

**ANALISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL PROVENIENTE DE
NORCASIA, CALDAS RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA
CONVENCIONAL**

**JHON DEYVER SIERRA MOLINA
GABRIEL ENRIQUE GOMEZ MOLINA**

**UNIVERSIDAD DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2019

**ANALISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL PROVENIENTE DE
NORCASIA, CALDAS RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA
CONVENCIONAL**

JHON DEYVER SIERRA MOLINA

Código: 17592027

GABRIEL ENRIQUE GOMEZ MOLINA

Código: 17592017

**Trabajo aplicado como requisito para optar al título de Especialista en
Geotecnia Ambiental**

Director

Jorge Iván Valencia Carvajal

Ingeniero Civil

Especialista en Geotecnia Ambiental

**UNIVERSIDAD DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2019

	VICERRECTORÍA DE POSGRADOS	
	ACTA SUSTENTACIÓN TESIS POS-FT-012-UDES	Fecha: 10/07/2018 Versión: 07

ACTA EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO

En Bucaramanga, a los cinco (05) días del mes de julio del 2019, en cumplimiento de los requisitos exigidos para la culminación del trabajo de grado, se llevó a cabo la evaluación de:

RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADO

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL PROVENIENTE DE NORCASIA, CALDAS RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.

NOMBRE DEL PROGRAMA: ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA AMBIENTAL

NOMBRES ESTUDIANTE	APELLIDOS	CÓDIGO ESTUDIANTE
JHON DEYVER	SIERRA MOLINA	17592027
GABRIEL ENRIQUE	GOMEZ MOLINA	17592017

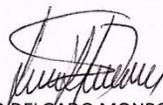
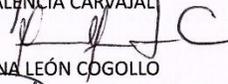
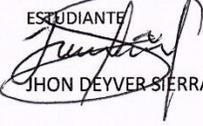
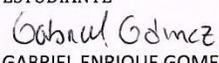
	NOMBRES Y APELLIDOS	C.C. NO.
DIRECTOR	JORGE IVAN VALENCIA CARVAJAL	91.496.496 B/ga
CODIRECTOR		
CALIFICADOR	MÓNICA MILENA LEÓN COGOLLO	37.729.932 de B/ga
CALIFICADOR	JOSE ANTONIO DELGADO MONROY	91.237.538 de B/ga

CONCEPTO EVALUADORES

ACEPTADO

CALIFICACIÓN: 4.5

EN CONSTANCIA FIRMAN

DIRECTOR		CODIRECTOR	
JORGE IVAN VALENCIA CARVAJAL		CALIFICADOR	
CALIFICADOR		JOSE ANTONIO DELGADO MONROY	
MÓNICA MILENA LEÓN COGOLLO			
ESTUDIANTE		ESTUDIANTE	
JHON DEYVER SIERRA MOLINA		GABRIEL ENRIQUE GOMEZ MOLINA	

**VICERRECTORÍA DE POSGRADOS****ACTA SUSTENTACIÓN TESIS
POS-FT-012-UDES**

Fecha: 10/07/2018

Versión: 07

ACTA EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO

En Bucaramanga, a los cinco (05) días del mes de julio del 2019, en cumplimiento de los requisitos exigidos para la culminación del trabajo de grado, se llevó a cabo la evaluación de:

RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADO

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL PROVENIENTE DE NORCASIA, CALDAS RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.

NOMBRE DEL PROGRAMA: ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA AMBIENTAL

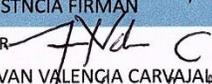
NOMBRES ESTUDIANTE	APELLIDOS	CÓDIGO ESTUDIANTE
GABRIEL ENRIQUE	GOMEZ MOLINA	17592017

	NOMBRES Y APELLIDOS	C.C. NO.
DIRECTOR	JORGE IVAN VALENCIA CARVAJAL	91.496.496 B/ga
CODIRECTOR		
CALIFICADOR	MÓNICA MILENA LEÓN COGOLLO	37.729.932 de B/ga
CALIFICADOR	JOSE ANTONIO DELGADO MONROY	91.237.538 de B/ga

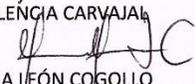
CONCEPTO EVALUADORES

ACEPTADO

CALIFICACIÓN: 4.5

EN CONSTANCIA FIRMANDIRECTOR 
JORGE IVAN VALENCIA CARVAJAL

CODIRECTOR

CALIFICADOR 
MÓNICA MILENA LEÓN COGOLLOCALIFICADOR 
JOSE ANTONIO DELGADO MONROY

ESTUDIANTE

ESTUDIANTE

ESTUDIANTE

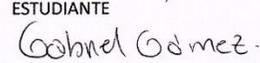

GABRIEL ENRIQUE GOMEZ MOLINA

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
2. JUSTIFICACION	23
3. OBJETIVOS	24
3.1. Objetivo general	24
3.2. Objetivos específicos.	24
4. MARCO TEORICO	25
4.1. GENERALIDADES SOBRE LOS ASFALTOS NATURALES.	25
4.1.1. En el mundo.	25
4.1.2. En Colombia.	26
4.2. ASFALTOS CONVENCIONALES	27
4.2.1. Propiedades físicas.	27
4.2.2. Composición química.	28
4.2.2.1. Asfáltenos.	28
4.2.2.2. Saturados.	29
4.2.2.3. Resinas.	29
4.2.2.4. Aromáticos.	29
4.2.3. Clasificación de Asfaltos.	29

4.2.3.1. Pavimentación	30
4.2.3.2. Riegos	30
4.2.3.3. Otras aplicaciones	30
5. METODOLOGIA	31
5.1. Etapa 1. Revision DOCUMENTAL	32
5.2. Etapa 2. DESCRIPCIÓN DEL ASFALTO	32
5.3. Etapa 3. PRUEBAS Y ENSAYOS	33
5.4. Etapa 4: EVALUACION Y COMPARACIÓN	33
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
6.1. MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL	34
6.1.1. Caracterización del asfalto natural	36
6.1.1.1. Extracción cuantitativa de asfalto.	36
6.1.1.2. Método de ensayo estándar para penetración de asfaltos	37
6.1.1.3. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola).	38
6.1.1.4. Índice de penetración de cementos asfálticos	39
6.1.1.5. Ductilidad de los materiales asfálticos	40
6.1.1.6. Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno	41
6.1.1.7. Agua en los materiales asfálticos por destilación	41
6.1.1.8. Viscosidad de Asfaltos por el Viscosímetro Capilar de Vacío	41
6.1.1.9. Viscosidad cinemática de asfaltos	42
6.1.1.10. Extracción cuantitativa de asfalto a partir de mezclas asfálticas	43
6.1.2. Resultados propiedades físico químicas asfalto natural	44
6.1.3. Granulometría del agregado mineral.	45

6.1.4.	Estabilidad y Flujo.	47
6.1.5.	Módulo dinámico	56
6.2.	BASE ESTABILIZADA CON MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL	59
6.2.1.	Caracterización fisico-mecánica del agregado por estabilizar	59
6.2.2.	Análisis granulométricos materiales individuales.	60
6.2.3.	Caracterización fisicoquímica mezcla asfáltica natural – (MAPIA)	61
6.2.3.1.	Determinación cuantitativa de asfalto en mezclas asfálticas.	61
6.2.3.2.	Porcentaje de asfalto en la asfaltita o MAPIA.	62
6.2.3.3.	Granulometría material pétreo extraído (INVE-782).	62
6.2.3.4.	Recuperación del asfalto de una solución utilizando el rota vapor I.N.V. E – 759 – 013.	63
6.2.3.5.	Asfalto recuperado MAPIA.	64
6.2.3.6.	Análisis químico S.A.R.A. standard method IP-469.	65
6.2.4.	Determinación combinaciones granulométricas	66
6.2.5.	Método para evaluar la resistencia	69
6.2.5.1.	Efecto del agua sobre la resistencia a la compresión de las mezclas asfálticas compactadas (I.N.V E-622-13).	69
6.2.5.2.	Criterios de diseño	69
6.2.5.3.	Proceso de elaboración de las briquetas	69
6.2.5.4.	Propiedades mecánicas de la mezcla.	70
6.2.5.5.	Determinación ensayo Proctor Modificado	70
6.3.	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	72
6.3.1.	Mezcla de hormigón en caliente	73
6.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
7.	CONCLUSIONES	77

8.	RECOMENDACIONES	82
	BIBLIOGRAFÍA	83
	ANEXOS	86

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Proceso de producción del asfalto industrial (refinería)	31
Ilustración 2. Localización de Yacimientos de asfalto natural	35
Ilustración 3. Máquina centrífuga para extracción de asfalto	36
Ilustración 4. Penetración de Asfaltos	38
Ilustración 5. Penetración de Asfaltos	39
Ilustración 6. Ductilímetro	40
Ilustración 7. Viscosímetro capilar de vacío	42
Ilustración 8. Viscosímetro Brookfield con cámara termostatzada de tipo Brookfield Thermosel	43
Ilustración 9. Granulometría del mineral extraído	46
Ilustración 10. Curva granulométrica combinación 1	49
Ilustración 11. Curva granulométrica combinación 2	50
Ilustración 12. Curva granulométrica combinación 3	51
Ilustración 13. Curva granulométrica combinación 4	52
Ilustración 14. Curva granulométrica combinación 5	53
Ilustración 15. Curva granulométrica combinación 6	54

Ilustración 16. Nomograma Cálculo de coeficiente estructural a1 para mezcla asfáltica	58
Ilustración 17. Curvas granulométricas individuales de los agregados pétreos	61
Ilustración 18. Curvas granulométricas material pétreo recuperado extracción.	63
Ilustración 19. Recuperación de asfalto en roto evaporador	64
Ilustración 20. Análisis químico S.A.R.A	65
Ilustración 21. Curvas granulométricas combinación #1	67
Ilustración 22. Curvas granulométricas combinación #2	67
Ilustración 23. Curvas granulométricas combinación #3	68
Ilustración 24. Curvas granulométricas combinación #4	68
Ilustración 25. Nomograma Cálculo de coeficiente estructural a1 para mezcla asfáltica	75

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Extracción del contenido de asfalto	37
Tabla 2. Propiedades físico químicas de asfalto natural	45
Tabla 3. Granulometría del material	46
Tabla 4. Combinaciones de los materiales	48
Tabla 5. Resultados ensayo estabilidad flujo	55
Tabla 6. Relaciones densidad/vacíos combinación 4	56
Tabla 7. Módulo dinámico	57
Tabla 8. Descripción de las muestras recibidas.	59
Tabla 9. Caracterización materiales pétreos	60
Tabla 10. Gradaciones individuales material pétreo	60
Tabla 11. Porcentaje de asfalto residual en mezcla asfáltica evaluada.	62
Tabla 12. Distribución granulométrica del material recuperado	62
Tabla 13. Asfalto recuperado de la mezcla asfáltica natural- MAPIA	64
Tabla 14. Resultados Análisis químico S.A.R.A.	65
Tabla 15. Proporciones de mezclado- contenido de asfalto	66

Tabla 16. Gradaciones individuales material pétreo	66
Tabla 17. Criterios de diseño.	69
Tabla 18. Propiedades mecánicas de la mezcla BEMAN-25.	70
Tabla 19. Calculo del Ensayo Proctor	71
Tabla 20. Valores típicos de los módulos de capas de pavimentos asfálticos	74
Tabla 21. Valores típicos del módulo dinámico de mezclas de concreto asfáltico	74
Tabla 22. Modulo dinámico	76
Tabla 23. Comparativo propiedades físico – químicas del asfalto natural- asfalto industrial	77
Tabla 24. Comparativo propiedades mecánicas del asfalto natural- asfalto industrial	78
Tabla 25. Cuadro comparativo de Costos	81

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO 1. PUNTO DE ABLANDAMIENTO MATERIALES BITUMINOSOS	87
ANEXO 2. ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS	88
ANEXO 3. VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL ASFALTO	89
ANEXO 4. SOLUBILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS EN TRICLOROETILENO	90
ANEXO 5. RESOLUCIÓN 10099 – MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL	91

GLOSARIO

ASFALTO NATURAL: son materiales que se encuentra en la naturaleza en forma de impregnaciones viscosas en areniscas, aluviones y calizas. Estos materiales proceden de la refinación natural de un hidrocarburo del petróleo cuyos constituyentes volátiles se evaporaron al ponerse en contacto con el aire debido a un fenómeno de migración del petróleo a la superficie terrestre a través de fisuras y rocas porosas.

CAPACIDAD PORTANTE: Es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

CARTA DE PLASTICIDAD: Gráfica utilizada para diferenciar la fracción fina de los suelos a partir de su límite líquido (LL) y de su índice de plasticidad (IP).

COHESIÓN: Es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.

CONSISTENCIA: Facilidad relativa con la cual se puede deformar un suelo.

FALLA: Es la consolidación de esfuerzo en el instante de falla de un espécimen de ensayo. Normalmente se acepta que la falla corresponde al máximo esfuerzo de corte alcanzado o, en ausencia de una condición pico, al esfuerzo de corte cuando se ha tenido lugar el 10% de desplazamiento lateral relativo.

PESO UNITARIO SECO MÁXIMO DEL ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN: Es el máximo valor definido de la curva de compactación obtenido como resultado del ensayo realizado con la energía de compactación.

PROPIEDADES MECÁNICAS: Las propiedades mecánicas son aquellas propiedades de los sólidos que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza. Las propiedades mecánicas de los materiales se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas: las cargas o fuerzas actúan momentáneamente, tienen carácter de choque. Las propiedades mecánicas de los materiales son: Elasticidad, plasticidad, maleabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad y fragilidad.

SUBRASANTE: Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

ASFALTITAS: Las asfaltitas son sustancias bituminosas naturales, sólidas, de color negro brillante, 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 hidrocarburos muy pobres en oxígeno y parafinas cristalizables, siendo compuestos de alto peso molecular.

MÓDULO DINÁMICO: Es el valor absoluto del Módulo complejo que define las propiedades elásticas de un material de viscosidad lineal sometido a una carga sinusoidal. E^* es el módulo visco-elástico del material. En la teoría visco-elástica, el valor absoluto del módulo complejo $|E^*|$, por definición es el módulo dinámico. Los valores del módulo dinámico pueden emplearse tanto para el diseño de la mezcla asfáltica para pavimento, como para el diseño del espesor de la capa de pavimento asfáltico.

NÚMERO ESTRUCTURAL: Es el número que expresa la resistencia del pavimento en términos del valor de soporte del suelo, del equivalente diario de 18 kips de carga por eje, del índice de utilidad y del factor regional. Los coeficientes adecuados convierten el valor SN en el espesor real de la carpeta, de la base y de la sub-base.

RESUMEN

Titulo: Análisis comparativo del comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica natural proveniente de Norcasia, Caldas respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Autores: Jhon Deyver Sierra Molina, Gabriel Enrique Gómez Molina

Palabras clave: mezcla asfáltica natural; asfaltita; propiedades mecánicas.

Descripción:

Colombia cuenta con más de 140.000 kilómetros de red vial terciaria, el 80% de estas no cuentan con características mínimas de transitabilidad para los usuarios, dejando incomunicadas o dificultando el tránsito por las mismas. La intervención de estas vías requiere de materiales de bajo costo, alta disponibilidad y con propiedades que garanticen el cumplimiento de la durabilidad prevista en un proyecto. Todo esto, sin dejar a un lado la importancia que debe tener al producir menor impacto ambiental.

A este grupo de materiales pertenecen los asfaltos naturales. La evaluación del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica natural producida con asfaltita explotada en la Mina La Milagrosa en el municipio de Norcasia, Caldas. Lo anterior con el objetivo de implementar el uso de nuevos materiales como alternativas de mejoramiento vial en vías con bajos volúmenes de tráfico.

En el país existen yacimientos de asfalto natural, el cual por el fenómeno de refinación natural ha ascendido a la superficie impregnando diversos estratos de suelo a su paso creando mantos propicios para la explotación del material denominado asfalto natural. Este material cuenta con características apropiadas para la intervención, construcción, mantenimiento y mejoramiento de vías, y al mismo tiempo siendo mezclado debidamente con los agregados pétreos correspondientes permitir su uso en diferentes capas del pavimento. Al comparar las propiedades de la mezcla asfáltica natural con la convencional se pretende obtener una idea de la capacidad del material de comportarse mecánicamente con las mezclas producidas a partir de asfalto industriales y proponer el uso de esta para vías de bajas sollicitaciones de carga.

ABSTRACT

Title: Comparative analysis of the behavior in the mechanical properties of the natural asphalt mix from Norcasia, Caldas with conventional asphalt mix.

Authors: Jhon Deyver Sierra Molina, Gabriel Enrique Gómez Molina.

Keywords: Natural asphalt mix; asphaltite; mechanical properties.

Description:

Colombia has more than 140,000 kilometers of road network, 80% of these characteristics do not have the minimum traffic characteristics for users, which implies an obstacle in the transit through them. The intervention of these routes requires low cost materials, high availability and properties that guarantee compliance with the expected duration of a project. All this, without leaving aside the importance that must have to produce less environmental impact.

A group of materials belonging to natural asphalts. The evaluation of the mechanical behavior of the natural mixture produced with the exploitation exploited in the La Milagrosa Mine in the municipality of Norcasia, Caldas. The above with the objective of implementing the use of new materials as road improvement alternatives on roads with low traffic volumes.

In the country there are deposits of natural asphalt, which is the phenomenon of natural refining, has risen to the surface permeating the various strata of soil in its path creating layers proposed for the exploitation of material called natural asphalt. This material has the adequate characteristics for the intervention, construction, maintenance and improvement of the roads, and at the same time as a mixer with the aggregates. When comparing the properties of the natural asphalt mixture with the conventional one, it is intended to obtain an idea of the capacity of the material mechanically with the mixtures produced from industrial asphalt and to propose the use of this for the routes of low loads.

INTRODUCCIÓN

Los Asfaltos Naturales son materiales que se encuentran en la naturaleza en forma de impregnaciones viscosas en areniscas, aluviones y calizas. Estos materiales proceden de la refinación natural de un hidrocarburo del petróleo cuyos constituyentes volátiles se evaporaron al ponerse en contacto con el aire debido a un fenómeno de migración del petróleo a la superficie terrestre a través de fisuras y rocas porosas.

El material es una mezcla asfáltica natural. El crudo de petróleo que existió en esta zona en algún momento, ascendió y sufrió un proceso lento de Refinación Natural y a la vez fue impregnando el suelo totalmente. Los estudios especializados que se han realizado al material demuestran que es un material apto para usos viales ya que sus propiedades naturales son similares a las de un asfalto que ha pasado por refinación industrial.

Este tipo de productos reciben en Colombia el nombre de Asfaltitas.

Cada día se evidencia que las vías son las principales obras que impulsan al desarrollo de una región. La conectividad de las redes viales (Red Vial Primaria, Red Vial Secundaria y Red Vial Terciaria) en Colombia es una razón por la cual se ha frenado la dinámica y la evolución de diferentes mercados y sectores industriales, esto se debe principalmente al mal estado actual de la infraestructura en el país, el cual dificulta los desplazamientos provocando a su vez aumento en costos de transporte. Países en vía de desarrollo como Ecuador o Perú logran ser mayormente competitivos en temas de infraestructura refiriéndonos tanto a la red primaria como a la secundaria y esto sin duda alguna produce que la competitividad de una región sobresalga sobre otras.

