ALCALDÍA MUNICIPAL DE SESQUILE-CUNDINAMARCA

CONTRATO DE CONSULTORIA 282 DE 2022

CUYO OBJETO ES: “CONTRATAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE VIAS URBANAS Y RURALES DEL MUNICIPIO DE SESQUILÉ CUNDINAMARCA

CONTIENE

ESTUDIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS VIAL

PARA EL SEGMENTO VIAL VEREDA BOITIVA - SECTOR “LAS BRISAS” – PR 00+000 HASTA CUATRO ESQUINAS PR 00+468.

CONSULTOR

CORPORACIÓN DEL AMBIENTE Y DE INGENIERÍA
TRANSVERSAL 94 No 80ª-70, apartado 358938
E-mail: coringam.proyectos@gmail.com
Febrero del 2023

Bogotá D.C. - Colombia

CONTROL DE REVISIONES

Estado de Revisión y aprobación	Nombre	MP	Fecha	versión	Firma
Elaboró	Sherly Johana Guarnizo Cascavita	MP 25335-246650CND	23/01/2023	1	
Revisó, elaboró y Aprobó	Carlos Suta Pico	MP 25202-104936 CND	23/01/2023	1	

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 9

2 ALCANCE 10

3 LOCALIZACIÓN 11

4 CONDICIONES GEOTECNCIAS DEL SEGMENTO VIAL 12

4.1 GEOLOGIA 12

4.2 GEOMORFOLOGIA 15

4.3 EVALUACIÓN DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 16

4.4 EXPLORACIÓN GEOTECNICA 17

4.5 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO 21

4.6 CBR DE DISEÑO 24

4.6.1 MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE 26

5 CONDICIONES CLIMATICAS 29

5.1 TEMPERATURA MEDIA ANUAL 30

5.2 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES ANUALES 31

5.3 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA PAVIMENTOS 35

6 CLASIFICACIÓN DEL TRÁNSITO 37

7 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FEXIBLE 39

7.1 VARIABLES DE DISEÑO 39

7.1.1 EL PERIODO DE DISEÑO 40

7.1.2 MÓDULO RESILIENTE PARA LA SUBRASANTE 40

7.1.3 COEFICIENTES DE DRENAJE 40

7.1.4 ESTUDIO DE TRÁNSITO 41

7.1.5 LA CONFIABILIDAD 41

7.1.6 DESVIACIÓN ESTÁNDAR 42

7.1.7 ÍNDICES DE SERVICIABILIDAD 42

7.1.8 COEFICIENTES ESTRUCUTRAL DE LAS CAPAS 43

8 ESPECIFICACIONES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 53

8.1 ESPECIFICACIONES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS 54

8.2 ESPECIFICACIONES PARA LA BASE GRANULAR 58

8.3 ESPECIFICACIONES PARA LA BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON EMULSION. 61

8.4 ESPECIFICACIONES PARA LA SUB BASE GRANULAR 67

8.5 ESPECIFICACIONES PARA LA CONFORMACION DE UNA CAPA DE SUELO CEMENTO 69

8.6 ESPECIFICACIONES DEL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON RAJON 73

9 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PLACA HUELLA 76

9.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y ANÁLISIS GEOTÉCNICO 76

9.2 ESPESOR DE LA PLACA-HUELLA 78

9.3 RESISTENCIA DEL CONCRETO 80

9.4 CLASIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN DEL SUELO DE LA SUBRASANTE 81

9.5 ESPESOR DE LA SUBBASE GRANULAR 82

10 MÓDULO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA HUELLA 84

11 CONCLUSIONES 88

12 BIBLOGRAFIA 93

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Localización del Segmento 11

Ilustración 2: Geología de la zona de estudio Sesquilé. 14

Ilustración 3:. Geomorfología de la zona de estudio Sésquile. 15

Ilustración 4: Amenaza por remoción en masa de la zona de estudio. 16

Ilustración 5: Ubicación de los apiques y CBR INALTERADOS 18

Ilustración 6: Ubicación de los apiques y CBR INALTERADOS 20

Ilustración 7: Consolidado de los resultados de los ensayos 22

Ilustración 8: Modulo equivalente a partir de los CBR 26

Ilustración 9: Modulo equivalente en Kg/cm2 a partir del CBR del mejoramiento y subrasante 27

