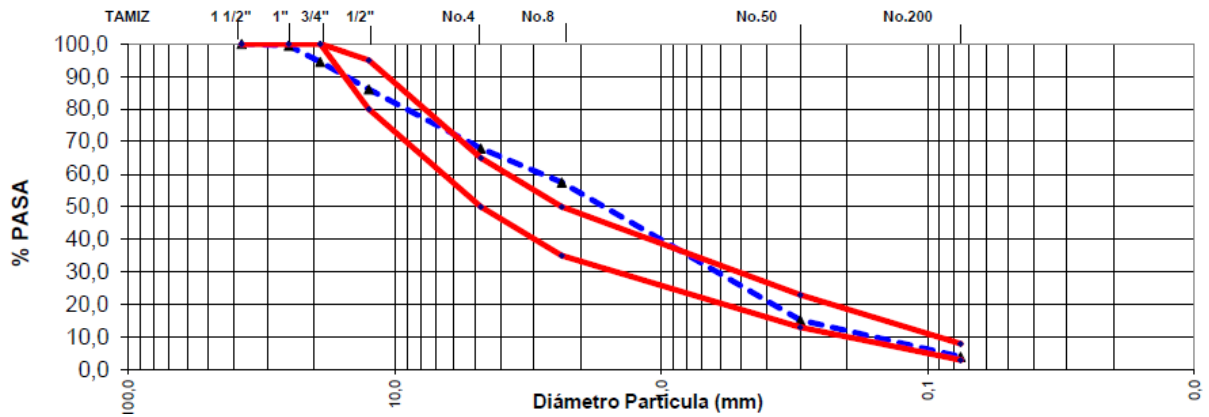


Tabla 5 Curva granulométrica del material tomado de la mina San Pedro frente al MAN 19

Fuente: Autores

6.2 Determinación del Límite Líquido de los Suelos INV E – 125- 13 y Limite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos INV E - 126 – 13

LIMITE LIQUIDO	N.L	ÍNDICE DE GRUPO	0
LIMITE PLÁSTICO	N.P	AASHTO	A-1-b
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P	U.S.C	SP-SM

Tabla 6 Límites de Atterberg del material tomado de la mina San Pedro

Fuente: Autores

6.3 Resistencia de la Degradación de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm (1 ½”) por Medio de la Maquina de los Ángeles INV E – 218 – 13

$$\frac{Pa - Pb}{Pa} \times 100$$

Ecuación 1 Porcentaje de desgaste

Pa: Peso muestra seca antes del ensayo.

Pb: Peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre el tamiz No. 12.

Pa – Pb: Pérdida.

TAMAÑO TAMICES		PESO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA (G.M.S)			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
3"	2 1/2"				
2 1/2"	2"				
2"	1 1/2"				
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1251 ± 25			
1/2"	3/8"	1252 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"	1253 ± 10	2500 ± 10	2500 ± 10	
1/4"	# 4			2500 ± 10	
# 4	# 8				5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
No. DE ESFERAS		12	11	8	6
No. DE REVOLUCIONES		500	500	500	500

Tabla 7 Granulometrías de las muestras del ensayo

Fuente: Instituto Nacional de Vías - INVIAS

PPRUEBAS	RESULTADO
Gradación Usada	A
No. DE ESFERAS	12
No. DE REVOLUCIONES	500
Pa	5003
Pb	3104
Pa - Pb	1899
% DE DESGASTE	38,0
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA (MENOR A 25%)	NO CUMPLE

Tabla 8 Desgaste del material de la mina San Pedro en la máquina de los Ángeles

Fuente: Autores

6.4 Solidez de los Agregados Frente a la Acción de Soluciones de Sulfato de Magnesio

INV E – 220 – 13

AGREGADOS GRUESOS						
TAMICES		GRADACIÓN RETENIDA	PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS	AD/100
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	
1 1/2"	1"	35	35	28	20,0	7,00
1"	3/4"	227	227	220	3,1	7,00
3/4"	1/2"	410	410	380	7,3	30,00
1/2"	3/8"	310	310	270	12,9	40,00
TOTAL						21

Tabla 9 Resultado de la muestra de la mina San Pedro (material grueso) por acción de sulfatos de magnesio