De acuerdo a un estudio realizado por el Banco Mundial sobre el desarrollo de la infraestructura en Colombia, si bien los montos de inversión en infraestructura son aún bajos incluso en el contexto latinoamericano, sobresalen por ser inversiones que históricamente han sido mucho más estables a lo largo del tiempo. Se destacan

también otros dos aspectos: el primero, la constante participación tanto del sector público como privado en los proyectos de infraestructura del país; y el segundo, que el país ejecuta un número importante de proyectos de inversión de infraestructura social (por encima del promedio de los demás países) pese a sus condiciones económicas y geográficas. Como consecuencia de estas inversiones debería ir de la mano la articulación de las redes secundarias que finalmente son las que realizan el papel de vías colectoras para las autopistas de cuarta generación.

Con el asfalto natural se ofrece una alternativa de Mantenimiento, Mejoramiento y Construcción de Vías para Medio y Bajo Nivel de Tránsito. Ventajas económicas y ambientales que se dan con el aprovechamiento de un producto natural.

El marco comparativo que se plantea proponer puede servir de guía de referencia para el incentivo del uso y a su paso de herramienta de diseño para las diferentes soluciones a vías que permitan el uso del material.

Este tipo de materiales a partir de la expedición de la resolución 10099 del 27 de diciembre del año 2017 cuenta con la normatividad requerida para permitir su uso en vías de bajo tránsito. El INVIAS a partir de la publicación de estas especificaciones técnicas busca incluir una nueva alternativa al mejoramiento de vías de bajo tráfico en el país y de esta manera contribuir a la optimización de recursos.

La infraestructura vial es, sin lugar a dudas, el motor de desarrollo del cualquier país, estas inversiones resuelven el problema de aislamiento de algunos territorios, tienen alto impacto en el crecimiento de la agricultura, reducen la pobreza, mejora el control estatal de problemas como cultivos ilícitos y minería ilegal, promueven la inserción económica y social de millones de personas, promueve la productividad de las regiones y disminuye costos de producción. La conexión de las redes viales, primarias, secundarias y terciarias, son fundamentales en la dinámica y evolución de los mercados internos y externos, como en su desarrollo industrial. Con el asfalto natural y sus avances técnicos en materia de investigaciones académicas, pruebas

de laboratorio, modelos a escala y la experiencia en vías construidas se ha materializado el perfeccionamiento para su uso y aplicación frente a otras metodologías de pavimentación, como el asfalto de refinería. Salta como por encanto esta mezcla asfáltica como una alternativa de mantenimiento y mejoramiento de Vías para Alto, Medio y Bajo nivel de Tránsito, con notorias ventajas económicas y de impacto ambiental, que sólo se dan con el aprovechamiento de este producto natural. Ventajas económicas que se ven reflejadas en los reducidos costos del material frente a la mezcla asfáltica convencional, menor consumo energético al momento de la instalación al ser un material de aplicación en frío, Inutilizando el uso de equipos especializados en la instalación. También se mencionan ventajas de reducción de impacto ambiental al no requerir uso de explosivos para su explotación, el almacenamiento del material no produce lixiviados contaminantes y no requiere de ligantes adicionales provenientes de los hidrocarburos pues su contenido de asfalto propio es suficiente.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El asfalto convencional genera presión sobre el medio ambiente, demandando altos volúmenes de recursos no renovables y generando alto consumo de energía al necesitar altas temperaturas para su instalación y compactación, resultando en un impacto ambiental elevado.

2. JUSTIFICACION

En Colombia existen yacimientos de asfaltos naturales que podrían ser mayormente utilizados, actualmente se conocen 4 minas legalmente constituidas ubicadas en el departamento de Boyacá, Casanare, en el departamento uno de estos es el caso de la Mina La Milagrosa ubicada en el municipio de Norcasia, Caldas.

En el marco del Plan Piloto del Putumayo, en el cual se evalúan nuevas tecnologías para vías de bajos volúmenes de tráfico se ha proyectado el uso de Asfalto Natural proveniente de Norcasia, Caldas. Esto como consecuencia de los buenos resultados que se han observado desde el momento de la instalación y posterior evaluación en el cual la Universidad de Antioquia monitoria trimestralmente tomando No obstante lo anterior, se hace necesario un estudio exhaustivo que permita identificar el uso de asfalto natural como una alternativa vial para su óptimo aprovechamiento generando un incremento del costo beneficio en el desarrollo de este tipo de proyectos para vías de bajo tráfico vehicular, profundizando en las principales propiedades mecánicas del material como Resistencia a la compresión inconfiada RCI, CBR, módulos dinámicos, índice de ahuellamiento, fatiga del material, adhesividad con los agregados pétreos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar las características físico-mecánicas del asfalto natural para implementar su uso en mantenimientos, rehabilitación y pavimentación de vías con bajos volúmenes de tráfico.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar las propiedades mecánicas de una base estabilizada con mezcla asfáltica natural para la implementación adecuada en la red vial terciaria del país.
- Comparar las características de la mezcla asfáltica natural de Norcasia, Caldas con la mezcla asfáltica convencional proveniente de la industria petrolera.
- Determinar la posibilidad de uso en subbases, bases y rodaduras de vías terciarias y la importancia en el desarrollo de la infraestructura vial de este tipo de materiales en Colombia.

4. MARCO TEORICO

4.1. GENERALIDADES SOBRE LOS ASFALTOS NATURALES.

El término “asfalto natural”, se aplica a todos aquellos materiales, encontrados en la naturaleza, que contienen alguna proporción de crudos de petróleo en forma sólida o líquida. De aquí surge una gran cantidad de fuentes de material que al igual que los crudos súper pesados tienen muy poca aplicación industrial, y aun cuando contienen ciertos porcentajes de solventes su procesamiento costoso, comparado con la baja rentabilidad que podrían brindar los productos de refinación.¹ A pesar de que el asfalto producido por la industria petrolera resulta ser prácticamente de los residuos que deja la fabricación de combustibles, el tratamiento en plantas de asfalto, su viscosidad y la necesidad de escalar altas temperaturas para su manejo e instalación dejan en desventaja este tipo de materiales frente a los asfaltos naturales económicamente hablando.

4.1.1. En el mundo. En muchos lugares como Canadá, Venezuela (cuenta con el lago de asfalto natural más grande del mundo), Trinidad y Tobago, Estados Unidos, se encuentran fuentes de materiales de esta clase y se están empezando a ver como fuentes potenciales de energéticos gracias a la escasez de los crudos de refinación convencional. Son muy conocidas las minas de arena asfalto de Alberta Canadá y las fuentes del Orinoco de Venezuela que se encuentran en vastas extensiones de tierra ocupando muchos tipos de formaciones geológicas y combinándose con arcillas, arenas, rocas, agua y materia orgánica circundante.²

¹ VILLAMIL ROJAS, Robinson. El Asfalto Natural de Construcción de carreteras. Universidad Católica de Colombia. Bogotá. D.C., 2008. p.12.

² *Ibíd.*, p.13.

4.1.2. 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 88.744.800 hectáreas, si sabemos que el área continental colombiana es de 1.141.748 km² y 928.660 km² de área marítima, es decir de las 207.040.800 hectáreas con que dispone el territorio colombiano cerca del 40% corresponde a cuencas sedimentarias en las que se pueden encontrar hidrocarburos, las cuencas sedimentarias y las fuentes más reconocidas 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 inferior
- Cuenca Patía
- Cuenca Amazonas
- Cuenca Putumayo
- Cuenca Ranchería - Cesar

Dentro de estas cuencas, encontramos fuentes de asfalto natural en: Santander (Río Negro, Lebrija, San Vicente y Vélez); Putumayo (Vendeyaco, Cedrales); Boyacá (Tuta, Pesca, Tópaga, otros), Cundinamarca (Macheta, La Palma, Yacopí), Caquetá (Doncella, pavas, las perlas, los cuervos, Puerto Rico, otros); Guaviare (El Capricho), Cesar (San Alberto); Caldas (Norcasia); Tolima (Armero) y Crudos pesados, en castilla, la Gloria, rubiales, Gaván. Estas son solo un ejemplo de las diversas fuentes naturales que se diseminan por la mayor parte de la geografía

nacional, se han contabilizado cerca de cuarenta fuentes de asfaltos naturales y varios yacimientos de crudos superpesados.³

La aplicación actual del Asfalto Natural, en la actualidad 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 trituración para obtener una mezcla favorable para su colocación y su homogeneidad para lograr un terminado o superficie con la menor cantidad de vacíos posibles y garantizar su vida útil. Empresas privadas se dedican actualmente a la construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, implementando el uso del Asfalto Natural o MAPIA (Material Pétreo Impregnado de Asfalto) como es conocido comercialmente.⁴

4.2. ASFALTOS CONVENCIONALES

4.2.1. Propiedades físicas. El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción del calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existes en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura en la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.⁵

³ *Ibíd.*, p.14.

⁴ BEDOYA LÓPEZ, Jhon Mario. Asfalto natural modificado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. D.C, 2012. p.19.

⁵ ANGULO RODRÍGUEZ, Ricardo Alberto y DUARTE AYALA, José Luis. Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2005. p.3.

4.2.2. Composición química. Es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación. Al igual que el petróleo crudo, el asfalto, es una mezcla de numerosos hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos.

La mayoría de los hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación, quedando los más pesados y de moléculas complejas. Al eliminar los hidrocarburos más ligeros de un crudo, los más pesados no pueden mantenerse en disolución y se van uniendo por absorción a las partículas coloidales ya existentes, aumentando su volumen dependiendo de la destilación que se les dé.

Las moléculas más livianas constituyen el medio dispersante o fase continua.

Los hidrocarburos constituyentes del asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de hidrocarburos pesados (asfáltenos) se encuentran hidrocarburos saturados, resinas y aromáticos, sin que exista una separación entre dos fases sino una transición.

4.2.2.1. Asfáltenos. Son moléculas asociadas, altamente polares, solubles en benceno, CCL₄ y CS₂, e insolubles en n-alcanos de bajo peso molecular, tales como hexano y heptano. Los asfáltenos en n-alcanos de bajo peso molecular, tales como hexano y heptano. Los asfáltenos son sólidos amorfos negros o marrones que contienen carbono, hidrogeno, azufre, nitrógeno, oxígeno y metales pesados como vanadio, níquel y hierro. Los átomos de azufre y oxigeno actúan como enlace entre los grupos anillados.

4.2.2.2. Saturados. Son líquidos incoloros compuestos de cadenas lineales, ramificadas con tazas de ciclo parafinas Los hidrocarburos saturados actúan como antioxidantes e impermeabilizantes, tienen menos poder de adherencia y causan deformidad al asfalto en pavimento. Estructuralmente los saturados son muy similares a los aceites lubricantes y su uso molecular semejante al de los aromáticos⁶.

4.2.2.3. Resinas. Son compuestos solubles en n-alcanos de bajo peso molecular y son retenidos por adsorbentes tales como la alúmina activada o tierras de fuller. Además, son líquidos viscosos de color oscuro, son muy adhesivas y son los agentes peptizantes para los asfáltenos.

4.2.2.4. Aromáticos. Son líquidos de color amarillo o rojo a temperatura ambiente, los cuales poseen estructuras que contienen anillos aromáticos mono, di y polinucleares con conjuntos condensados de anillos naftenicos y cadenas parafinitas asociadas. Tiene un peso molecular promedio entre 600-1000.

Los anillos naftenicos condensados pueden contener átomos de azufre, los cuales hacen puente entre los anillos aromáticos y naftenicos.

4.2.3. Clasificación de Asfaltos. Los asfaltos se pueden clasificar según su uso o aplicación en:

⁶ Ibíd. p.5.

4.2.3.1. Pavimentación: Mezclas cerradas (Sotne Mastic Asphalt), mezclas abiertas (Gap Graded), drenantes, base asfáltica.

4.2.3.2. Riegos: matapolvos, imprimaciones, riegos de liga, tratamientos y lechadas sellos de arena, tratamientos superficiales, Slurry Sea ,Cape Seal.

4.2.3.3. Otras aplicaciones: micro aglomerado, asfalto Espumado.

De la anterior clasificación cabe destacar que el más importante uso es sin duda, la utilización del asfalto como ligante en la pavimentación, ya que ningún otro material garantiza en mayor grado la satisfacción simultánea y económica de dos importantes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura permitiendo disminuir su espesor. ⁷

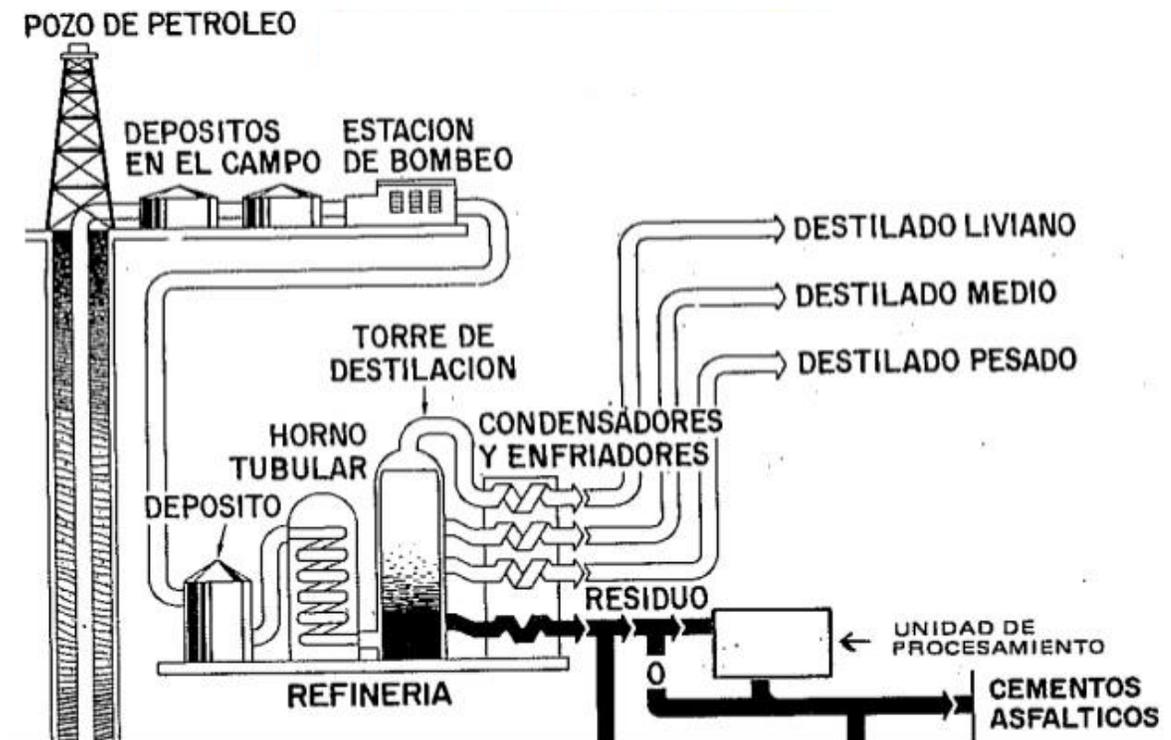
Finalmente, el asfalto le confiere al pavimento una estructura con característica flexible, que permite cierto grado de acomodo sin fisurarse, a eventuales movimientos de las capas subyacentes.

⁷ Ibíd. p.5.

5. METODOLOGIA

La construcción de una nueva carretera con asfalto convencional o el refuerzo y acondicionamiento de las existentes requiere de la explotación de nuevos materiales, así como de nuevas y mejores tecnologías; además, el alto consumo energético por el calentamiento de los componentes de la mezcla asfáltica, la emisión de gases tóxicos en su proceso de refinación como se observa en la ilustración 1, la gran cantidad de desechos que generan los pavimentos fresados y los efectos potencialmente perjudiciales a la salud, suponen un enorme y negativo impacto ambiental.

Ilustración 1. Proceso de producción del asfalto industrial (refinería)



Fuente:

Esta creciente preservación ha llevado a las diferentes administraciones de carreteras a tomar decisiones importantes para alargar el ciclo de vida de los materiales empleados en la construcción vial y buscar mejores alternativas.

Desde el punto de vista ambiental, esta nueva tecnología bien trabajada resulta sumamente interesante y beneficiosa, sin embargo, en Colombia, la MAPIA no ha sido un material comúnmente empleado hasta este momento.

La caracterización y evaluación de la mezcla asfáltica natural será realizada bajo las Normas de Ensayo de Materiales 2007, establecidas y reguladas por el Instituto Nacional de Vías INVIAS.

El desarrollo de la investigación se llevará a cabo en 4 etapas principales:

5.1. ETAPA 1. REVISION DOCUMENTAL

Revisión bibliográfica, revisión del estado del arte, investigaciones anteriores relacionadas con los asfaltos naturales y asfaltos convencionales, a nivel global y local.

5.2. ETAPA 2. DESCRIPCIÓN DEL ASFALTO

La segunda etapa estará basada en la descripción particular del asfalto natural proveniente de Norcasia, Caldas y características generales. Como parte relevante

del proceso se dará a conocer los procesos de explotación del mismo y los aspectos ambientales tenidos en cuenta para el mismo.

5.3. ETAPA 3. PRUEBAS Y ENSAYOS

Elaboración de pruebas y ensayos con el fin de conocer las propiedades mecánicas del asfalto natural proveniente de la mina en Norcasia, Caldas.

5.4. ETAPA 4: EVALUACION Y COMPARACIÓN

Evaluación y comparación técnica de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con asfaltita de Norcasia, Caldas con respecto a las mezclas asfálticas convencionales que provienen de asfaltos industrializados.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL

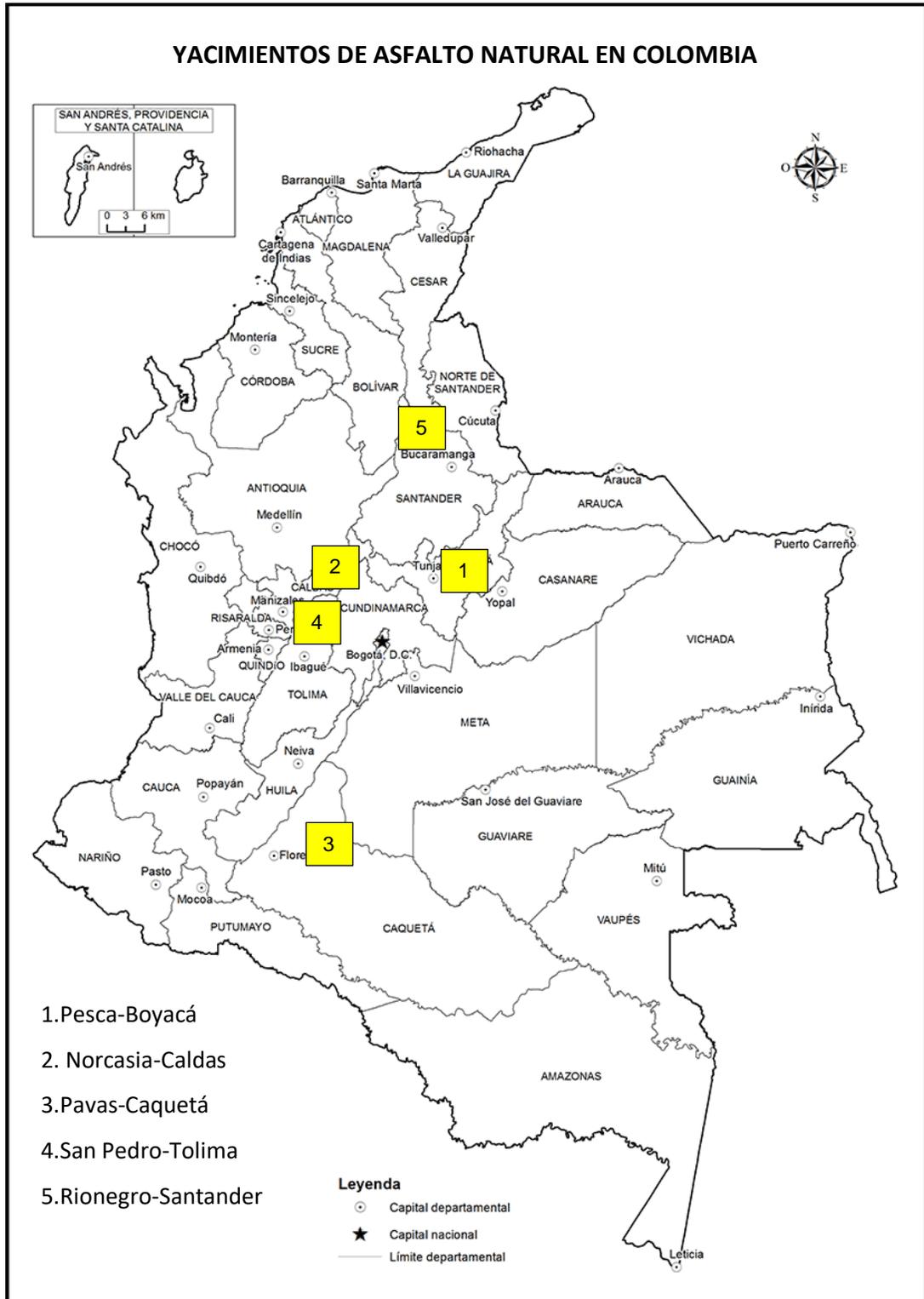
La mezcla asfáltica natural es una mezcla de agregados minerales de varios tamaños, gruesos y finos que se unen a partir de un conglomerante, en este caso la asfaltita o asfalto natural es que actúa como material encargado de proporcionar el ligante a partir de su matriz arenosa impregnada de asfalto por procesos naturales.