Ilustración 10: Relación del módulo entre capa inferior (subrasante) y capa superior (mejoramiento) 27

lustración 11: Expresión para calcular el espesor del mejoramiento 28

lustración 12: Calculo del espesor del mejoramiento 28

lustración 13: Calculo del módulo equivalente compuesto 28

Ilustración 14: Categoría de subrasante 29

Ilustración 15: Consolidado de los resultados de los ensayos 32

Ilustración 16: Registros históricos estación Bomba Sesquilé 33

Ilustración 17: Registros históricos estación CONSUELO EL 34

Ilustración 18: Geodrén vial 36

Ilustración 19: Valores de m 37

Ilustración 20: Coeficiente de drenaje 40
Ilustración 21: Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras 41
Ilustración 22: Coeficiente estructural del asfalto 44
Ilustración 23: Modulo resiliente del concreto asfáltico 44
Ilustración 24: Coeficiente estructural de la Base -BG 45
Ilustración 25: Modulo resiliente de la Base Granular 45
Ilustración 26: Coeficiente estructural de la Subbase -BG 46
Ilustración 27: MODULO RESILIENTE DE LA SUB BASE GRANULAR 46
Ilustración 28: Ecuación de diseño 48
Ilustración 29: Calculo de estructura de pavimento flexible 51
Ilustración 30: Calculo de estructura de pavimento flexible con base estabilizada con emulsión asfáltica 52
Ilustración 31: Calculo de estructura de pavimento flexible con suelo cemento. 53
Ilustración 29: Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa 56
Ilustración 33: Clases de base granular 58
Ilustración 31: Requisitos de los agregados para bases granulares tabla 330-2 59
Ilustración 32: Franjas granulométricas del material de base granular 60
Ilustración 36: Franjas granulométricas de los agregados bases con emulsión 62
Ilustración 37: Requisitos de los agregados pétreos para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica 63
Ilustración 38: Método de diseño para mezclas de bases estabilizadas con emulsión 64
Ilustración 39: Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica 64
Ilustración 40: Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de emulsión para base estabilizada con suelos granulares. 65
Ilustración 38: Clases de sub base granular 67

Ilustración 39: Requisitos de los agregados para las sub bases granulares tabla 320-2 68
Ilustración 40: franjas granulométricas del material de subbase granular 69
Ilustración 41: Requisitos de los agregados para las sub bases granulares 70
Ilustración 42: franjas granulométricas del material de subbase granular 71
Ilustración 46: Consolidado de los resultados de los ensayos 77
Ilustración 47: Sección típica de placa huella a utilizar y espesor 83
Ilustración 48. Planta de distribución de acero de refuerzo para la sección típica. 86
Ilustración 49. Corte transversal de distribución de acero de refuerzo para la sección típica. 86
Ilustración 50. Corte longitudinal de la sección típica. 87
Ilustración 51. Detalle estructural de la Berma-Cuneta. 87
Ilustración 46: Estructura de pavimento flexible 89
Ilustración 47: Estructura de pavimento flexible con base estabilizada con emulsión asfáltica 90
Ilustración 48 Estructura de pavimento flexible con suelo cemento. 91
Ilustración 46: geodren vial 92

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Apiques ejecutados. 18
Tabla 2: CBR segmento vial 24
Tabla 3: Temperatura Promedio anual 31
Tabla 4: Parámetros de diseño 47
Tabla 5: Calculo de la estructura de pavimento flexible 50
Tabla 6: CBR segmento vial 78
Tabla 7: Correlación de los límites de consistencia Vs potencial de expansión 82

Tabla 8: correlación entre el módulo de reacción de la subrasante y el CBR del suelo 82

Tabla 9: Modulo de reacción del conjunto Subrasante-Subbase $\boldsymbol{KN/m3}$ 83

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe detalla los estudios y diseños necesarios para pavimentar el tramo semiurbano ubicado en la Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, en el Municipio de Sesquilé Cundinamarca. Los diseños se basan en la exploración geotécnica en campo, la realización de ensayos de laboratorio, estudios de tráfico y calidad de los materiales, así como en el análisis de la topografía y diseño geométrico, lo que permite establecer los parámetros de comportamiento del suelo y de las cargas que soportará el pavimento durante su funcionamiento, para determinar la estructura de pavimento más óptima.

El estudio geotécnico y diseño de pavimento contempla la evaluación de la coherencia entre la exploración del subsuelo, los resultados de laboratorio, la capacidad portante del suelo, el tráfico promedio diario a partir de aforos y el cálculo de números de ejes equivalentes durante el periodo de diseño de las obras. Esto se realiza para determinar los parámetros de resistencia y las características físicas de los estratos de soporte que conformarán la estructura de pavimento.

Entre los resultados del estudio, se presentan los espesores requeridos para la estructura de pavimento propuesta, así como los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales y granulares. En este sentido, las recomendaciones técnicas de calidad de los materiales se desarrollarán con base en las especificaciones generales de construcción del INVIAS 2013.

Los alcances específicos del proyecto incluyen la realización de perforaciones manuales y recuperación de muestras para ensayos en el laboratorio de suelos, a una profundidad de 1.00 a 1.50 metros, para determinar el perfil estratigráfico promedio y los parámetros geotécnicos de los estratos de suelos que se reportan en los perfiles.