Fuente: Autores

AGREGADOS FINOS						
TAMICES		GRADACIÓN RETENIDA	PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS	AD/100
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	
3/8"	# 4	560,0	300	297	1,00	5,60
# 4	# 8	500,0	300	295	1,67	8,33
# 8	# 50	2021	300	293	2,33	47,16
# 50	# 200	540	300	283	5,67	30,60
TOTAL						22,9

Tabla 10 Resultado de la muestra de la mina San Pedro (material fino) por acción de sulfatos de magnesio

Fuente: Autores

6.5 Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos INV E – 133 – 13

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

Ecuación 2 Equivalente de arena

PRUEBA		1	2	3
LECTURA DE ARCILLA		6,5	5,8	6,2
LECTURA DE ARENA		4,3	4	3,8
EQUIVALENTE DE ARENA		66	69	61
EQUIVALENTE ESPECIFICADO		65,5		
CUMPLE		NO CUMPLE		X

Tabla 11 Resultado equivalente de arena de la muestra de la mina San Pedro

Fuente: Autores

6.6 Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas en Agregados

Gruesos INV E – 240 – 13

FRACCION ANALIZADA			PRIMER GRUPO	SEGUNDO GRUPO	TERCER GRUPO	CALCULO PROPORCIONES POR PESO O CONTEO		
TAMIZ PASA	TAMIZ RETIENE	PESO POR CONTEO	PLANAS	ALARGADAS	NI PLANA NI ALARGADA	% PART. PLANAS	% PART. LARGAS	% NI PLAN. NI ALARG.
1"	3/4"	227	0	0	227	0	0	100
3/4"	1/2"	410	0	0	410	0	0	100
1/2"	3/8"	310	0	0	310	0	0	100
PROMEDIO						0	0	100

Tabla 12 Peso de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas de la muestra tomada de la mina San Pedro

Fuente: Autores

6.7 Porcentaje de Partículas Fracturadas en un Agregado Grueso INV E – 227 – 13

A: Peso muestra en (g)

B: Peso de caras

C: Porcentaje de caras

D: Porcentaje retenido

TAMAÑO DE AGREGADO		A	F	N	P
PASA	RETIENE	(g)	(g)	(g)	(F/(F+N))X100
1 1/2"	1"	35,0	35,0	0,0	100,0
1"	3/4"	227,0	6,0	221,0	2,6
3/4"	1/2"	410,0	26,0	384,0	6,3
1/2"	3/8"	310,0	24,0	286,0	7,7
TOTAL					29,2
CUMPLE		NO CUMPLE			X

Tabla 13 Porcentaje de caras fracturadas de la muestra de la mina San Pedro

Fuente: Autores

6.8 Determinación del Contenido de Vacíos en Agregados Finos No Compactados

(Influenciado por la Forma de las Partículas, la Textura Superficial y la

Granulometría) INV E – 239 – 13

$$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{G}\right) \times 100}{V}$$

Ecuación 3 Porcentaje de vacíos en el agregado fino sin compactar

DATOS DEL ENSAYO			
U	Porcentaje de vacíos en el agregado fino	%	45,6
V	Volumen del medidor cilíndrico	ml	100
F	Masa del agregado fino en el medidor	g	136
G	Densidad relativa seca	gr/cm ³	2,5

Tabla 14 Promedio de contenido de vacíos en agregado fino sin compactar de la muestra de la mina San Pedro

Fuente: Autores

6.9 Extracción Cuantitativa del Asfalto en Mezclas para Pavimentos INV E – 732 – 13

DATOS INICIALES	
Peso neto de la muestra (g)	1.432,5 gr
Peso seco de la muestra despue de la extraccion (g)	1.375,0 gr
Peso de la muestra despues de la extraccion (g) mas residuos	57,5 gr
RESULTADS	
Peso del asfalto extraido (g)	57,5 gr
Porcentaje de asfalto en la mezcla	4,01%

Tabla 15 Porcentaje de asfalto de la muestra – primera lavada

Fuente: Autores

DATOS INICIALES	
Peso neto de la muestra (g)	1.448,7 gr
Peso seco de la muestra despue de la extraccion (g)	1.383,5 gr
Peso de la muestra despues de la extraccion (g) mas residuos	65,2 gr
RESULTADS	
Peso del asfalto extraido (g)	65,2 gr
Porcentaje de asfalto en la mezcla	4,50%