Los diferentes yacimientos de asfalto natural en el país tienen diferencias respecto a contenido de asfalto, tamaño de las partículas, resistencia, propiedades físico químicas, entre otras. Algunos de los más reconocidos se encuentran en la ilustración 2.

En nuestro país el uso de mezcla asfáltica natural se encuentra normalizado y cuenta con especificaciones INVIAS las cuales se adoptan mediante la resolución 10099 del 27 de diciembre del 2017 por la cual se adoptan las especificaciones particulares de construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tráfico categoría, NT1.

- ART. 321P. SUBASE ESTABILIZADA CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL
- ART. 341P. BASE ESTABILIZADA CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL
- ART. 442P. MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL

Ilustración 2. Localización de Yacimientos de asfalto natural



Fuente: Elaboración propia.

El material utilizado para la toma de muestras y producción de mezcla asfáltica natural para los ensayos presentados es proveniente del oriente de Caldas en una mina llamada La Milagrosa, que se ubica en el km 28 de la vía que conduce de La Dorada a Norcasia, y es explotada por la empresa Colombiana de Asfaltos S.A.

6.1.1. Caracterización del asfalto natural

6.1.1.1. Extracción cuantitativa de asfalto. Ensayo realizado con máquina centrífuga a partir del cual se realiza la separación del material asfáltico de la matriz arenosa del mismo.

Ilustración 3. Máquina centrífuga para extracción de asfalto



Fuente: Propia

La prueba 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.

A continuación, se presentan los resultados del ensayo y el contenido de ligante asfáltico para la muestra analizada:

Tabla 1. Extracción del contenido de asfalto

Plato	Peso de la mezcla asfáltica (g) W1	Peso del agua en la mezcla (g) W2	Peso del agregado extraído (g) W3	Peso del llenante mineral (g) W4	Contenido de asfalto (%)
1	1200,2	3,4	1078,8	4,4	9,50
2	1200,1	3,4	1076,3	5,4	9,61
3	1200,0	3,4	1079,9	4,6	9,37
PROMEDIO					9,49

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.2. Método de ensayo estándar para penetración de asfaltos

- **Equipo:** Penetrómetro Humboldt
- **Norma:** I.N.V. E - 706 (ASTM D 5)
- **Incertidumbre:** $U = 67,0 (0,1\text{mm}) \pm 2,163 (0,1\text{mm})$, con un nivel de confianza del 95 % y $k = 2,447$

Esta prueba mide la consistencia de un material bituminoso expresada como la distancia en decimas de milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente una muestra de asfalto, bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura.

Ilustración 4. Penetración de Asfaltos



Fuente: Elaboración propia.

Esta prueba mide la consistencia de un material bituminoso expresada como la distancia en decimas de milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente una muestra de asfalto, bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura.

6.1.1.3. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola).

- **Norma:** I.N.V. E - 712 (ASTM D - 36)
- **Incertidumbre:** $U = 51,4 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,601 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un nivel de confianza del 95 % y $k = 2,093$

La prueba se realiza con dos discos horizontales de asfalto, los cuales han sido vaciados en dos anillos de latón; son calentados a una rata controlada en un baño líquido mientras que cada uno soporta una bola de acero. El punto de ablandamiento es reportado como la medida de la temperatura a la cual los dos discos ablandan suficiente para permitir que cada bola, envuelta en asfalto caiga una distancia de 25 mm.

Ilustración 5. Penetración de Asfaltos



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.4. Índice de penetración de cementos asfálticos

- **Norma:** I.N.V. E – 724

Este índice concebido por Pfeiffer y Van Doormal, se calcula a partir de los valores de la penetración y del punto de ablandamiento y proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad de estos materiales a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

6.1.1.5. Ductilidad de los materiales asfálticos

- **Equipo:** Ductilímetro Humboldt MFG. CO.
- **Norma:** I.N.V. E - 702 (ASTM D 113)
- **Incertidumbre:** $U = 24,9 \text{ cm} \pm 1,195 \text{ cm}$, con un nivel de confianza del 95 % y $k = 1,968$

Ilustración 6. Ductilímetro



Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la distancia máxima en centímetro que se estira la probeta hasta el instante de rotura.

6.1.1.6. Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno

- **Norma:** I.N.V. - E – 713 (ASTM D 2042)

Con este ensayo se determina el grado de pureza de los materiales bituminosos, para lo cual se lleva a cabo la disolución de una muestra de asfalto en tricloroetileno vertiéndola a través de papel filtro.

6.1.1.7. Agua en los materiales asfálticos por destilación

- **Norma:** I.N.V.E. – 704 (ASTM D 95)

El método permite determinar el contenido de agua presente en productos del petróleo, asfalto y otros materiales bituminosos. Para ello, la muestra se calienta con un solvente inmiscible con el agua; el solvente y el agua se condensan y reciben en una trampa que retiene el agua y permite que el solvente retorne al sistema.

6.1.1.8. Viscosidad de Asfaltos por el Viscosímetro Capilar de Vacío

- **Norma:** I.N.V. E - 716 (ASTM D 2171)
- **Capilar Nº:** 400 V226; 200 V563; 200 V536; 100 V266
- **Equipo:** Viscosímetro CANNON CT – 500
- **Incertidumbre:** $U = 1443,5 P \pm 35,478 P$, con un nivel de confianza del 95 % y $k= 2,776$

Esta prueba se realiza con el fin de determinar la viscosidad de los materiales asfálticos a una temperatura de servicio de 60 °C, expresada en Poises y es necesaria para evaluar el comportamiento del asfalto a las máximas temperaturas de desempeño en el pavimento.

Ilustración 7. Viscosímetro capilar de vacío



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.9. Viscosidad cinemática de asfaltos

- **Norma:** I.N.V. E - 715 (ASTM D 2170)
- **Capilar No.:** 7 C335

- **Equipo:** Viscosímetro CANNON CT – 1000
- **Incertidumbre:** $U = 488,664 \text{ cSt} \pm 6,365 \text{ cSt}$, con un nivel de confianza del 95 % y $k= 4,303$

La viscosidad cinemática caracteriza el comportamiento de un flujo. El método es usado para determinar la consistencia de un ligante bituminoso, como un elemento para establecer la uniformidad de embarques, o de proveedores o de fuentes. Se especifica usualmente a la temperatura de 60 °C y 135 °C.

Ilustración 8. Viscosímetro Brookfield con cámara termostatazada de tipo Brookfield Thermosel



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.10. Extracción cuantitativa de asfalto a partir de mezclas asfálticas

- **Método de Extracción por Centrifuga**
- **Norma:** I.N.V. E – 732 (ASTM D 2172)

- **Incertidumbre:** $U = 5,71 \text{ \% asfalto} \pm 0,032 \text{ \% asfalto}$, con un nivel de confianza del 95 % y $k= 2,447$

La prueba consiste en extraer el asfalto de las mezclas asfálticas por medio de un solvente, utilizando una centrifuga 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.

6.1.2. Resultados propiedades físico químicas asfalto natural

Los valores de las propiedades físico químicas de las muestras de asfalto natural se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físico químicas de asfalto natural

Propiedad	Valor
Penetración de los materiales asfálticos a 25 °C, 100 g y 5 s; (0,1mm)	83,3
Ductilidad de los materiales asfálticos a 25 °C, 5 cm/min; (cm)	100+
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) (5 °C/min); (°C)	44,9
Viscosidad del asfalto con el método del viscosímetro capilar de vacío a 60 °C y 300 mmHg; (Poises)	1265,573
Viscosidad cinemática de asfaltos a 135 °C; (cSt)	224,468
Agua en los materiales asfálticos por destilación; (% volumen)	0,19
Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno; (% peso)	99,2
Índice de penetración de cementos asfálticos	-1,4
Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento - RTFOT a 163 °C y 85 min; (%peso)	-6,422
Penetración de los materiales asfálticos a 25 °C, 100 g y 5 s, al asfalto RTFO; (0,1mm)	22,3
Penetración residual; (%)	27
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) (5 °C/min), asfalto RTFO (°C)	57,8
Incremento del punto de ablandamiento, (°C)	12,9

Fuente: Corasfaltos

6.1.3. Granulometría del agregado mineral. Posteriormente de realizar el proceso de extracción del contenido de asfalto se obtiene el agregado mineral que compone normalmente más del 85% en volumen total de la muestra.

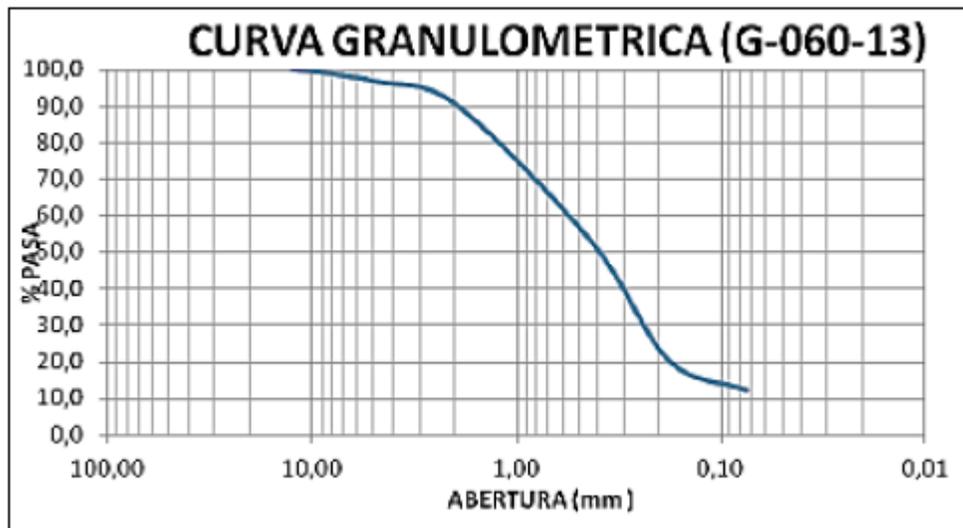
Tabla 3. Granulometría del material

TAMIZ	% PASA
↓	G-060-13-1
1/2"	100,0
3/8"	99,3
#4	96,6
#10	90,5
#40	52,4
#80	20,3
#200	12,1

Fuente: Corasfaltos

Al observar el resultado y la gráfica con la curva se puede observar que la mayor cantidad de agregado mineral pasa por la malla número 10, es decir, que el asfalto natural es su mayor proporción está compuesto por arenas finas.

Ilustración 9. Granulometría del mineral extraído



Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Estabilidad y Flujo. El objetivo principal de este laboratorio es el de conocer la estabilidad y la fluencia o deformación de probetas las cuales sacamos del pavimento ya colocado y para esto utilizamos el aparato Marshall.

La mezcla asfáltica la constituye el material pétreo convenientemente recubierto con una película de asfalto y luego sometida a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos y a su vez pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia las capas inferiores.

Para la muestra Se preparó el material para elaborar briquetas en compactador Marshall empleando una masa de 1200g inicialmente y corrigiendo posteriormente la misma para que la altura final se encuentre en el rango establecido por la norma INV-748, se proporcionan 75 golpes por cada cara con el martillo de 10 Lb. La compactación se hace en tibio, acondicionando la mezcla y los moldes a una temperatura de 110°C. En este caso se elaboraron 18 probetas, 3 por cada combinación.

Empleando el mismo concepto de la mezcla asfáltica convencional se busca que el asfalto natural mezclado con una serie de agregados pétreos, en este caso se decide realizar 6 combinaciones en diferentes porcentajes de material, con agregados provenientes de canteras cercanas al municipio de La Dorada, Caldas. Como resultado de estas combinaciones se espera tener la que mejor resultados proporciones de estabilidad – flujo para escoger como la ideal. Los materiales utilizados se definieron de la siguiente manera:

- G-060-13-1: Asfalto natural
- G-060-13-2: Triturado de 1/2
- G-060-13-3: Arena de trituración lavada
- G-060-13-4: Arena de río

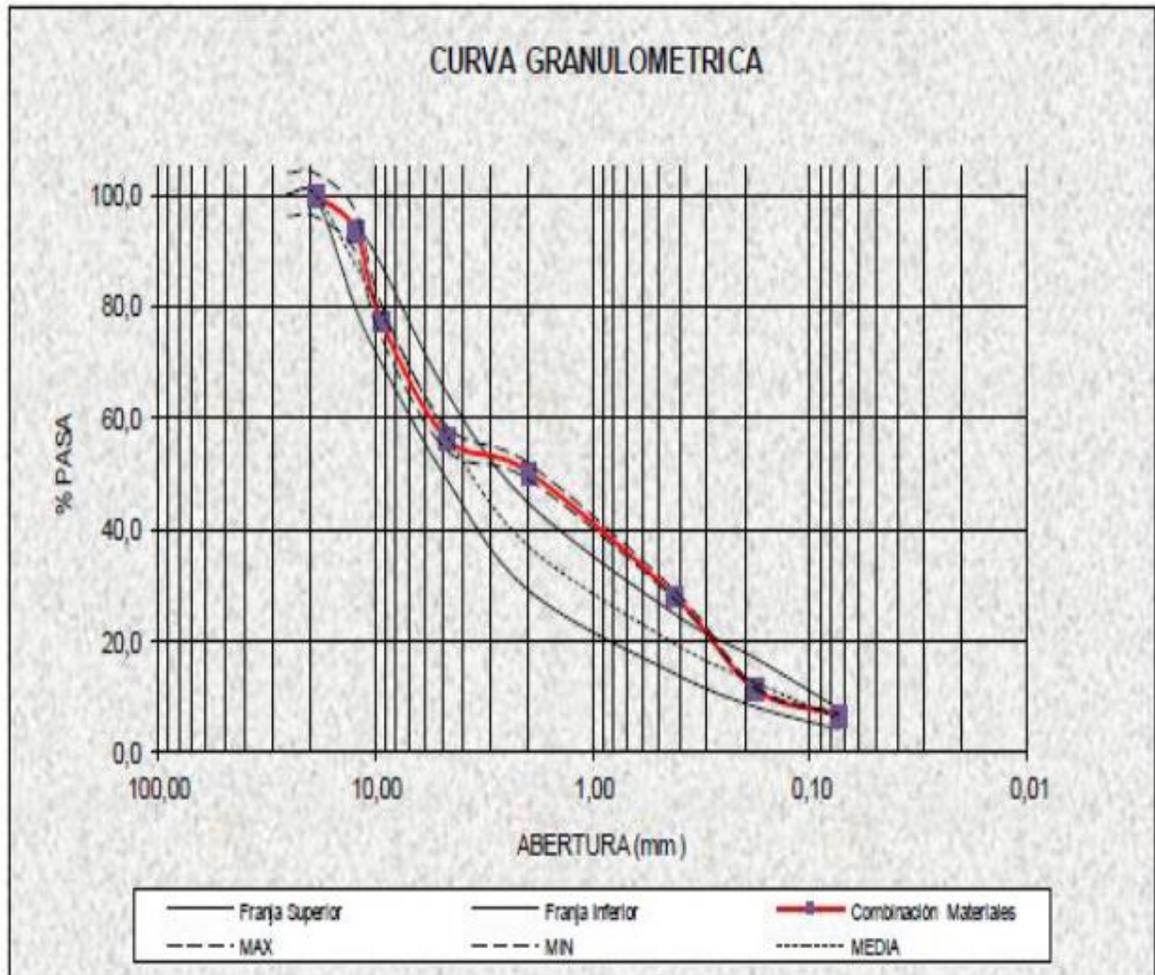
Las combinaciones del material se distribuyeron como se muestra en la tabla 4, y a cada una de estas se les realizó la granulometría y el respectivo ensayo de estabilidad flujo a las probetas.