2 ALCANCE

En el informe de geotecnia y pavimentos para la pavimentación del segmento vial Boitiva sector las brisas en el municipio de Sesquilé, se han considerado todos los factores relevantes para el diseño y construcción de un pavimento seguro y duradero.

Se ha evaluado cuidadosamente la ubicación del proyecto, incluyendo las condiciones climáticas, geología, topografía y tráfico en la zona, lo que ha permitido determinar las necesidades específicas del pavimento y garantizar que cumpla con los requerimientos de diseño.

Además, se han tomado en cuenta la carga de tráfico que soportará el pavimento, el tipo de suelo en el sitio de construcción, las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a utilizar en cada capa del pavimento, y las especificaciones de construcción, incluyendo el proceso constructivo, las técnicas de colocación de materiales y la compactación.

Se ha determinado el espesor requerido para cada capa del pavimento, considerando la carga de tráfico y las propiedades del suelo. También se ha seleccionado cuidadosamente los materiales adecuados para cada capa del pavimento, incluyendo la subrasante, subbase, base y capa de rodadura, tomando en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de cada uno.

En conclusión, el informe de geotecnia y pavimentos para la pavimentación del segmento vial Boitiva sector las brisas en el municipio de Sesquilé ha permitido evaluar todos los factores críticos que influyen en el diseño y construcción de un pavimento seguro y duradero, lo que ha permitido garantizar que el pavimento se construya adecuadamente y cumpla con los estándares de calidad requeridos.

3 LOCALIZACIÓN

El segmento vial Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, se encuentra ubicado en el municipio de Sesquilé del departamento de Cundinamarca, ubicado en la región central de Colombia. Se encuentra a unos 65 kilómetros al noreste de Bogotá, la capital del país. Por su parte, la vereda Boitiva también se encuentra en el municipio de Sesquilé, Cundinamarca. Esta vereda está ubicada en la zona rural del municipio, cerca de la Cordillera Oriental de los Andes. Para llegar a la vereda, es necesario tomar la carretera que va desde Sesquilé hacia Guatavita, y luego desviarse por un camino rural que lleva a la zona donde se encuentra la vereda Boitiva.

Ilustración 1: Localización del Segmento



Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de la información y basemap de Civil3D.

4 CONDICIONES GEOTECNCIAS DEL SEGMENTO VIAL

En este capítulo de geotecnia, se presentarán las condiciones geotécnicas del segmento vial Boitiva sector Las Brisas en el municipio de Sesquilé. Este análisis proporciona la información detallada sobre el tipo de suelo en el sitio de construcción.

4.1 GEOLOGIA

Para el desarrollo del presente estudio, se realizó la recopilación y análisis de la información de referencia existente y temática básica, tales como planos topográficos, fotografías aéreas, geología, geomorfología, así como estudios geotécnicos existentes en entidades como, INGEOMINAS (actualmente, SGC, SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO).

De acuerdo con la plancha 209 de geología del Servicio Geológico Colombiano, se presentan las siguientes unidades geológicas:

Formación Guaduas (K2E1g): Esta formación, morfológicamente, presenta una conformación de valles con colinas de pendiente muy suaves entre la formación Arenisca de Labor y Tierna, y la formación Cacho. Su base está conformada por capas medias a muy gruesas de arcillolita gris con laminación plana, con trazas de carbón y restos vegetales carbonizados. También, se presentan secuencias de lodolitas carbonosas de color negro y capas muy delgadas de carbón, las cuales, se intercalan con capas medias a gruesas de cuarzo arenita masiva de color blanco, de grano fino a medio.

En la parte media de la unidad, se encuentran arcillolitas de capas medias a gruesas con laminación lenticular, de color gris. También se presentan arenitas deleznables de grano muy fino en capas gruesas a muy delgadas con carbón.

El topo de esta formación se conforma de capas gruesas de arcillolita carbonosa color marrón a gris, con láminas de lodolitas y carbón. En esta parte, además, se intercalan dichos materiales con cuarzo arenitas de grano muy fino a fino.

Formación Arenisca Dura (K2d) Campanario Inferior: la base de esta formación presenta capas tabulares muy gruesas de cuarzo arenitas de grano fino, muy cementadas con siliceo. Presenta intercalación con capas de lodolitas fisiles de color negro a gris oscuro, con laminación lenticular. Adicionalmente, se presenta intercalaciones con limolitas y arcillolitas arenosas con algunas escamas de pez.

En la parte media baja, se presenta un espesor grueso de lodolitas de color gris y negro, con laminación plana, intercalada por capas muy delgadas de arenita de grano muy fino, y limolitas negras.

En la parte superior, se compone de cuarzo arenitas de grano muy fino, intercaladas con limolitas y lodolitas y arenitas en capas tubulares muy gruesas de color blanco a gris, de grano fino a medio.