Tabla 16 Porcentaje de asfalto de la muestra - segunda lavada

Fuente: Autores

DATOS INICIALES	
Peso neto de la muestra (g)	1.427,6 gr
Peso seco de la muestra despue de la extraccion (g)	1.356,0 gr
Peso de la muestra despues de la extraccion (g) mas residuos	71,6 gr
RESULTADS	
Peso del asfalto extraido (g)	71,6 gr
Porcentaje de asfalto en la mezcla	5,02%

Tabla 17 Porcentaje de asfalto de la muestra - tercera lavada

Fuente: Autores

DATOS INICIALES	
Peso neto de la muestra (g)	1.444,7 gr
Peso seco de la muestra despue de la extraccion (g)	1.365,0 gr
Peso de la muestra despues de la extraccion (g) mas residuos	79,7 gr
RESULTADS	
Peso del asfalto extraido (g)	79,7 gr
Porcentaje de asfalto en la mezcla	5,52%

Tabla 18 Porcentaje de asfalto de la muestra - cuarta lavada

Fuente: Autores

DATOS INICIALES	
Peso neto de la muestra (g)	1435,6 gr
Peso seco de la muestra despue de la extraccion (g)	1.349,2 gr
Peso de la muestra despues de la extraccion (g) mas residuos	86,4 gr
RESULTADS	
Peso del asfalto extraido (g)	86,4 gr
Porcentaje de asfalto en la mezcla	6,02%

Tabla 19 Porcentaje de asfalto de la muestra - quinta lavada

Fuente: Autores

6.10 Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Equipo Marshall INV E – 748 13

Este ensayo no se pudo llevar a cabo y por decisión de los autores y recomendación del tutor no se asumieron los resultados ya que no se encontró un trabajo con el mismo fin de este, en donde se pudieran tomar los datos como guía y que estos resultados pueden variar el comportamiento de la mezcla dependiendo el agregado que se escoja y la emulsión asfáltica utilizada. Por esta razón los autores proponen diferentes dosificaciones en la que se espera que en futuras investigaciones realicen el respectivo laboratorio como lo indica el INVIAS en la sección 700 y 800 (primera parte).

DOSIFICACIONES PARA UNA POSIBLE FORMULA DE TRABAJO					
TIPO DE AGREGADOS GRUESO	% DE AGREGADO GRUESO	TIPO DE AGREGADO FINO	% DE AGREGADO FINO	TIPO DE EMULSIÓN	% DE EMULSION
3/4"	27%	Arena natural	10%	AC 60 -70	4.0
3/4"	27%	Arena natural	10%	AC 60 -70	4.5
3/4"	27%	Arena natural	10%	AC 60 -70	5
1"	27%	Arena natural	10%	AC 60 -70	4.5
1"	27%	Arena natural	10%	AC 60 -70	5.0
1"	27%	Arena natural	10%	AC 60 -70	5.5

Tabla 20 Dosificaciones propuestas por los autores para una fórmula de trabajo optima

Fuente: Autores

7 Análisis y Discusión de los Resultados

Luego de dar por terminada la etapa de elaboración de ensayos para la caracterización del material tomado de la mina San Pedro del municipio de Armero Guayabal los cuales no se pudieron llevar a cabo completamente como anteriormente se da a conocer, y por ello no se puede dar una conclusión exacta respecto a sus características ya que la mayoría de los laboratorios fueron asumidos y unos se lograron desarrollar previo al aislamiento social preventivo (Desgaste en la máquina de los Ángeles, partículas planas y alargadas, y partículas con caras fracturadas). Teniendo en cuenta lo aconsejado por el tutor se tomaron los datos faltantes para poder lograr una caracterización aproximada y con esto poder dar una conclusión y las respectivas conclusiones del proyecto.

Como se evidencia en la siguiente tabla, en varios aspectos el material no cumple con los parámetros mínimos exigidos y recomendados por la normatividad vigente, pues en unos requisitos da menor a lo requerido o supera este parámetro. Por lo tanto se formuló una dosificación respecto a los resultados no favorecidos para el asfalto natural para lograr mejorar su comportamiento respecto a las exigencias que requiere el material esperando que los resultados sean favorecedores y se logró encontrar una fórmula de trabajo que sea técnico - ambientalmente sostenible para ofrecerla como nueva alternativa en la construcción o rehabilitación de las vías con bajo nivel de tránsito.