Tabla 4. Combinaciones de los materiales

MATERIAL	COMB 1 %	COMB 2 %	COMB 3 %	COMB 4 %	COMB 5 %	COMB 6 %
G-060-13-1	45	50	50	55	55	60
G-060-13-2	45	45	35	45	35	35
G-060-13-3	5	0	0	0	0	0
G-060-13-4	5	5	15	0	10	5

Fuente: Corasfaltos

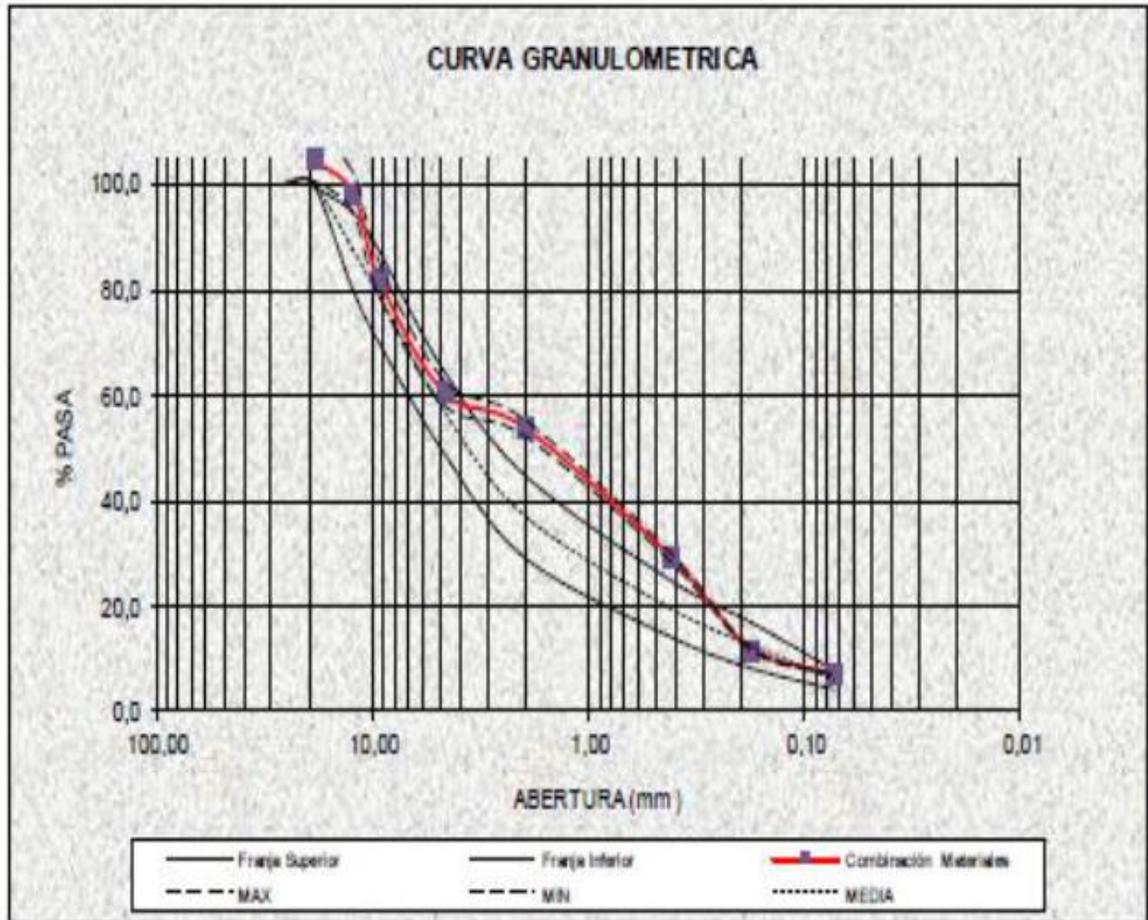
Ilustración 10. Curva granulométrica combinación 1



	% ARENA RIO	% TRITURADO	% MAPA	% ARENA DE TRITURACION	% pasa
100	5	45	45	5	
1"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
1/2"	100,0	86,0	100,0	100,0	94
3/8"	96,5	51,1	99,6	99,3	78
No. 4	85,0	8,0	97,2	96,6	56
10	68,7	3,0	91,3	90,5	50
40	24,2	2,3	51,9	52,4	28
80	6,6	1,5	21,1	20,3	12
200	2,8	1,0	12,6	12,1	6,9

Fuente: Corasfaltos

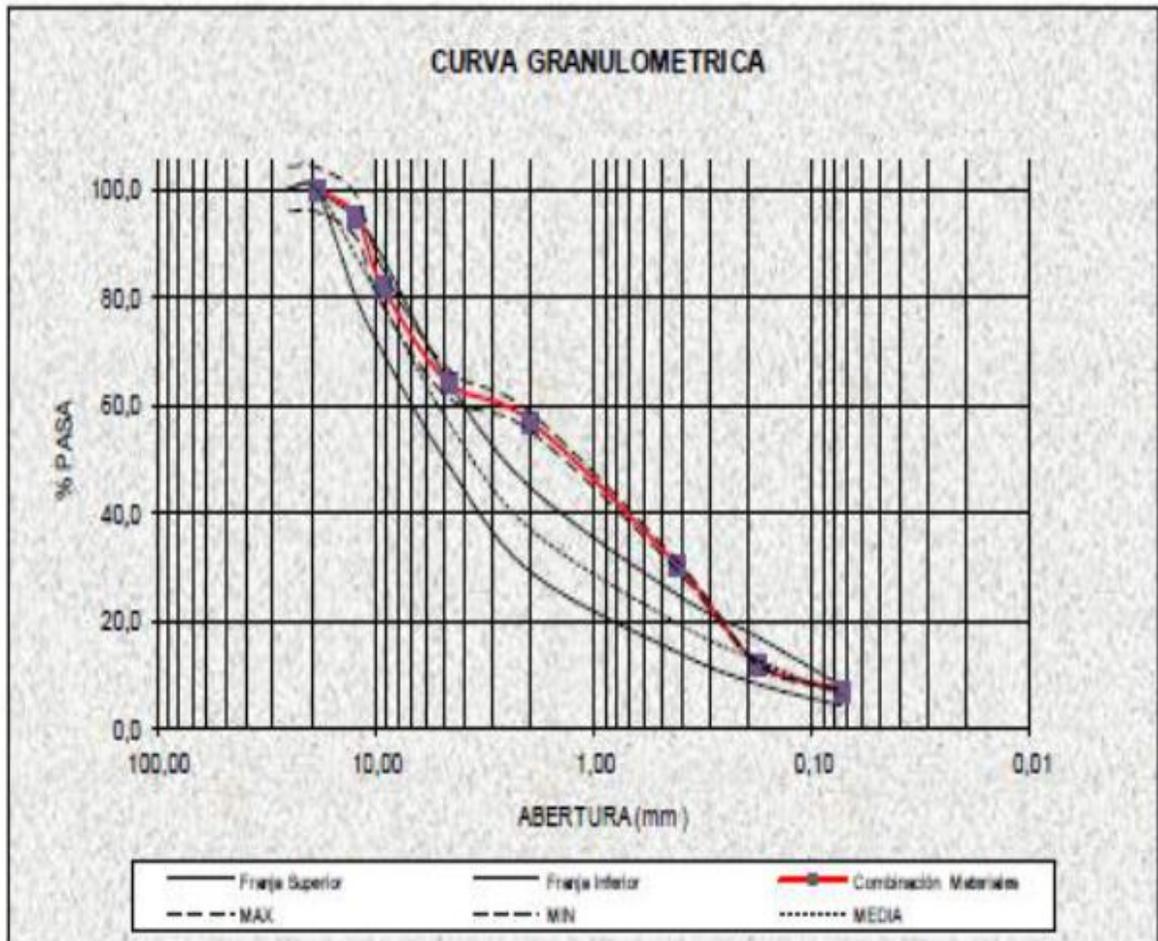
Ilustración 11. Curva granulométrica combinación 2



	% ARENA RIO	% TRITURADO	% MAPA	% ARENA DE TRITURACION	% pasa
105	10	45	50	0	
1"	100,0	100,0	100,0	100,0	105
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	105
1/2"	100,0	86,0	100,0	100,0	99
3/8"	96,5	51,1	99,6	99,3	82
No. 4	85,0	8,0	97,2	96,6	61
10	68,7	3,0	91,3	90,5	54
40	24,2	2,3	51,9	52,4	29
80	6,6	1,5	21,1	20,3	12
200	2,8	1,0	12,6	12,1	7,0

Fuente: Corasfaltos

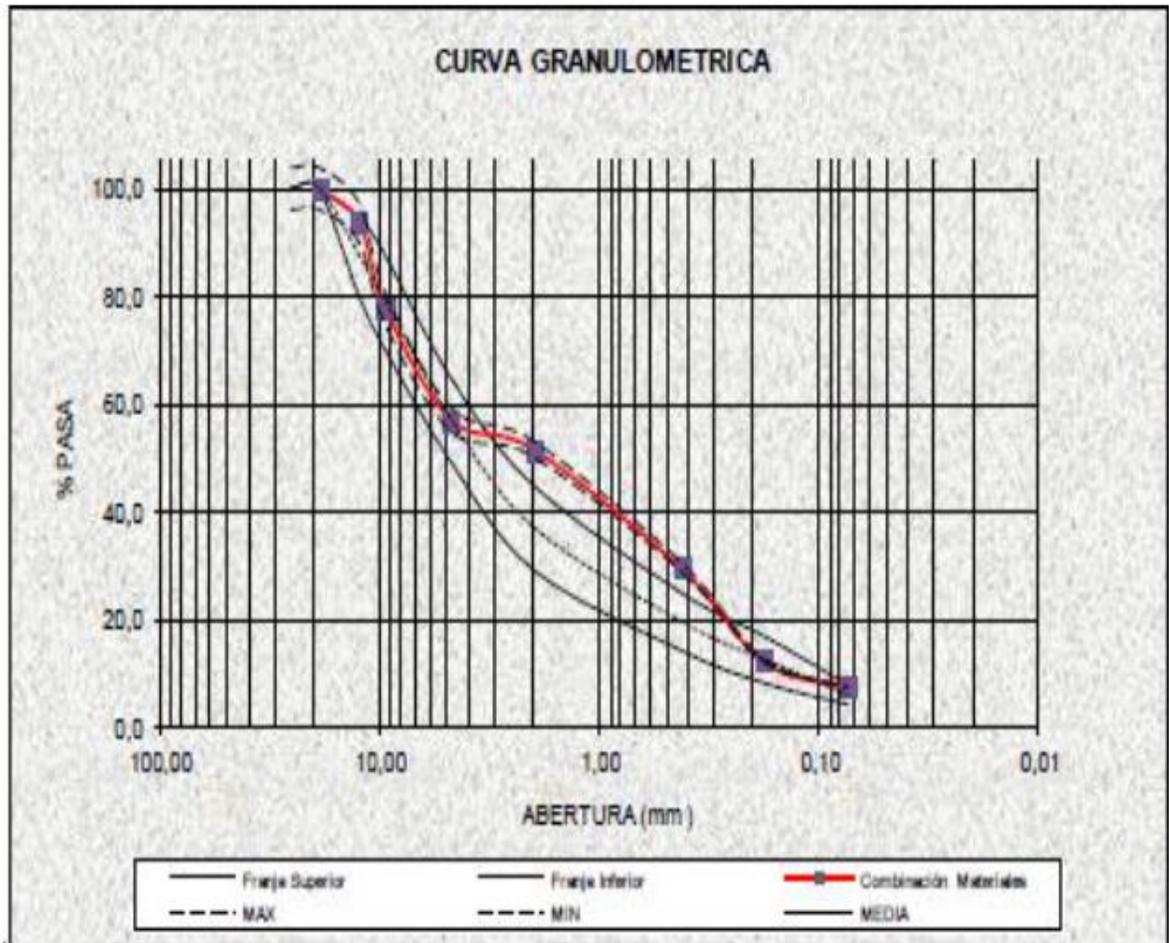
Ilustración 12. Curva granulométrica combinación 3



	% ARENA RIO	% TRITURADO	% MIPA	% ARENA DE TRITURACION	% pasa
100	15	35	50	0	
1"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
1/2"	100,0	86,0	100,0	100,0	95
3/8"	96,5	51,1	99,6	99,3	82
No. 4	85,0	8,0	97,2	96,6	64
10	68,7	3,0	91,3	90,5	57
40	24,2	2,3	51,9	52,4	30
80	6,6	1,5	21,1	20,3	12
200	2,8	1,0	12,6	12,1	7,1

Fuente: Corasfaltos

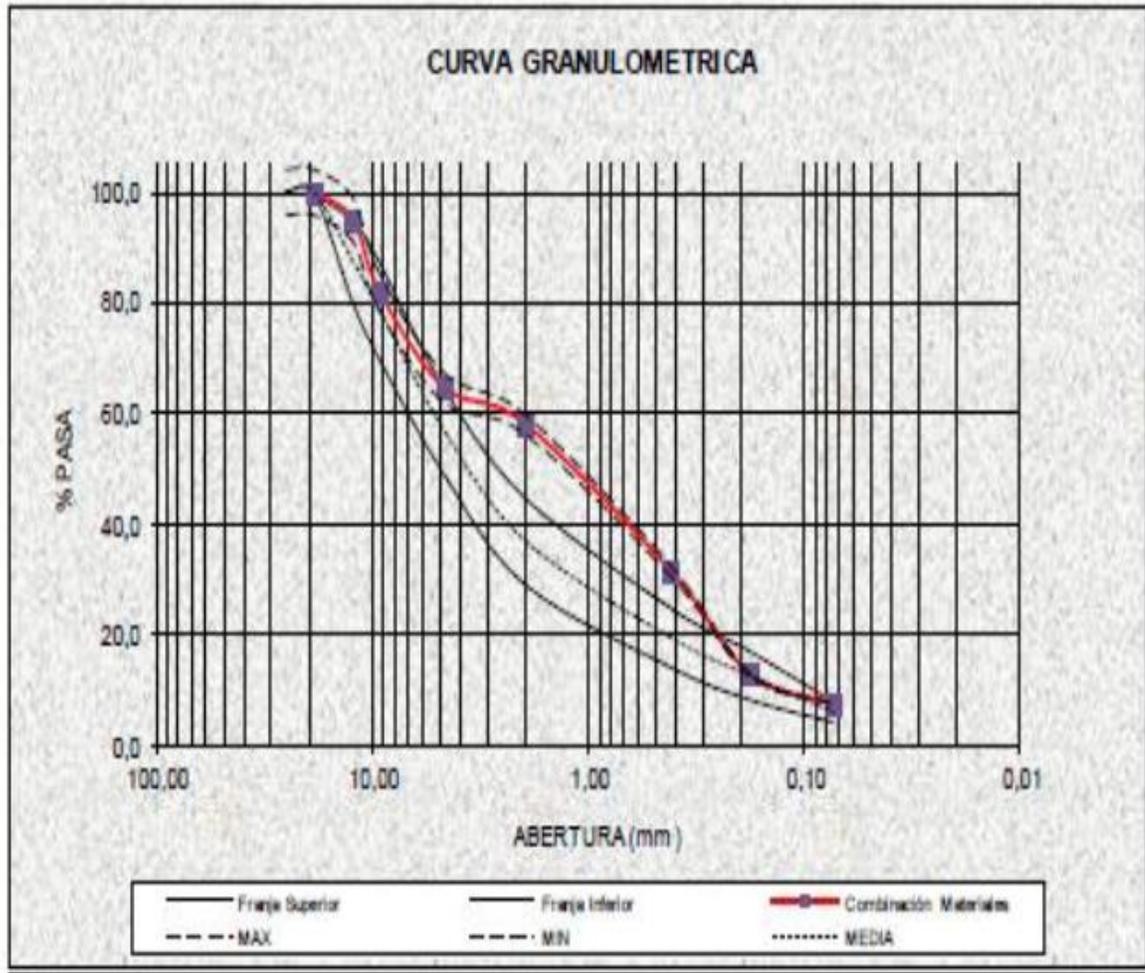
Ilustración 13. Curva granulométrica combinación 4



	% ARENA RIO	% TRITURADO	% MAPA	% ARENA DE TRITURACION	
100	0	45	55	0	% pasa
1"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
1/2"	100,0	86,0	100,0	100,0	94
3/8"	96,5	51,1	99,6	99,3	78
No. 4	85,0	8,0	97,2	96,6	57
10	68,7	3,0	91,3	90,5	52
40	24,2	2,3	51,9	52,4	30
80	6,6	1,5	21,1	20,3	12
200	2,8	1,0	12,6	12,1	7,4

Fuente: Corasfaltos

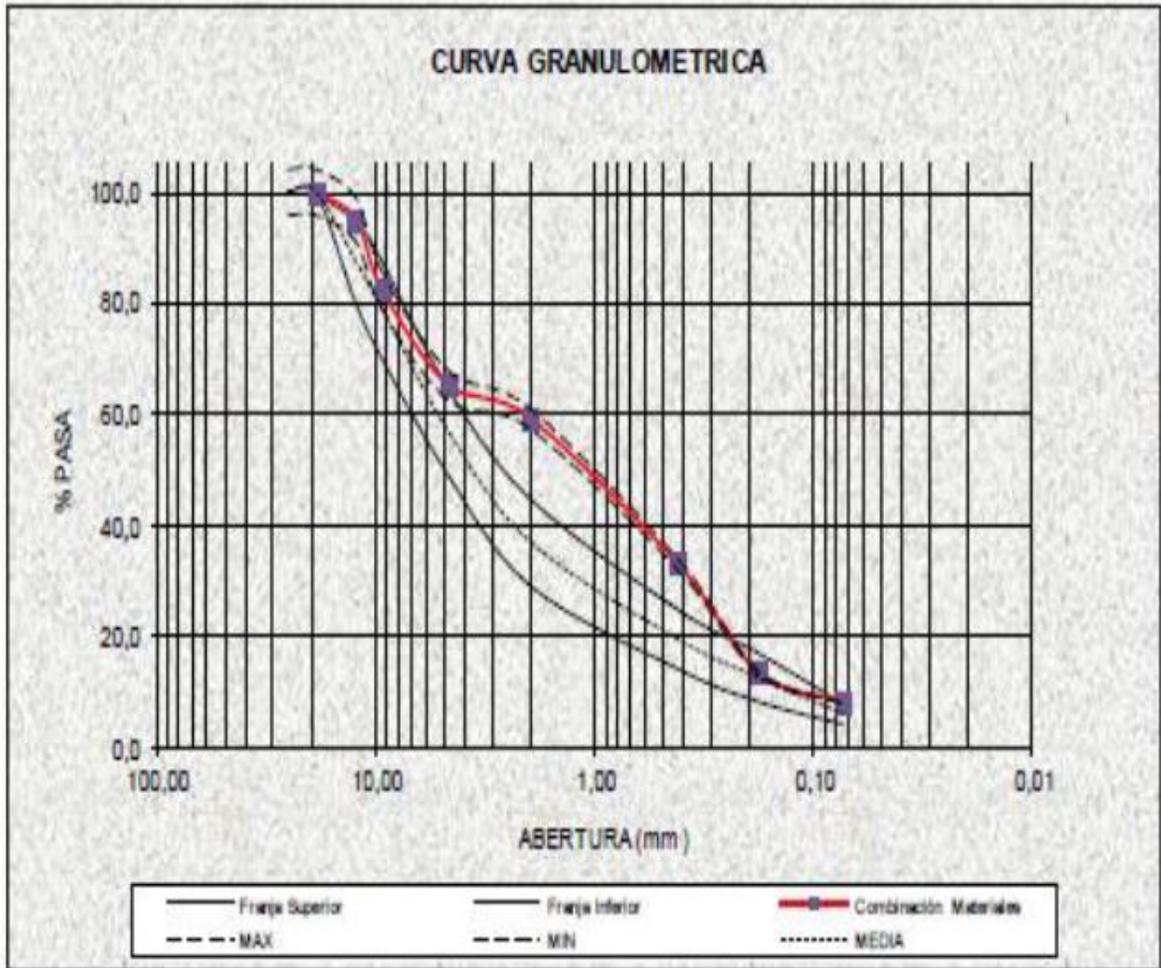
Ilustración 14. Curva granulométrica combinación 5



	% ARENA RIO	% TRITURADO	% MAPA	% ARENA DE TRITURACION	% pasa
100	10	35	55	0	
1"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
1/2"	100,0	86,0	100,0	100,0	95
3/8"	96,5	51,1	99,6	99,3	82
No. 4	85,0	8,0	97,2	96,6	65
10	68,7	3,0	91,3	90,5	58
40	24,2	2,3	51,9	52,4	32
80	6,6	1,5	21,1	20,3	13
200	2,8	1,0	12,6	12,1	7,6

Fuente: Corasfaltos

Ilustración 15. Curva granulométrica combinación 6



	% ARENA RIO	% TRITURADO	% MAPA	% ARENA DE TRITURACION	% pasa
100	5	35	60	0	
1"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100
1/2"	100,0	86,0	100,0	100,0	95
3/8"	96,5	51,1	99,6	99,3	82
No. 4	85,0	8,0	97,2	96,6	65
10	68,7	3,0	91,3	90,5	59
40	24,2	2,3	51,9	52,4	33
80	6,6	1,5	21,1	20,3	14
200	2,8	1,0	12,6	12,1	8,1

Fuente: Corasfaltos

Tabla 5. Resultados ensayo estabilidad flujo

PROBETA #	COMB	ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	Peso Seco (gramos)	CARGA MÁXIMA (N)	FACTOR DE CORRECCIÓN	CARGA MÁXIMA CORREGIDA (Kg.f)	FLUJO (mm)	RELACION Kg/mm
1	1.0	65.30	101.50	1173.90	8862.0	0.956	863.6	3.51	255
2		65.20	101.60	1167.40	7960.0	0.958	777.3	3.3	
3		65.30	101.50	1170.10	8166.0	0.950	795.8	2.73	
PROMEDIO							812.2	3.18	
1	2.0	64.70	101.60	1166.500	8980.0	0.97	887.9	2.46	331
2		65.20	101.50	1179.100	6234.0	0.958	608.8	2.55	
3		64.60	101.70	1165.500	9560.0	0.973	948.2	2.38	
PROMEDIO							815.0	2.46	
1	3.0	65.20	101.70	1168.60	7336.0	0.958	716.4	2.43	234
2		64.70	101.60	1164.00	8980.0	0.97	887.9	2.76	
3		65.60	101.50	1168.70	4735.0	0.951	459.0	3.61	
PROMEDIO							687.8	2.93	
1	4.0	64.10	101.6	1163.00	6217.0	0.985	624.2	3.04	304
2		63.50	101.6	1158.60	9358.0	1	953.9	2.64	
3		63.40	101.6	1153.90	9371.0	1.003	958.1	2.65	
PROMEDIO							845.4	2.78	
1	5.0	64.10	101.5	1158.80	7424.0	0.985	745.4	2.45	268
2		64.30	101.5	1164.50	8641.0	0.98	863.2	4.18	
3		63.90	101.5	1158.90	8446.0	0.99	852.3	2.54	
PROMEDIO							820.3	3.06	
1	6.0	64.60	101.6	1160.90	4267.0	0.973	423.2	2.70	285
2		63.90	101.6	1163.10	9123.0	0.99	920.7	2.58	
3		64.30	101.7	1167.10	8440.0	0.98	843.1	2.34	
PROMEDIO							729.0	2.56	

Fuente: Corasfaltos

A continuación, se presentan las relaciones de densidad/vacíos de la combinación No 4, la cual fue la que presentó menor valor de vacíos con aire.

Tabla 6. Relaciones densidad/vacíos combinación 4

BRIQUETA	PESO ESP. BULK	GMM	GRAV. ESPEC. BULK AGREGADO	% VACIOS CON AIRE	% V.A.M.	% V.F.A.	CARGA MAXIMA CORREGIDA Kg.f	FLUJO mm	RELACION Kg.f/mm
1	2,260	2,484	2,520	9,0	15,3	41,0	824,2	3,04	304,00
2	2,252			9,3	15,8	40,1	853,9	2,84	
3	2,258			9,1	15,4	40,8	858,1	2,85	

Fuente: Corasfaltos.

6.1.5. Módulo dinámico. Con esta prueba se determina el módulo dinámico de una probeta tipo Marshall, por medio del principio de tensión indirecta. El principio enuncia que al aplicar una carga compresiva a través del diámetro de una muestra cilíndrica, se produce una tensión sobre un diámetro ortogonal al cual se aplica la carga. Al registrar la carga vertical aplicada y la deformación horizontal producida se obtiene el módulo dinámico en unidades de mega pascales (MPa).

Con base en la prueba de tensión indirecta y teniendo en cuenta que esta prueba no es destructiva, podemos evaluar la incidencia de la temperatura en el comportamiento dinámico de la mezcla asfáltica realizando ensayo a temperaturas en un rango de temperaturas establecido, con lo cual construimos un gráfico semilogarítmico del valor del módulo en función de la temperatura, denominado curva maestra.

Los módulos dinámicos se realizaron a una (1) frecuencia (10,0 Hz) y a una (1) temperaturas (20°Celsius).

Tabla 7. Módulo dinámico

Temperatura, °C	20		
Frecuencia, Hz	10		
Núcleo	1	3	5
BULK	2,212	2,223	2,228
Módulo Dinámico (MPa)	1327	1601	1860
	1400	1633	1893
Promedio (MPa)	1364	1617	1877
Promedio, MPa	1619		

Fuente: Corasfaltos

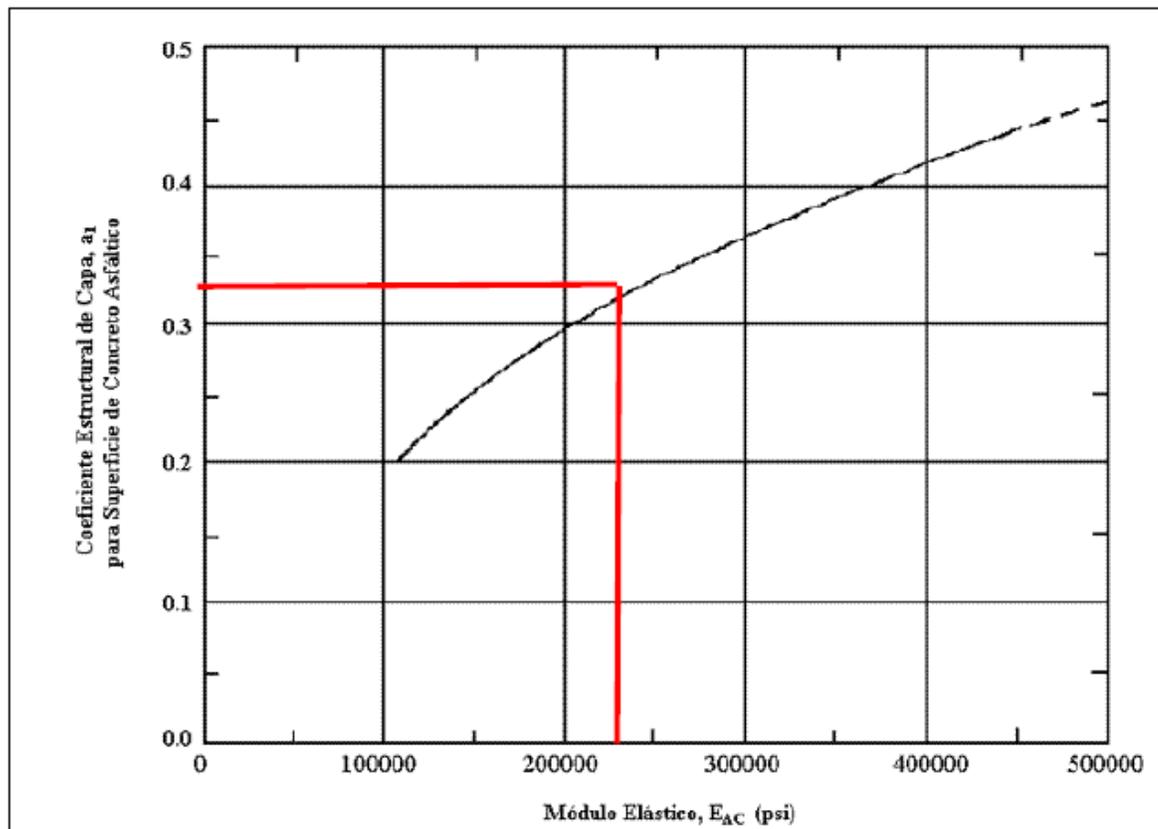
Una de las metodologías más utilizadas en el país para el diseño de pavimentos flexibles es la AASHTO 93, la cual se basa en el cálculo de números estructurales para referenciar el aporte de cada una de las capas del pavimento a la estructura general.

Para el cálculo de estos números estructurales (SN) son utilizados los nomogramas de la metodología, con los cuales a partir de ciertas propiedades de los materiales se llega a un coeficiente estructural (a) como dato de cálculo final.

En el caso de la capa de rodadura se trabaja con el módulo dinámico o módulo de Elasticidad (E) de las mezclas asfálticas. Partiendo de este concepto con el módulo obtenido para el asfalto natural en la ilustración 9 se presenta la correlación para el cálculo del coeficiente estructural a_1 para mezcla asfáltica natural.

Para el uso del ábaco de la metodología AASHTO se convierte el módulo a unidades de psi resultando 234.816 psi, lo que resulta según la figura en un coeficiente estructural de aproximadamente 0.33.

Ilustración 16. Nomograma Cálculo de coeficiente estructural a1 para mezcla asfáltica



Fuente: Pavimentos: Materiales, construcción y diseño, AASHTO 93

6.2. BASE ESTABILIZADA CON MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL

El diseño de la Base Estabilizada con Una Mezcla Asfáltica Natural (BEMAN-25), se llevó a cabo con mezcla asfáltica natural y material pétreo proveniente de la cantera Purnio, listado a continuación:

Tabla 8. Descripción de las muestras recibidas.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD RECIBIDA
<i>Triturado ¾ - Cantera Purino</i>	<i>50 Kilos</i>
<i>Arena Triturada 3/8 - Cantera Purino</i>	<i>60 Kilos</i>
<i>MAPIA – Fuente Colasfaltos</i>	<i>40 Kilos</i>
<i>Triturado ¾ - Cantera Purino</i>	<i>30 Kilos</i>
<i>Arena Triturada 3/8 - Cantera Purino</i>	<i>40 Kilos</i>

Fuente: Elaboración propia.

6.2.1. Caracterización físico-mecánica del agregado por estabilizar. A continuación se presenta un resumen de los ensayos realizados a los materiales pétreos por estabilizar y con los cuales se construirá la *BEMAN-25*:

Tabla 9. Caracterización materiales pétreos

PROPIEDAD	NORMAS INVIAS	VALOR	REQUISITO
DUREZA AGREGADO GRUESO			
<i>Desgaste en máquina de los ángeles, 500 Revoluciones (%)</i>	<i>E-218</i>	26,6	Max. 50
LIMPIEZA GRADACIÓN COMBINADA			
<i>Índice de plasticidad, (%)</i>	<i>E-126</i>	N.P	Max. 7
<i>Equivalente de arena, mínimo (%)</i>	<i>E-133</i>	56	Min. 20

Fuente: Elaboración propia

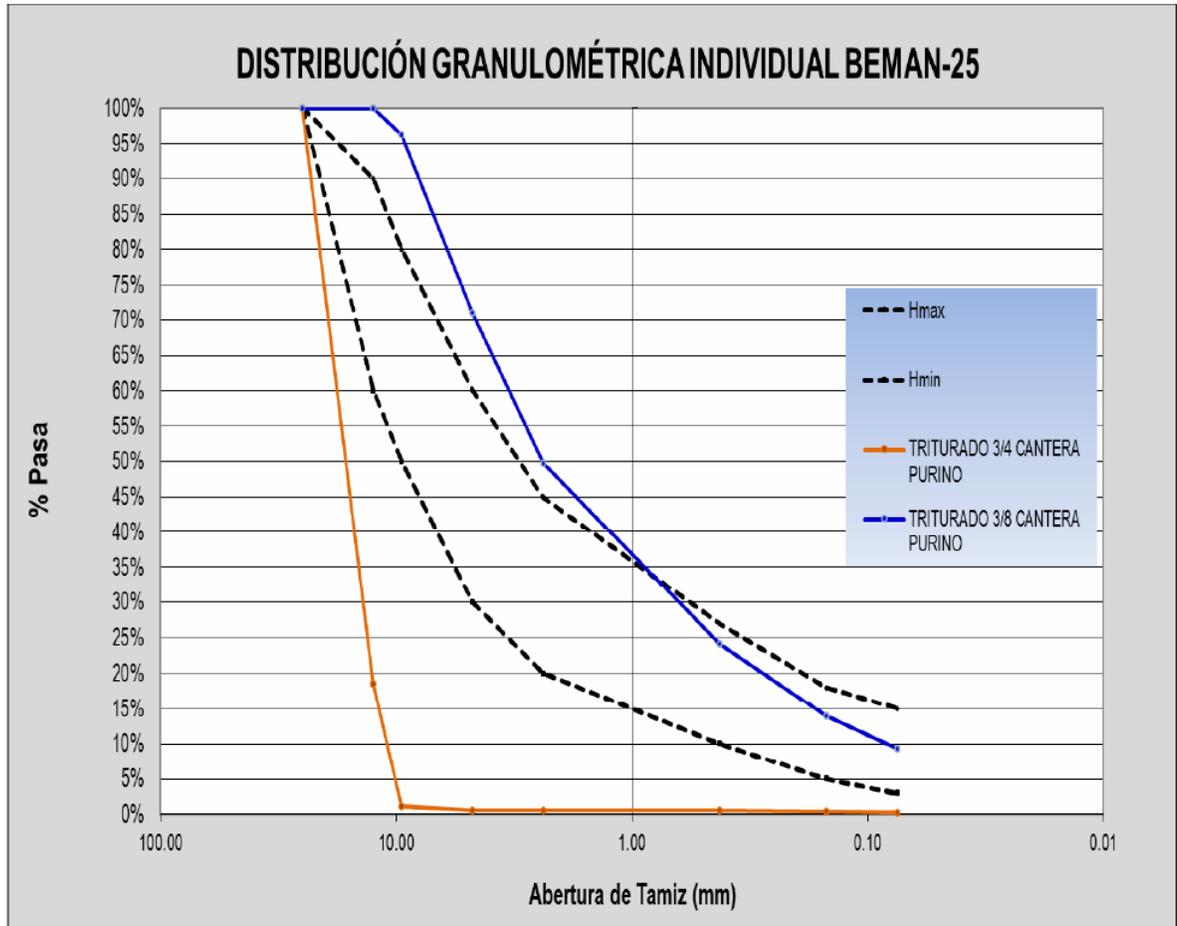
6.2.2. Análisis granulométricos materiales individuales. A continuación se representan gráficamente las gradaciones de los materiales individuales con respecto a los requerimientos de la especificación INVIAS-Artículo 341P-17.

Tabla 10. Gradaciones individuales material pétreo

PORCENTAJE QUE PASA								
TAMIZ	1"	½"	3/8"	N°4	N°8	N°40	N°100	N°200
INVIAS BEMA N-25	100	60-90	50-80	30-60	20-45	10-27	5-18	3-15
Triturado ¾" Cantera Purino	100	18,5	1,2	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
Arena Triturada 3/8" Cantera	100	100	96,3	71,0	49,8	24,2	13,9	9,3

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 17. Curvas granulométricas individuales de los agregados pétreos



Fuente: Elaboración propia.

6.2.3. Caracterización fisicoquímica mezcla asfáltica natural - (MAPIA)

6.2.3.1. Determinación cuantitativa de asfalto en mezclas asfálticas. Para determinar el porcentaje de asfalto presente en la mezcla asfáltica natural se realiza el ensayo de extracción que consiste en extraer el ligante de la mezcla. El contenido de asfalto se calcula por diferencias a partir de las masas 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 las mezclas libres de humedad.

6.2.3.2. Porcentaje de asfalto en la asfaltita o MAPIA. De las extracciones realizadas a la mezcla asfáltica evaluada en el laboratorio de MPI LTDA, se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 11. Porcentaje de asfalto residual en mezcla asfáltica evaluada.

MUESTRA	ENSAYO	PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	PORCENTAJE DE ASFALTO PROMEDIO (%)
ASFALTO TIPO 1	N1	12,4	12,5
	N2	12,6	

Fuente: Elaboración propia

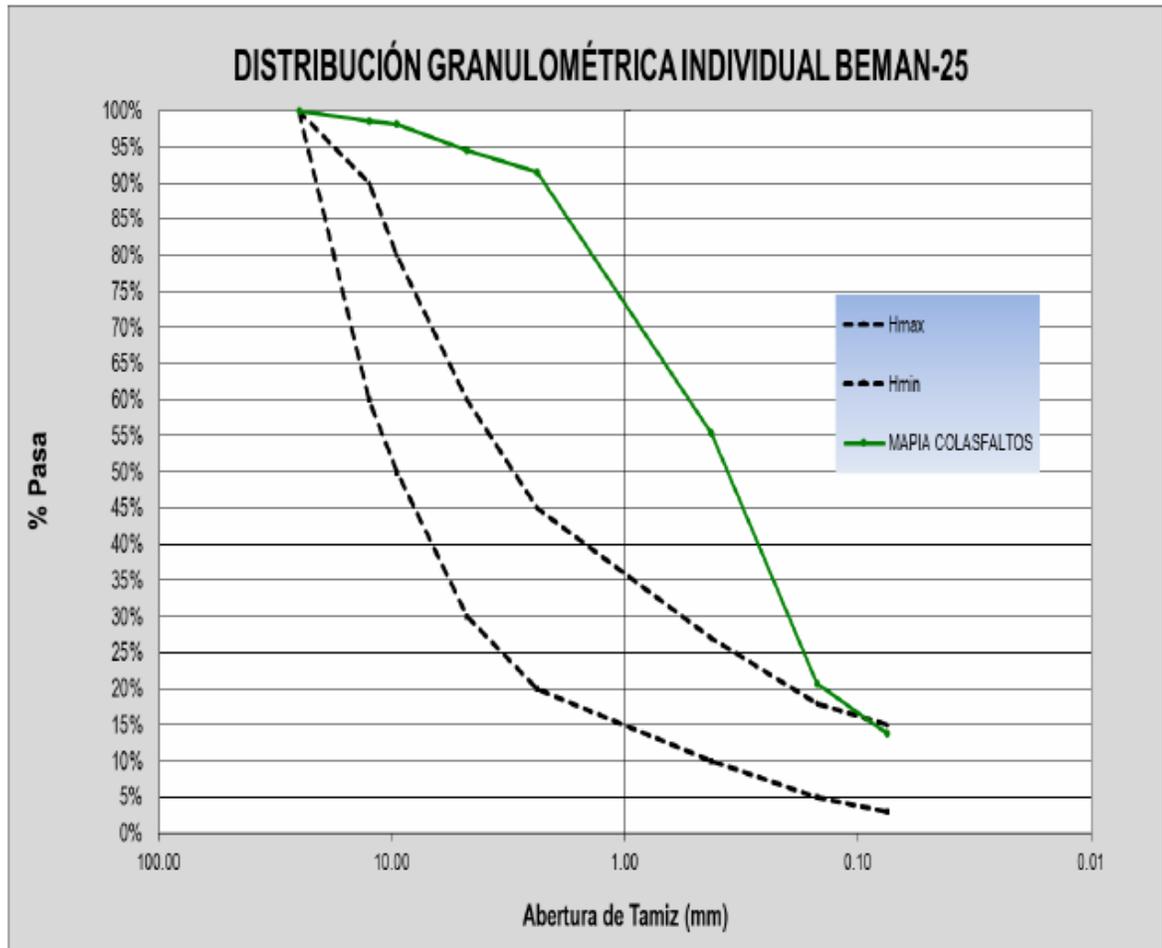
6.2.3.3. Granulometría material pétreo extraído (INVE-782). A continuación se ilustra la granulometría realizada al material pétreo recuperado del ensayo de extracción de la mezcla asfáltica y el comportamiento respecto a los requerimientos de la especificación BEMAN-25 INVIAS, Art. 371P-17.

Tabla 12. Distribución granulométrica del material recuperado

PORCENTAJE QUE PASA								
TAMIZ	1"	½"	3/8"	N°4	N°8	N°40	N°100	N°200
INVIAS BEMAN-25	100	60-90	50-80	30-60	20-45	10-27	5-18	3-15
Gradación agregados del MAPIA	100	98,7	98,2	94,5	91,5	55,4	20,7	13,9

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18. Curvas granulométricas material pétreo recuperado extracción.



Fuente: Elaboración propia

6.2.3.4. Recuperación del asfalto de una solución utilizando el rota vapor I.N.V. E – 759 – 013. Este método de ensayo se refiere a la recuperación del asfalto de un solvente usando un rota vapor, que garantiza la minimización de los cambios en las propiedades del asfalto durante el proceso de recuperación. El asfalto recuperado tiene propiedades similares a las que posee en la mezcla bituminosa y se obtiene en cantidad suficiente para efectuar pruebas posteriores.