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INVE	REQUISITO	RESULTADO LABORATORIO	CUMPLE	NO CUMPLE
Granulometria	E - 213 - 13	MAN 25			X
		MAN 19			X
Desgaste en la máquina de los Angeles, Maximo (%)	E - 218 - 13	25 / 35	38%		X
Pérdida en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, Maximo (%)	E - 220 - 13	18	21		X
			22,9		
Indice de plasticidad, maximo (%)	E - 125 - 13 Y E - 126 - 13	7	NP	X	
Equivalente de arena, minimo (%)	E - 133 - 13	50	65,5	X	
Particulas planas y alargadas, relacion 5:1, maximo (%)	E - 240 - 13	10	0	X	
Caras fracturadas, minimo (%) -Una cara: Rodadura / intermedia (%) -Dos caras: Rodadura / intermedia	E - 227 - 13	75 / 60	29,20%		X
Angularidad de la fraccion fina, metodo A, minimo (%) - Capa de :rodadura / intermedia	E - 239 - 13	40 / 35	45,60%	X	
Extracción Cuantitativa del Asfalto en Mezclas para Pavimentos	E - 732 - 13	4%	5,01%	X	

Tabla 21 Requisitos INVIAS Vs Asfalto Natural San Pedro

Fuente: INVIAS - Autores

8 Conclusiones

Al llevar este proceso de investigación asumiendo los datos los autores del trabajo concluyen que el asfalto natural que se obtiene en la mina San Pedro ubicada en el municipio de Armero Guayabal departamento del Tolima para crear mezclas de asfalto natural MAN no es apta para ser utilizada como alternativa para la capa de rodadura en vías de bajo nivel de tránsito, NT1. Pues al comparar los valores obtenidos en los laboratorios que se lograron efectuar, los datos suministrados por el tutor y los asumidos por los autores no cumplen con los requisitos mínimos o no se encuentran dentro el rango que exige el Instituto Nacional de Vías INVIAS en el documento ESPECIFICACIÓN PARTICULAR MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL ART. 442P expedido por la entidad nombrada en el año 2017.

En el cuadro comparativo (Requisitos INVIAS Vs Asfalto Natural San Pedro) se mostró en que características físicas – mecánicas el material no cumple con la normatividad.

Debido al no cumplimiento los autores con asesoría del tutor de monografía llegan a la solución de asumir unas dosificaciones en las cuales se le implementará agregados gruesos de tamaño de 3/4” y 1” para mejorar las condiciones del material tomado de la mina y suministrando entre el 4% y 6% de emulsión asfáltica para mejor adherencia de los agregados esperando que al realizar las diferentes briquetas para el laboratorio Marshall se logre acercarse u obtener una fórmula de trabajo óptima para la implementación del material y lograr ofrecer un producto que sea técnico y ambientalmente sostenible para ser usado como alternativa en la construcción de pavimentos

flexibles en las vías que tengan un tránsito de diseño inferior a 0.5×10^6 ejes equivalentes de 80 KN en el carril de diseño.

Debido a las condiciones actuales que se viven a nivel mundial no se puede comprobar que las dosificaciones nos acerquen a una Mezcla de Asfalto Natural recomendable, por lo cual se pretende dejar la investigación abierta para que futuros investigadores realicen los respectivos ensayos para determinar si las fórmulas de trabajo asumidas por los autores sirven o, por el contrario, se necesita seguir investigando y realizando ensayos de prueba error para así poder obtener una dosificación apta.

9 Recomendaciones

Debido a que el proceso no fue completo y llevado a cabo como debe ser, los autores recomiendan que se realicen cada uno de los laboratorios nombrados en el trabajo para tener certeza de que los datos asumidos corresponden o se acercan a los valores reales que arrojan los ensayos para poder obtener lo que se busca con este trabajo, una fórmula de trabajo que cumpla con las exigencias que pide el INVIAS. También se recomienda evaluar las dosificaciones planteadas en el trabajo para determinar si son factibles para la implementación como una opción diferente en la elaboración de capas de rodadura para las vías NT1 o de tercer orden.