Ilustración 19. Recuperación de asfalto en roto evaporador



Fuente: Elaboración propia

6.2.3.5. Asfalto recuperado MAPIA. Con el fin de evaluar las propiedades del asfalto presente en la MAPIA, este se extrae, recupera y posteriormente se evalúa en el laboratorio de MPI LTDA.

A continuación, se tabulan lo resultados obtenidos.

Tabla 13. Asfalto recuperado de la mezcla asfáltica natural- MAPIA

ENSAYOS	ASFALTO RECUPERADO MAPIA
<i>Penetración @ 25°C, 100 g, 5 seg, (mm/10)</i>	150
<i>Viscosidad Brookfield @ 60°C, (P)</i>	614
<i>Punto de ablandamiento °C</i>	42

Fuente: Elaboración propia

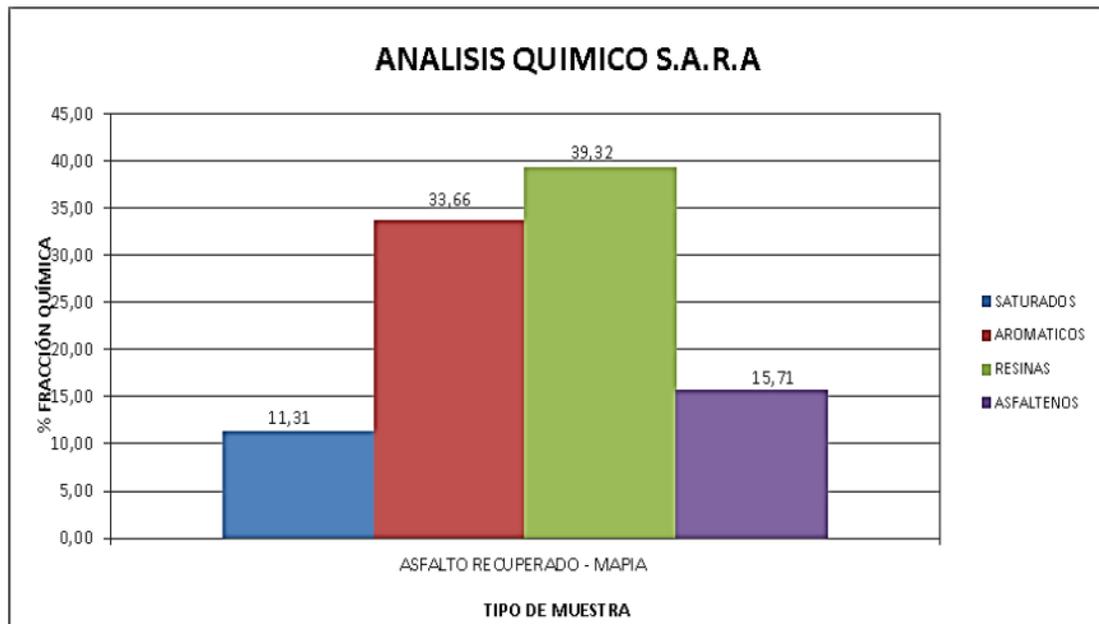
6.2.3.6. Análisis químico S.A.R.A. standard method IP-469. Método de caracterización basado en fraccionamiento, por el cual se separa una muestra en cantidades más pequeñas o fracciones, de modo que cada fracción tenga una composición diferente. El fraccionamiento se basa en la solubilidad de los componentes en diversos solvente utilizados en esta prueba. Cada fracción consta de una clase de solubilidad que contiene un rango de diferentes especies de peso molecular. En este método, se fracciona la muestra en cuatro clases de solubilidad, llamadas Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfáltenos.

Tabla 14. Resultados Análisis químico S.A.R.A.

<i>FRACCIÓN</i>	<i>NORMA DE REFERENCIA</i>	<i>SATURADOS</i>	<i>AROMÁTICOS</i>	<i>RESINAS</i>	<i>ASFALTENOS</i>
<i>Contenido (%)</i>	<i>Standard Method IP 469</i>	11.31	33.66	39.32	15.71

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20. Análisis químico S.A.R.A



Fuente: Elaboración propia

6.2.4. Determinación combinaciones granulométricas. A continuación, se tabulan y grafican las diferentes combinaciones granulométricas, así como los contenidos de asfalto obtenidos en cada una de las combinaciones, con las cuales se llevó a cabo el presente diseño.

Tabla 15. Proporciones de mezclado- contenido de asfalto

Agregados	Combinación #1 (%)	Combinación #2 (%)	Combinación #3 (%)	Combinación #4 (%)
Triturado 3/4" Cantera Purino	38	42	45	47
Arena Triturada 3/8" Cantera Purino	30	22	15	9
MAPIA Colasfaltos	32	36	40	44
Contenido de asfalto, (%)	4.0	4.5	5.0	5.5

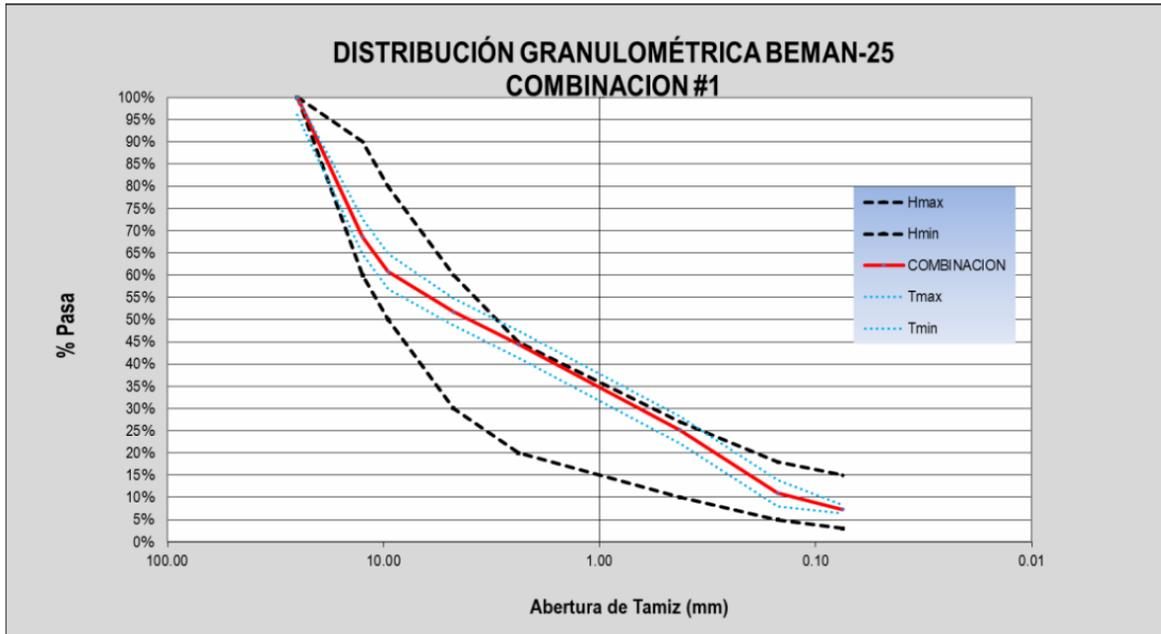
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Gradaciones individuales material pétreo

PORCENTAJE QUE PASA								
TAMIZ	1"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°40	N°100	N°200
INVIAS BEMAN-25	100	60-90	50-80	30-60	20-45	10-27	5-18	3-15
Combinación #1	100	68.6	60.8	51.8	44.4	25.2	10.9	7.3
Combinación #2	100	65.3	57.0	49.9	44.1	25.5	10.7	7.2
Combinación #3	100	62.8	54.2	48.7	44.3	26.0	10.5	7.1
Combinación #4	100	61.1	52.4	48.3	45.0	26.8	10.5	7.1

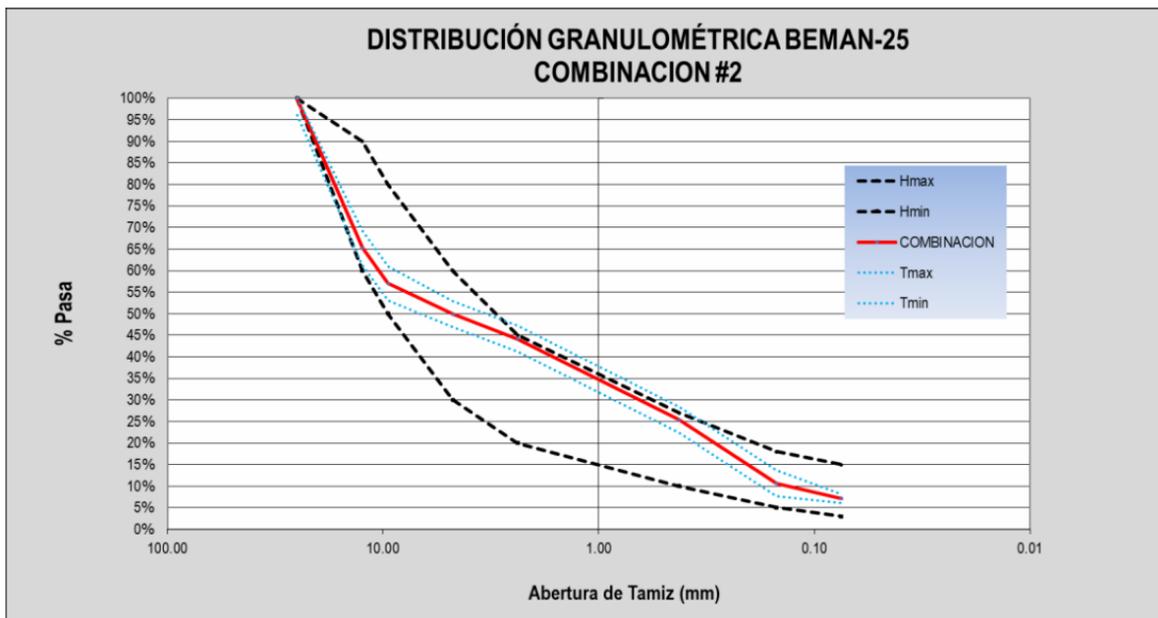
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21. Curvas granulométricas combinación #1



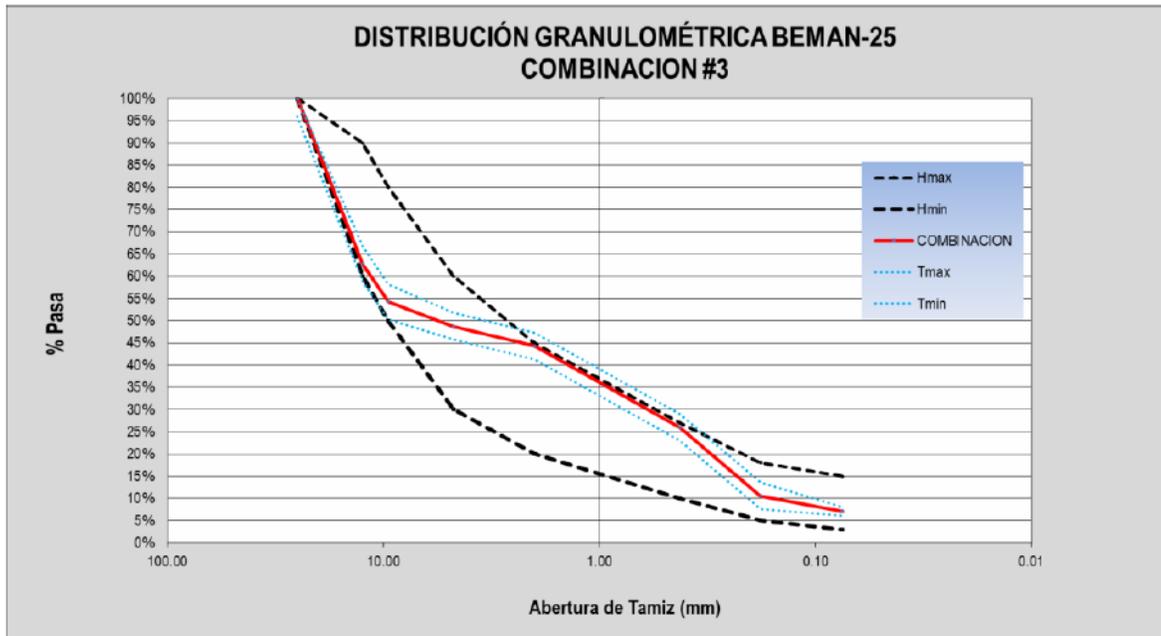
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22. Curvas granulométricas combinación #2



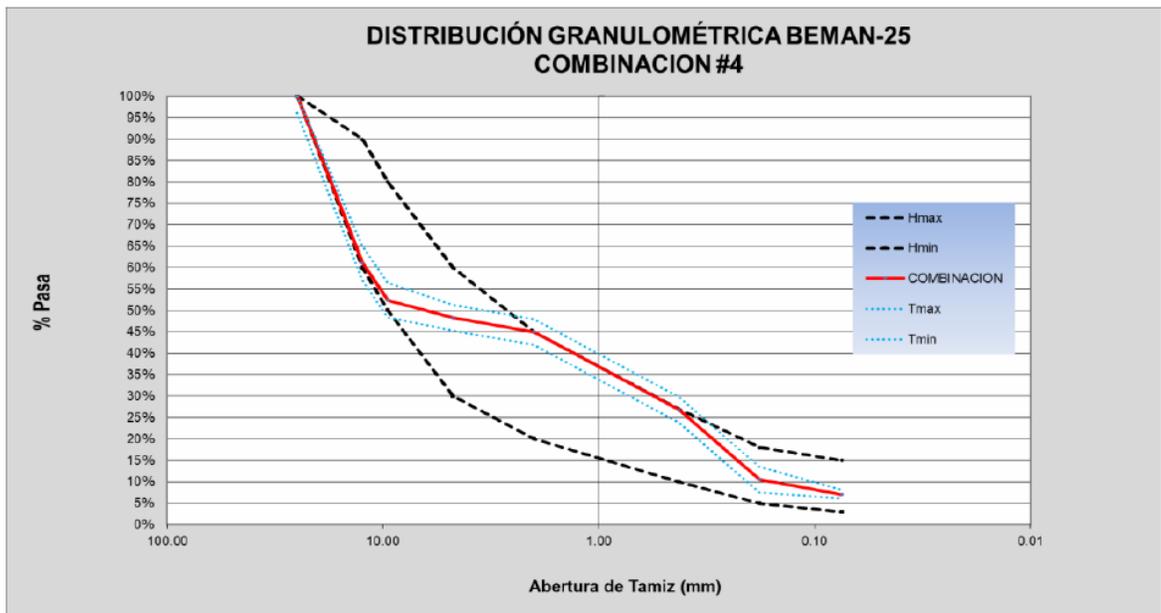
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23. Curvas granulométricas combinación #3



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24. Curvas granulométricas combinación #4



Fuente: Elaboración propia

6.2.5. Método para evaluar la resistencia

6.2.5.1. Efecto del agua sobre la resistencia a la compresión de las mezclas asfálticas compactadas (I.N.V E-622-13). La resistencia a la compresión que produce el agua sobre las mezclas asfálticas en frío compactadas se evaluó mediante el ensayo de Inmersión – Compresión (I.N.V E-622-13), este diseño es usado como indicador de la susceptibilidad a la humedad de mezclas asfálticas compactadas.

6.2.5.2. Criterios de diseño. Los criterios de diseño para el tipo de mezcla BEMAN-25, artículo 341P-17 son los siguientes:

Tabla 17. Criterios de diseño.

<i>Resistencia Seca (RS)</i>	$\geq 1,5 \text{ MPa}$
<i>Resistencia Conservada tras curado húmedo $Rc=Rh/Rs$</i>	$\geq 60 \%$

Fuente: Elaboración propia

6.2.5.3. Proceso de elaboración de las briquetas. Por cada variación de asfalto se elaboraron seis (6) briquetas, tres (3) se sometieron a un proceso de curado de 14 días al aire a temperatura de 25 °C y las tres (3) restantes se sometieron a un curado durante siete (7) días al aire a 25 °C y siete (7) días adicionales sumergidas en agua a 25 °C. Posteriormente se fallan y se registran los datos.

6.2.5.4. Propiedades mecánicas de la mezcla. A continuación se tabulan los resultados de resistencias obtenidas al evaluar la base estabilizada a los diferentes porcentajes de asfalto. Los valores recopilados en el ensayo se presentan en los anexos B,C,D y E.

Tabla 18. Propiedades mecánicas de la mezcla BEMAN-25.

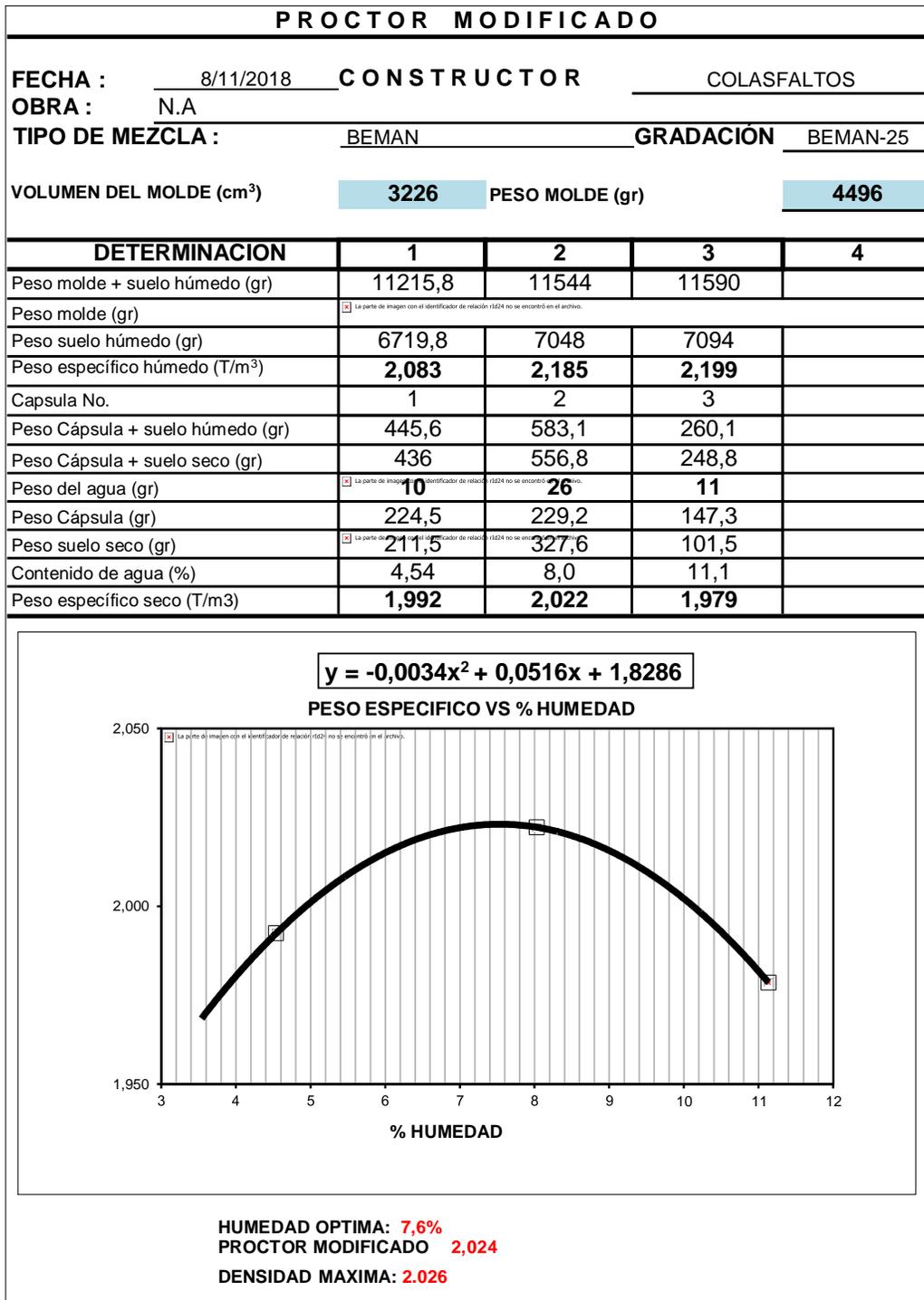
COMBINACIÓN	ASFALTO (%)	RESISTENCIA SECA,	RESISTENCIA HÚMEDA,	RESISTENCIA CONSERVADA (%)
		(MPa)	(MPa)	
1	4	0,8	0,4	50,00
2	4,5	1,2	0,5	41,67
3	5	1,4	0,8	57,14
4	5,5	1,6	1,05	65,63

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los criterios de diseños establecidos por el INVIAS en el ART 341P-17 para bases estabilizadas con una mezcla asfáltica natural, se determina que el porcentaje de asfalto en donde la mezcla cumple con el valor mínimo de Resistencia Conservada es del **5,5%** (Combinación N°4).

6.2.5.5. Determinación ensayo Proctor Modificado. Las siguientes tablas muestran el cálculo del Ensayo Proctor Modificado al material mezclado en las diferentes combinaciones para la mezcla BEMAN-25 especificación INVIAS-2013 artículo 341P-17, en los porcentajes de humedad determinados para el ensayo.

Tabla 19. Calculo del Ensayo Proctor



Fuente: Elaboración propia

6.3. MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

La mezcla asfáltica, también denominada aglomerado, en general es una combinación de un ligante hidrocarbonato y agregados minerales pétreos. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla así como el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesado intenso. Estas mezclas asfálticas pueden ser en caliente, lo más común, o en frío. Estas mezclas asfálticas pueden ser confeccionadas en plantas y con los equipos apropiados para esta labor. El proceso de fabricación de las mezclas asfálticas en caliente implica calentar el ligante y los agregados (excepto quizás el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra se realizará a una temperatura muy superior al ambiente (Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-3, art. 542 y 543).

Las mezclas asfálticas tienen que cumplir los siguientes criterios para ser utilizables en firmes:

- Resistentes a las cargas del tráfico (tanto a la abrasión, como al asentamiento vertical, como al despegue por los neumáticos)
- Impermeable, ya que si el agua penetra por debajo del firme se filtrará al cimiento de la carretera, desestabilizándolo.
- Debe poderse trabajar con facilidad y su puesta en obra factible.

6.3.1. Mezcla de hormigón en caliente. Son producidas por el calentamiento del aglutinante asfáltico, lo que disminuye su viscosidad, y permite mezclar el material con el agregado de áridos. La mezcla se realiza a 150 °C para el asfalto puro, y a 160 °C si el asfalto está modificado con polímeros. La extensión y el compactado tienen que realizarse mientras el material está caliente. En muchos países el asfalto se restringe a los meses de calor porque en invierno la base compactada puede estar demasiado fría para realizar la operación. Es el material más empleado en carreteras, autopistas, aeropuertos y pistas de carreras.

En nuestro país el mayor porcentaje de las vías están construidas como pavimentos flexibles utilizando mezcla asfáltica en caliente, este tipo de materiales son comunes y aunque está en auge el uso de nuevos tipos de mezclas, como asfalto espumado o asfaltos modificados, la gran mayoría de nuestra infraestructura vial se encuentra construida como mezcla densa en caliente convencional.

Las propiedades de estos materiales varían, dependiendo de las zonas del país, condiciones geográficas, fuentes de materiales, entre otras. Sin embargo, se recolecta la siguiente información sobre los módulos del concreto asfáltico más comúnmente utilizados por los diseñadores y constructores en el país.

Tabla 20. Valores típicos de los módulos de capas de pavimentos asfálticos

Material	Rango (PSI)		Rango (Kg/cm ²)		Rango (Mpa)		Valor típico		
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	PSI	Kg/cm ²	MPa
Concreto asfáltico*	200000	450000	14061	31638	1379	3103	350000	24607	2413
Base estabilizada con asfalto*	100000	400000	7031	28123	689	2758	200000	14061	1379
Base estabilizada con cemento	500000	1000000	35153	70307	3447	6895	800000	56246	5516
Base granular	20000	50000	1406	3515	138	345	35000	2461	241
Subbase granular	10000	20000	703	1406	69	138	15000	1055	103
Subrasante	3000	15000	211	1055	21	103	7000	492	48

* Los módulos de las capas asfálticas son altamente dependientes de la temperatura
 Los valores indicados corresponden a temperaturas entre 20°C y 27°C

Fuente: Escuela Ingeniería: Ing. Fernando Sanchez Sabogal

Tabla 21. Valores típicos del módulo dinámico de mezclas de concreto asfáltico

Temperatura (°C)		Valor del módulo (MPa)		
		1 Hz	4 Hz	16 Hz
4	Promedio	8400	11200	12600
	Rango	4200-12600	6300-18900	7000-21000
21	Promedio	2100	3500	4900
	Rango	1400-4200	2800-6300	3500-7700
38	Promedio	500	700	1100
	Rango	350-1000	500-1500	700-2200

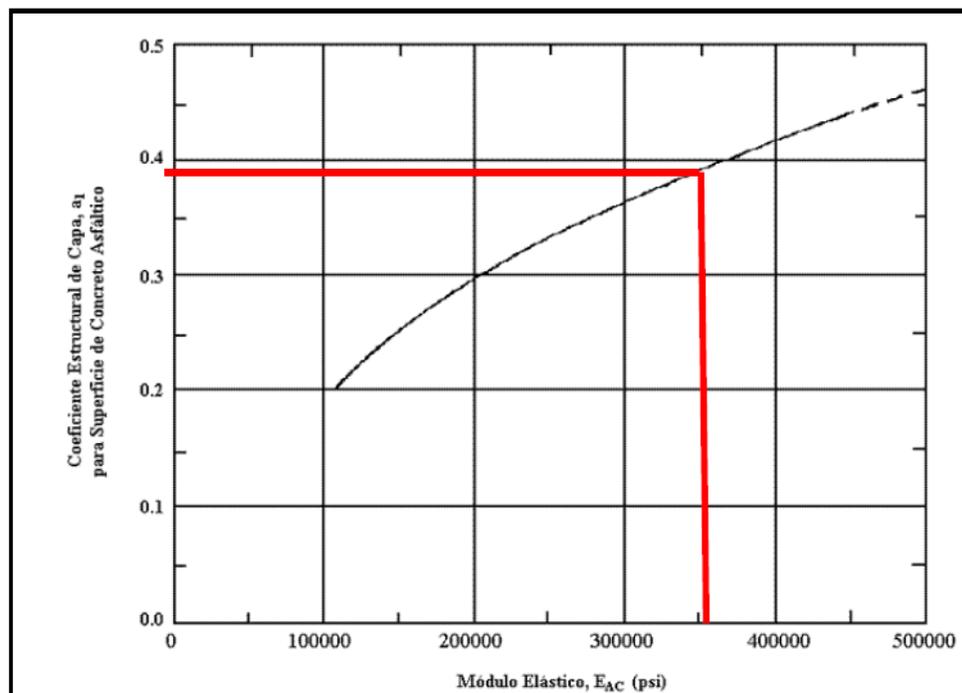
Fuente: Escuela Ingeniería: Ing. Fernando Sanchez Sabogal

Colombia al ser un país ubicado cerca al Ecuador y no tener estaciones climáticas la temperatura que se ajusta más a las condiciones de las vías del país en la de 27ª, por tanto, se toma como base para el módulo dinámico el valor de 350.000 psi.

Tomando como base este valor se ingresa al ábaco de la metodología de diseño AASHTO para encontrar el valor del coeficiente a_1 que se utilizaría en caso de diseñar la capa de rodadura con este tipo de material.

Cabe resaltar que en esta metodología el número estructural de cada una de las capas superpuestas que componen el pavimento es calculado con el modulo de la capa subyacente.

Ilustración 25. Nomograma Cálculo de coeficiente estructural a_1 para mezcla asfáltica



Fuente: AASHTO 93

6.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Basado en las comparaciones de módulos dinámicos realizados para mezcla asfáltica natural y mezcla asfáltica convencional se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 22. Modulo dinámico

Tipo de Mezcla Asfáltica	Módulo Dinámico		Coficiente para Diseño Estructural (AAshto 93)
	MPa (N/mm ²)	psi (lb/pulg ²)	a1
Mezcla Asfáltica Natural	1619	234.816	0,32
Concreto Asfáltico o Mezcla Asfáltica Convencional	2413	350.000	0,38

Fuente: Elaboración propia

7. CONCLUSIONES

- Al analizar los resultados del módulo dinámico calculado para la mezcla asfáltica natural se obtiene un valor con aproximadamente un 33% menos de Mpa, lo que quiere decir que este tipo de material natural mezclado adecuadamente con los agregados pétreos definidos según especificaciones, aunque no puede ser considerado en igualdad de condiciones al asfalto industrial, si es posible implementar su uso en vías con bajas y medias solicitaciones de carga y llegar a niveles de mejoramiento.

Tabla 23. Comparativo propiedades físico – químicas del asfalto natural- asfalto industrial

PROPIEDAD	ASFALTO NATURAL	ASFALTO INDUSTRIAL 80-100
	VALOR	VALOR
Penetración de los materiales asfálticos a 25°, 100 g y 5 s; (0,1mm)	83,3	80
Ductilidad de los materiales asfálticos a 25 °C, 5 cm/min; (cm)	100+	100
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) (5 °C/min); (°C)	44,9	45
Viscosidad cinemática de asfaltos a 135 °C; (cSt)	224,468	
Agua en los materiales asfálticos por destilación; (% volumen)	0,19	0,2
Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno; (% peso)	99,2	99
Índice de penetración de cementos asfálticos	-1,4	-1,2
Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento - RTFOT a 163 °C y 85 min; (%peso)	6,422	
Ensayos al asfalto residual, luego de la prueba de acondicionamiento en película delgada en movimiento, Norma INV E -720		
Penetración residual; (%)	27	46
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) (5 °C/min), asfalto RTFO (°C)	57,8	54
Incremento del punto de ablandamiento, (°C)	12,9	9

Fuente: Elaboración propia

A pesar de tener una diferencia de la tercera parte en cuanto a módulos dinámicos, observando las propiedades físico – químicas del asfalto natural se observa que sus características se acercan de gran manera a las de un asfalto industrial 80-100. Esta afirmación nos lleva a indagar si es posible implementar técnicas de mejoramiento que promuevan el aumento de sus propiedades y de esta manera llegar a obtener esta misma simetría en sus otras propiedades, sin restar importancia al papel fundamental que juegan los agregados pétreos para cada mezcla en particular.

Consecutivamente con la revisión de las propiedades mecánicas en la tabla 24 se presentan los resultados de estas, al comparar la relación Estabilidad-Flujo de estos dos tipos de mezclas asfálticas se observa que la mezcla asfáltica natural se encuentra por debajo nuevamente en aproximadamente un 28% respecto a la mezcla asfáltica convencional. Siendo esto algo que apoya el resultado del módulo dinámico y que ratifica que a pesar de ser un material con menores especificaciones técnicas se encuentra relativamente cerca no sólo de aumentar o mejorar sus propiedades sino también de convertirse en una gran ventana de solución a miles de kilómetros de vías de las redes de segundo y tercer orden que en Colombia necesitan este tipo de mejoramientos viales.

Tabla 24. Comparativo propiedades mecánicas del asfalto natural- asfalto industrial

MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL	BRIQUETA	Estabilidad kg.f	Flujo mm	RELACION kg.f/mm	
	1	624,2	3,04	205	309,40
	2	953,9	2,64	361	
	3	958,1	2,65	362	
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	BRIQUETA	Estabilidad kg.f	Flujo mm	RELACION kg.f/mm	
	1	1259	3,18	396	430
	2	1286	2,79	461	
	3	1354	3,12	434	

Fuente: Elaboración propia

- La Base Estabilizada con Mezcla Asfáltica Natural BEMAN es una combinación entre agregados pétreos y asfalto natural que, cumpliendo con parámetros de tamaño de partículas, resistencia inmersión-compresión y contenido de asfalto ha llegado a reemplazar las tradicionales estructuras de pavimentos conformadas por bases granulares que por mucho tiempo se han construido en las vías de nuestro país. Esta capa del pavimento en conjunto con la subbase son las principales responsables de absorber los esfuerzos producidos por las cargas dinámicas impuestas por el tráfico; al tener mayores resultados de resistencia, RCI, CBR, LWD usando la base estabilizada, puede influenciar directamente en la conservación y ampliación de la vida útil de los proyectos viales. En el último año la base estabilizada con mezcla asfáltica natural ha tenido un gran desarrollo en el sector público de la contratación, logrando de esta manera abrir las puertas a nuevas alternativas y uso de materiales no convencionales como parte de las estructuras de pavimentos flexibles y rígidos principalmente en el departamento de Caldas, es este un ejemplo claro y un importante punto de inflexión para la evolución y optimización de recursos en la infraestructura vial del país.
- Las grandes autopistas 4G construidas en la última década en el país sin duda alguna traen consigo significativo progreso para el sector transporte en el país, pero estas por sí mismas no llegan hasta los sitios desde donde nace gran parte de la economía colombiana. Actualmente se estima que el Sistema Nacional de Carreteras tiene una longitud de 215.988 km, de los cuales 17.382 (8%) hacen parte de la llamada Red de Primer Orden, gestionada por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). La Red Vial de Segundo Orden suma 44.399 km (21%) y la Red de Tercer Orden, o Veredal, cuenta con 154.207 km (71%) incluidos cerca de 12.500 km de caminos privados, los cuales están bajo la

gestión de los departamentos, los distritos, los municipios e INVÍAS. Son las redes viales de segundo y tercer orden las que cumplen el papel de vías colectoras o alimentadoras para los grandes proyectos 4G del país y es en estas redes donde la mezcla asfáltica natural podría representar el importante avance optimizando recursos económicos con una alternativa ecológica – económica.

- La mezcla asfáltica convencional o Mezcla Densa en Caliente MDC sin duda alguna ha sido siempre la principal alternativa de pavimento, no sólo en Colombia, sino a nivel mundial, su gran desempeño, flexibilidad, funcionalidad, la hacen un material idóneo y necesario en el desarrollo vial de un país pero sus altos costos de producción en muchos casos hacen que sea una utopía pensar en poder llegar a vías secundarias o terciarias con estos niveles de servicio, sin embargo, los yacimientos de asfaltitas en Colombia y sus ubicaciones geográficas en las distintas partes del país abren una gran ventana al cambio y a un posible mejoramiento de vías a nivel global.

Aunque es importante guardar diferencias entre los dos tipos de materiales, ya que según lo observado tienen desigualdades en su comportamiento, se realizó de manera estimativa un cuadro comparativo de los costos en que se incurre al instalar estos materiales donde se puede observar las grandes ventajas y la reducción hasta en un 47% en el precio de instalación de la mezcla asfáltica natural, promoviendo aún más la idea optimización de recursos públicos.

Tabla 25. Cuadro comparativo de Costos

CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL VS MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE					
CONCEPTO	UNIDAD	VALOR UNITARIO MATERIAL		DIFERENCIA %	OBSERVACIONES
		MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL		
		MDC-19	MAN-19		
Material	m3	\$ 392.700,00	\$ 154.700,00	61%	La gran diferencia entre el valor de los dos tipos de materiales radica fundamentalmente en el gran montaje, inversión e infraestructura que tiene consigo la instalación de una planta asfáltica en caliente, esto sumado a los grandes consumos energéticos y gran contaminación producida por esta. Por otra parte la producción de la mezcla asfáltica natural tiene un proceso de producción mucho más ambiguo sin dejar de ser eficiente pero mucho más económico en el cuál un cargador frontal y una motoniveladora puede llegar a producir más de 100 m3 en una jornada laboral.
Transporte	m3/km	\$ 1.100,00	\$ 850,00	23%	En el gremio transportador se conocen las exigencias, los riesgos, las solicitudes de las especificaciones técnicas en cuanto a mantenimiento de la temperatura, carpas o cubiertas adecuadas del INVIAS al transportar asfalto en caliente, son estas contingencias las que elevan el costo de realizar este movimiento de materiales. Por otra parte la mezcla asfáltica natural en frío se transporta con menor sobresalto al ser un material común de cargue.
Instalación	m3	\$ 70.000,00	\$ 30.000,00	57%	La diferencia en los costos de instalación se basa principalmente en la maquinaria especializada (Extendedora de pavimento - Vibrocompactador doble rodillo - Vibrocompactador neumático) que necesita el asfalto en caliente para su debida aplicación y compactación, sumando que estos equipos normalmente van acompañados de una cuadrilla no menor a 8 rastrilleros, mientras que al instalar la mezcla asfáltica natural se presenta la posibilidad de utilizar maquinaria menor (motoniveladora-vibrocompactador) y menor grupo de rastrilleros pues no existe la premura del descenso de temperatura del material.