Por lo tanto, se determina que la investigación se deja abierta para que futuros estudiantes o ingenieros civiles sigan investigando sobre el tema de asfalto natural como un nuevo material alternativo para la construcción o rehabilitación de la infraestructura vial del municipio de Girardot y la provincia del Alto Magdalena.

10 Bibliografía

- Acero, J. C., Anselmi, L. Á., & Ortiz, O. J. (2014). Obtenido de <http://www.ustatunja.edu.co/cong/images/Articulos/-ESTUDIO%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20DE%20ASFALTOS%20NATURALES%20EN%20MEZCLAS%20ASFALTICAS%20FABRICADAS%20CON%20ASFALTO%20AC%2020%20Y%20GRANULOMETRIA%20MD%2012.pdf>
- Alcaldía de Girardot . (09 de 03 de 2020). *ALCALDÍA DE GIRARDOT* . Obtenido de <http://girardot-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Camargo, J. D., & Gómez, L. M. (2019). Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17951/2019luiswilches.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cárdenas, J. (2013). Diseño Geometrico de Carreteras- 2da.ed. . En J. C. Grisales. Ecoe Ediciones.
- Chala, D. E., & Cuellar, W. O. (2019). Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23403/1/Estudio%20del%20desempe%C3%B1o%20mec%C3%A1nico%20de%20una%20mezcla%20asf%C3%A1ltica%20natural.pdf>
- Instituto Nacional de Vías INVIAS. (s.f.). Obtenido de [file:///C:/Users/USER%20PC/Downloads/CAP%C3%8DTULO%201_1%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER%20PC/Downloads/CAP%C3%8DTULO%201_1%20(1).pdf)
- INVIAS. (2012). *ENSAYOS INVIAS SECCION 100* . Obtenido de [file:///C:/Users/USER%20PC/Downloads/SECCI%C3%93N%20100%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER%20PC/Downloads/SECCI%C3%93N%20100%20(1).pdf)

INVIAS. (2012). *ENSAYOS INVIAS SECCIÓN 200*. Obtenido de

[file:///C:/Users/USER%20PC/Downloads/SECCI%C3%93N%20200%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER%20PC/Downloads/SECCI%C3%93N%20200%20(1).pdf)

INVIAS. (2012). *ENSAYOS INVIAS SECCIÓN 700 Y 800 (primera parte)*. Obtenido de

[file:///C:/Users/USER%20PC/Downloads/SECCIONES%20700%20Y%20800%20\(primer%20parte\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER%20PC/Downloads/SECCIONES%20700%20Y%20800%20(primer%20parte)%20(1).pdf)

INVIAS. (19 de Enero de 2018). *INVIAS*. Obtenido de

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17/file>

INVIAS. (2018). *INVIAS - INSTITUTO NACIONAL DE VIAS*. Obtenido de

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17>

López, J. M. (2012). Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9340/BedoyaLopezJhonMario2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

MAVEGSA. (03 de Abril de 2019). Obtenido de [https://mavegsa.com/para-que-sirve-la-](https://mavegsa.com/para-que-sirve-la-emulsion-asfaltica/)

[emulsion-asfaltica/](https://mavegsa.com/para-que-sirve-la-emulsion-asfaltica/)

MINISTERIO DE TRANSPORTE. (s.f.). *MINTRANSPORTE*. Obtenido de

<https://www.mintransporte.gov.co/glosario/v/genPag=2>

PEÑA, L. F. (Mayo de 2014). Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12013/Monograf%C3%ADa%20de%20Grado%20Luis%20Fernando%20Alarc%C3%B3n%20Mayo%20de%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Porto, J. P., & Merino, M. (2013). *DEFINICIÓN.DE*. Obtenido de <https://definicion.de/carretera/>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/asfalto?m=form>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (s.f.). *RAE*. Obtenido de <https://dle.rae.es/cantera?m=form>

Salgado, L., Vera, F., & Nuñez, Y. (2019). Asfalto natural alternativa de rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial del Alto Magdalena Colombia – Revisión Sistemática. *in Centro Sur*.

Villegas, M. (2011). *Cundinamarca Corazón de Colombia*. Bogotá: Villegas Editores. Obtenido de <https://villegaseditores.com/cundinamarca-corazon-de-colombia-provincia-del-alto-magdalena>