Fuente: Elaboración propia

8. RECOMENDACIONES

- A manera de recomendación se podría profundizar en el estudio de las mezclas asfálticas naturales en tibio y en caliente donde por experiencia en laboratorio se ha podido observar un importante incremento en las propiedades mecánicas de este tipo de materiales al estar sometido a temperaturas entre los 100 – 130° C, obteniendo de esta manera una importante alternativa como material que forme parte de una estructura de pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- BULLA GARCIA, Y. A., RODRIGUEZ ALVAREZ, A. T., e HIGUERA SANDOVAL, C. H. Análisis comparativo de una mezcla densa en caliente MDC-19 y una mezcla densa en frío MDF-19. En: Ingenio Magno [en línea]. Tunja, Boyacá: Universidad Santo Tomas, Enero – junio de 2017. vol. 8, nro.1, p. 1 - 772. [Consultado: 10 de enero de 2019]. Disponible en <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1387/1> 283 ISSN 2422-2399.
- LANDINEZ SAURITH, Alcides J., RESTREPO PIEDRAHITA, Gustavo A. y LAZARO SUAREZ, Jerson S. Análisis físico-mecánico de mezclas densas en caliente MDC-19 con adición de tiras de geotextil de 1cm [en línea]. Trabajo de grado (Especialista en Ingeniería de Pavimentos). Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería, 2017. 83 p. [Consultado: 11 de enero de 2019]. Disponible en: Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia – RIUCaC. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14619/1/AN%c3%81LISI%20F%c3%8dSICO-MEC%c3%81NICO%20DE%20MEZCLAS%20DENSAS%20EN%20CALIENTE%20MDC-19%20CON%20ADICI%c3%93N%20DE%20TIRAS%20DE%20GEOTEXTIL%20DE%201%20CM.pdf>
- PIRAGAUTA PANTOJA, Astrid Yohana. BACCA PRIETO, Iván Eduardo. Analisis dinamico de una mezcla densa en caliente tipo 2 (MDC-19) modificada con desechos de caucho-cuero provenientes de una remontadora

de calzado – cemento asfáltico 60 – 70 y agregado de peña. [en línea]. Trabajo de grado (Especialista en Pavimentos). Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería, 2015. 62 p. [Consultado: 10 de enero de 2019]. Disponible en: Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia – RIUCaC. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2570/1/An%C3%A1lisis-din%C3%A1mico-MDC-tipo_2-modificada_caucho-cuero.pdf

- ZUÑIGA C., Rosa. Mezcla asfáltica en caliente [diapositivas]. Ministerio de obras públicas. Junio de 2015, 52 diapositivas. [Consultado: 10 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezclas%20Asfálticas.pdf>
- YEPES PIQUERAS, Victor. Elaboración de mezcla asfáltica [en línea]. Blogs UPV. Universidad politécnica de valencia. 02 de septiembre 2014. [Consultado: 10 de enero de 2019]. Disponible en internet: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/mezcla-asfaltica/>
- AGOSTOPA, Aldo F. Ensayo de estabilidad y fluencia por método Marshall. [ensayo]. Universidad técnica de Oruro. Facultad nacional de ingeniería. Carrera ingeniería civil. 9 p. [Consultado: 11 de diciembre de 2018]. Disponible en internet: http://www.academia.edu/22601938/ENSAYO_DE_ESTABILIDAD_Y_FLUENCIA_POR_EL_MTODO_MARSHALL

- LEIVA, Fabricio. Modulo dinámico de mezclas asfálticas [Modulo]. En: Laboratorio nacional de materiales y modelos estructurales. Septiembre de 2004, 14 p. [Consultado: 11 de enero de 2018]. Disponible en: http://www.lanamme.ucr.ac.cr/banco-de-informacion-digital-online/INFORMES/2004/MODULO_DINAMICO_MEZCLAS_ASFALTICAS.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. PUNTO DE ABLANDAMIENTO MATERIALES BITUMINOSOS

	CORASFALTOS				
DATOS DE ENSAYOS - PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA)					
FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-223	ORDEN DE TRABAJO:
2012	8	10			
AÑO	MES	DÍA			
			65		
CODIGO DE LA MUESTRA:			G-089-12-1		
DESCRIPCIÓN:			ASFALTO EXTRAIDO		
NORMAS DE REFERENCIA		ASTM D-36	<input checked="" type="checkbox"/>	INVE-712	<input checked="" type="checkbox"/>
CONDICIONES DEL ENSAYO		BAÑO UTILIZADO EN EL ENSAYO	Agua	X	Glicerina USP
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)= 0	t (min)= 15	t (min)= 30
			26,7	26,7	26,6
		Humedad (%)	55,0	57,0	57,0
RESULTADOS					
T1	44,8	T2	45,0	PROMEDIO (°C)	44,9
CODIGO DE LA MUESTRA:					
DESCRIPCIÓN:					
CONDICIONES DEL ENSAYO		BAÑO UTILIZADO EN EL ENSAYO	Agua	X	Glicerina USP
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)= 0	t (min)= 15	t (min)= 30
		Humedad (%)			
RESULTADOS					
T1		T2		PROMEDIO (°C)	#iDIV/0!
OBSERVACIONES:					
ELABORÓ:	NUBDALY PAOLA BUITRAGO LOPEZ	CARGO:	Profesional de laboratorio	FIRMA:	NUBDALY BUITRAGO
REVISÓ:	RICARDO JOSE CARREÑO ZAGARRA	CARGO:	Jefe de laboratorio	FIRMA:	RJCZ

ANEXO 2. ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

			CORASFALTOS			
DATOS DE ENSAYOS - ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS						
FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-223	ORDEN DE TRABAJO:	65
2012	7	24				
AÑO	MES	DÍA				
CODIGO DE LA MUESTRA :			G-089-12-1			
DESCRIPCIÓN:			ASFALTO EXTRAIDO			
ENSAYO DE PENETRACION	ASTM D-5	<input type="checkbox"/>	INVE-706	<input type="checkbox"/>	RESULTADO	83,3
ENSA YO PUNTO DE A BLANDAMIENTO	ASTM D-36	<input type="checkbox"/>	INVE-712	<input type="checkbox"/>	RESULTADO	44,9
ÍNDICE DE PENETRA CIÓN (Ip)			INVE-724	RESULTADO	-1,4	
CODIGO DE LA MUESTRA :						
DESCRIPCIÓN:						
ENSAYO DE PENETRACION	ASTM D-5	<input type="checkbox"/>	INVE-706	<input type="checkbox"/>	RESULTADO	
ENSA YO PUNTO DE A BLANDAMIENTO	ASTM D-36	<input type="checkbox"/>	INVE-712	<input type="checkbox"/>	RESULTADO	
ÍNDICE DE PENETRA CIÓN (Ip)			INVE-724	RESULTADO	#INUM!	
CODIGO DE LA MUESTRA :						
DESCRIPCIÓN:						
ENSAYO DE PENETRACION	ASTM D-5	<input type="checkbox"/>	INVE-706	<input type="checkbox"/>	RESULTADO	
ENSA YO PUNTO DE A BLANDAMIENTO	ASTM D-36	<input type="checkbox"/>	INVE-712	<input type="checkbox"/>	RESULTADO	
ÍNDICE DE PENETRA CIÓN (Ip)			INVE-724	RESULTADO	#INUM!	
CODIGO DE LA MUESTRA :						
DESCRIPCIÓN:						
ENSAYO DE PENETRACION	ASTM D-5	<input type="checkbox"/>	INVE-706	<input type="checkbox"/>	RESULTADO	
ENSA YO PUNTO DE A BLANDAMIENTO	ASTM D-36	<input type="checkbox"/>	INVE-712	<input type="checkbox"/>	RESULTADO	
ÍNDICE DE PENETRA CIÓN (Ip)			INVE-724	RESULTADO	#INUM!	
OBSERVA CIONES:						
ELABORÓ:	NUBDALY PAOLA BUITRAGO LOPEZ		CARGO:	Profesional de laboratorio	FIRMA:	NUBDALY BUITRAGO
REVISÓ:	RICARDO JOSE CARREÑO ZAGARRA		CARGO:	Jefe de laboratorio	FIRMA:	RJCZ

ANEXO 3. VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL ASFALTO

			CORASFALTOS			
			DATOS DE ENSAYOS - VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS			
FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-223	ORDEN DE TRABAJO:	65
2012	7	27				
AÑO	MES	DIA				
CODIGO DE LA MUESTRA:			G-089-12-1			
DESCRIPCIÓN:			ASFALTO EXTRAIDO			
NORMAS DE REFERENCIA		ASTM D-2170	<input checked="" type="checkbox"/>	INVE-715	<input checked="" type="checkbox"/>	
CONDICIONES DEL ENSAYOS		Temperatura (°C)	Capilar	Viscosímetro		
		135	6 J86	viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs		
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)= 0	t (min)= 15	t (min)= 30	
			27,4	28,5	30,2	
		Humedad (%)	61	61	55	
Temperatura del Baño (°C)		135,0	135,0	135,0		
RESULTADOS						
Tiempo (seg)	150,42	Viscosidad (cSt)		224,468		
CODIGO DE LA MUESTRA:						
DESCRIPCIÓN:						
NORMAS DE REFERENCIA		ASTM D-2170	<input checked="" type="checkbox"/>	INVE-715	<input checked="" type="checkbox"/>	
CONDICIONES DEL ENSAYOS		Temperatura (°C)	Capilar	Viscosímetro		
				viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs		
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)=	t (min)=	t (min)=	
		Humedad (%)				
Temperatura del Baño (°C)						
RESULTADOS						
Tiempo (seg)		Viscosidad (cSt)				
OBSERVACIONES:						
ELABORÓ:	NUBDALY PAOLA BUITRAGO LOPEZ		CARGO:	Profesional de laboratorio	FIRMA:	NUBDALY BUITRAGO
REVISÓ:	RICARDO JOSE CARRENO ZAGARRA		CARGO:	Jefe de laboratorio	FIRMA:	RJCZ
FORMATO – SERVICIOS DE LABORATORIO						
Código : FTE-SL-087		Versión: 01		Fecha : 18/02/2011		
Revisó: Edward Monroy Coordinador De Calidad		Aprobó: Luis Enrique Sanabria Director Ejecutivo		Página: 1 de 1		

ANEXO 4. SOLUBILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS EN TRICLOROETILENO

	CORASFALTOS				
DATOS DE ENSAYOS - SOLUBILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS EN TRICLOROETILENO O TRICLOROETANO					
FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-223	
2012	7	27			ORDEN DE TRABAJO:
AÑO	MES	DIA			
CODIGO DE LA MUESTRA:		G-089-12-1			
DESCRIPCIÓN:		ASFALTO EXTRAIDO			
NORMAS DE REFERENCIA		ASTM D-2042	<input checked="" type="checkbox"/>	INVE-713	
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)= 0	t (min)= 15	t (min)= 40
		Humedad (%)	27,4	28,5	30,2
			61,0	61,0	55,0
RESULTADOS					
Peso erlenmeyer vacio (g)		167,345	Peso erlenmeyer + muestra (g)		169,477
Peso papel ANTES de filtrar (g)		2,406	Peso del papel DESPUES de filtrar (g)		2,424
PORCENTAJE SOLUBLE (%)				99,16	
CODIGO DE LA MUESTRA:					
DESCRIPCIÓN:					
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)=	t (min)=	t (min)=
		Humedad (%)			
RESULTADOS					
Peso erlenmeyer vacio (g)			Peso erlenmeyer + muestra (g)		
Peso papel ANTES de filtrar (g)			Peso del papel DESPUES de filtrar (g)		
PORCENTAJE SOLUBLE (%)				#iDIV/0!	
OBSERVACIONES:					
El asfalto extraído se filtró previo al ensayo, para eliminar residuos de material mineral producto de la extracción cuantitativa del asfalto.					
ELABORÓ: NUBDALY PAOLA BUITRAGO LOPEZ		CARGO: Profesional de laboratorio		FIRMA: NUBDALY BUITRAGO	
REVISÓ: RICARDO JOSE CARRENO ZAGARRA		CARGO: Jefe de laboratorio		FIRMA: RJCZ	
FORMATO – SERVICIOS DE LABORATORIO					
Código : FTE-SL-084		Versión: 01		Fecha : 14/02/2011	
Revisó: Edward Monroy Coordinador De Calidad		Aprobó: Luis Enrique Sanabria Director Ejecutivo		Página: 1 de 1	

ANEXO 5. RESOLUCIÓN 10099 – MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL



27 DIC 2017

MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Resolución Número 10099 del

Por la cual se adoptan las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1.

EL DIRECTOR GENERAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

En ejercicio de sus facultades legales y en especial las conferidas por el numeral 7.6 y 7.18 del Artículo 7° del Decreto 2618 de 2013 y

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con el artículo 2 del Decreto 2618 de 2013, corresponde al Instituto Nacional de Vías- INVIAS, entre otras funciones, elaborar conjuntamente con el Ministerio de Transporte los planes, programas y proyectos tendientes a la construcción, reconstrucción, mejoramiento, rehabilitación, conservación, atención de emergencias, y demás obras que requiera la infraestructura de su competencia, así como, adoptar la regulación técnica relacionada con la infraestructura de los modos de transporte carretero, fluvial, férreo y marítimo.

Que el artículo 7, numeral 7.6 del decreto 2618 de 2013 indica lo siguiente: "ARTÍCULO 7o. DESPACHO DEL DIRECTOR GENERAL. El Despacho del Director General del Instituto Nacional de Vías (Invias) ejercerá las siguientes funciones: 7.6 Adoptar la regulación técnica relacionada con la infraestructura de los modos de transporte carretero, fluvial, férreo y marítimo".

Que el Instituto Nacional de Vías – INVIAS, cuenta con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras para la construcción, rehabilitación, rectificación, mejoramiento y conservación de las carreteras y puentes a cargo de la nación, las cuales fueron adoptadas mediante Resolución No.1376 de 2014 expedida por el Ministerio de Transporte.

Que la citada resolución establece en el anexo- Artículo 100 "Ámbito de aplicación, términos y definiciones, numeral 100.1. Ámbito de aplicación: "...Las unidades de obra que no se encuentren incluidas en este documento se ejecutarán de acuerdo con lo establecido en las especificaciones particulares aplicables al Contrato, las cuales prevalecerán sobre las especificaciones generales y podrán modificarlas o complementarlas. Todos los trabajos que no estén cubiertos por especificaciones particulares, se ejecutarán conforme a las presentes especificaciones generales..."

Que se requiere adelantar y continuar con los programas de pavimentación de vías de bajo tránsito, que sirven de acceso a las vías principales para comunicar a las comunidades localizadas en zona de influencia, con las carreteras de segundo y primer orden, así como, para acceder de esta manera a los centros de consumo, para garantizar su desarrollo económico y social.

Que teniendo en cuenta lo antes señalado el Instituto Nacional de Vías- INVIAS, determinó que era necesario realizar un estudio para la caracterización de los materiales constitutivos de los asfaltos naturales existentes en el país (ligante, pétreo y otros componentes) y el diseño de mezclas, por considerar que estos son materiales no convencionales que pueden llegar a ser implementados en la pavimentación de vías terciarias de la Red Vial Nacional, lo cual requiere unos parámetros de referencia general para su utilización, mediante comparación técnica, ambiental y económica, en relación con los sistemas convencionales de pavimentación que se están utilizando a nivel nacional.

Por la cual se adoptan las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1.

Que mediante el Contrato de Consultoría No. 1211 de 2016, el Instituto Nacional de Vías- INVIAS, contrató con el Consorcio ASFNATURALES, la elaboración del estudio, cuyo objeto fue: "ESTUDIO PARA CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS ASFALTOS NATURALES EN COLOMBIA CON EL FIN DE ELABORAR LAS ESPECIFICACIONES QUE SE REQUIEREN EN LA UTILIZACIÓN DE CARRETERAS NACIONALES".

Que el citado estudio estableció los aspectos para el uso de asfaltos naturales, evaluando la factibilidad de su utilización en las carreteras terciarias de la Red Vial Nacional a cargo del Instituto Nacional de Vías- INVIAS y orientados exclusivamente a vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1.

Que el mencionado estudio determinó como especificaciones particulares las siguientes:

- SUB-BASE ESTABILIZADA CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL
- BASE ESTABILIZADA CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL
- MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL

Que las especificaciones particulares de construcción como alternativa de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, es una regulación eminentemente técnica que le corresponde al INVIAS como ente conocedor y ejecutor del tema proceder a establecerlo, para que existan reglas y condiciones claras sobre el tema.

Que la Subdirección de Estudios e Innovación mediante memorando SEI - 181136 de fecha 20 de diciembre de 2017, da su concepto sobre la justificación de las especificaciones particulares de asfalto natural en los siguientes términos:

- *"... JUSTIFICACIÓN ESPECIFICACIONES PARTICULARES DE ASFALTOS NATURALES.- Con el fin de cubrir la necesidad de adelantar y continuar con los programas de pavimentación de vías con bajos volúmenes de tránsito, que sirvan de acceso a las vías principales para comunicar a las comunidades localizadas en la zona de influencia, con las carreteras de segundo y primer orden y acceder de esta manera a los centros de consumo, para garantizar su desarrollo económico y social, se elaboraron las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativa de pavimentación utilizando Asfaltos Naturales en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1. INNOVACIÓN.- La especificaciones Particulares de Asfaltos Naturales, brindan a la Ingeniería Nacional un conocimiento teórico práctico sobre esta alternativa de pavimentación en los contratos que adelanta el Instituto Nacional de Vías a través de la Subdirección de la Red Terciaria y Férrea, a cargo del INVIAS, que además conlleva a la utilización de materiales de construcción no convencionales, generando innovación en la construcción de carreteras de la Red Vial Nacional, al tratarse de una tecnología no convencional que se viene utilizando actualmente de manera local y bajo procedimientos empíricos, motivada en la heterogeneidad de su fábrica como la heterogeneidad de su composición, obteniendo como resultado del estudio, pautas técnicas para su adecuada utilización. Así mismo por medio del estudio, se caracterizaron los materiales constitutivos de los asfaltos naturales existentes en el país (ligante pétreo y otros componentes) y el diseño de las mezclas, por considerar estos materiales aunque son no convencionales, pueden llegar a ser implementados en la pavimentación de vías terciarias de la Red Vial Nacional, lo cual requiere unos parámetros de referencia general para su utilización, mediante comparación técnica, ambiental y económica, en relación con los sistemas convencionales de pavimentación que se utilizando a nivel nacional, elaborando las siguientes especificaciones particulares: ART. 321P SUB-BASE ESTABILIZADA CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL; ART. 341P BASE ESTABILIZADA CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL; ART. 442P MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL ..."*

Que la aplicación, uso y correcta utilización del asfalto natural en vías terciarias, hace que los costos económicos del proyecto sean inferiores; el principio de economía sea plenamente aplicable y los recursos destinados para tal fin tengan un mayor rendimiento.

Que se hace necesario, adoptar las anteriores especificaciones particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1.

Que las vías terciarias son las ideales y por obvias razones las más conducentes para que se adopte las especificaciones Particulares de Construcción (Sub-base estabilizada con una mezcla asfáltica natural, Base estabilizada con una mezcla asfáltica natural y Mezcla asfáltica natural) como alternativas de pavimentación utilizando Mezclas de Asfalto Natural.

Por la cual se adoptan las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1.

Que en cumplimiento a lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 8° de la ley 1437 de 2011, el texto de la presente Resolución fue publicado antes de su expedición, durante tres (3) días, desde el 21 de diciembre al 26 de diciembre de 2017, en la página web de la Entidad www.invias.gov.co.

Que durante el tiempo que duró publicado el proyecto de resolución, ningún interesado presentó observaciones, sugerencias o correcciones al respecto.

En mérito de lo Expuesto,

RESUELVE:

Artículo 1: OBJETO: Adoptar las Especificaciones Particulares de Construcción (Sub-base estabilizada con una mezcla asfáltica natural, Base estabilizada con una mezcla asfáltica natural y Mezcla asfáltica natural) como alternativas de pavimentación utilizando Mezclas de Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1, las cuales hacen parte integral de la presente resolución.

Parágrafo: Las especificaciones particulares deberán ser evaluadas al momento de ejecución de las obras, en cuanto a su uso y factibilidad para ser utilizadas en proyectos de carreteras terciarias de bajos volúmenes de tránsito y en las que se determine la utilización de Fuentes de Asfaltos Naturales.

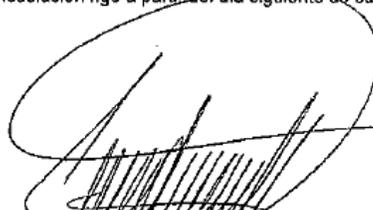
Artículo 2. PUBLICIDAD: El Instituto Nacional de Vías - INVIAS, publicará en la página web, las Especificaciones Particulares de Construcción como alternativas de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1.

Artículo 3. VIGENCIA: La presente Resolución rige a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial

PUBLIQUESE Y CÚMPLASE

Dada en Bogotá, D. C. a los

27 DIC 2017


CARLOS ALBERTO GARCÍA MONTES
Director General

Aprobó: Ing. Jorge Eliécer Rivillas Herrera - Director Técnico.
Vo. Bo. Dra. María Eugenia Vera Castro - Jefe Oficina Asesora Jurídica.
Revisó y Vo. Bo.: Ing. Carlos Alberto Valencia Escobar - Subdirector de Estudios e Innovación.
Revisó y Vo. Bo.: Ing. Alfonso Montejo Fonseca - Coordinador Grupo Regulación Técnica.
Revisó y Vo. Bo.: Miguel Sáenz Billez - Coordinador Grupo de Conceptos de la Oficina Asesora Jurídica.
Elaboró y Proyectó: Ing. Yuli Daza Correa - Ingeniera del Grupo de Regulación Técnica.

"Más kilómetros de vida"