Formación Plaeners (K2p): esta formación se conforma principalmente de porcelanitas, limolitas y arcillolitas con intercalaciones de arenita. Las porcelanitas son de color gris amarillento, con laminación. También se presentan capas gruesas de lodolitas.

Formación Tilatá (N2t): Esta formación se divide en dos segmentos. El segmento 1 se compone de arenas y gravas clasto soportada y matriz soportada. En el segmento 2, se encuentran gravas grano-soportadas con clastos del tamaño de guijarros, los cuales son de arenita y liditas. Sobre esta capa, se encuentran capas de gravas matriz soportadas con lentes de arcilla y arenas.

Formación Labor Tierna (K2t): Esta formación presenta como material predominante las cuarzoarenitas en capas tubulares y lenticulares, con laminación

inclinada, Son deleznables y presentan intercalaciones con capas de arenitas, liditas de color amarillo grisáceo, limolitas arenosas, y arcillolitas de color gris en láminas muy delgadas.

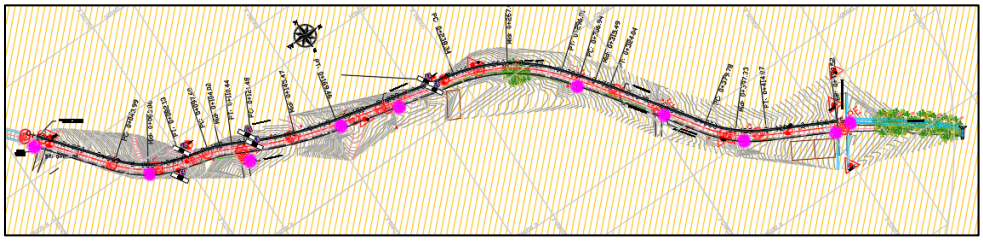
Formación Chipaque (K2cp): se presentan materiales depositados como arcillas, material silicio y arenas, dispuestos en tres segmentos. El primer segmento consta de 80 m de arcillolitas grises oscuras con gran cantidad de micas y presencia de troncos y carbón. Presenta laminación discontinua. El segmento B presenta intercalaciones de limolitas silíceas (7m) de color gris oscuro, dispuestos en capas delgadas planas, paralelas y continuas y arcillolitas. El segmento C presenta un espesor de 540 m, que presenta materiales arcillosos y arenosos.

Depósitos de Terrazas Altas (Q2t): son depósitos aplanados en forma de terrazas altas, conformados por sedimentos conglomeráticos en matriz areno arcillosa.

Depósitos aluviales recientes (Qal): se localizan a lo largo de los drenajes del área. Presentan materiales no consolidados de arenas y limos con barras de gravas.

A continuación, se presenta el plano de geología de la zona de estudio.

Ilustración 2: Geología de la zona de estudio Sesquilé.



CONVENCIONES	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	K2E1g

En el Anexo 2, se presenta el plano de geología de la zona de estudio.

4.2 GEOMORFOLOGIA

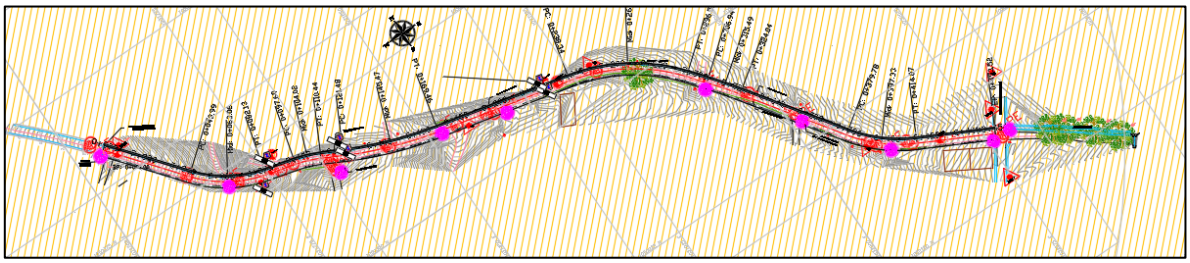
De acuerdo con la plancha 209 de geomorfología del Servicio Geológico Colombiano, se presentan las siguientes unidades:

Ladera ondulada (Dlo): es una superficie inclinada, ondulada, con longitud variable, siendo afectada por procesos morfodinámicos y su composición litológica. Se desarrolla sobre la formación Marichuela, Guaduas, Bogotá y Chipaque.

Planicie y delta lacustre (Fpla): Superficie extensa de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada, limitada por escarpes de varios metros de altura. Se constituye por arcillas intercaladas locales de arenas finas con niveles delgados de gravas y turbas, producto de la acumulación de materiales transportados por las corrientes.

A continuación, se presenta el mapa de geomorfología de la zona de estudio.

Ilustración 3:. Geomorfología de la zona de estudio Sésquile.



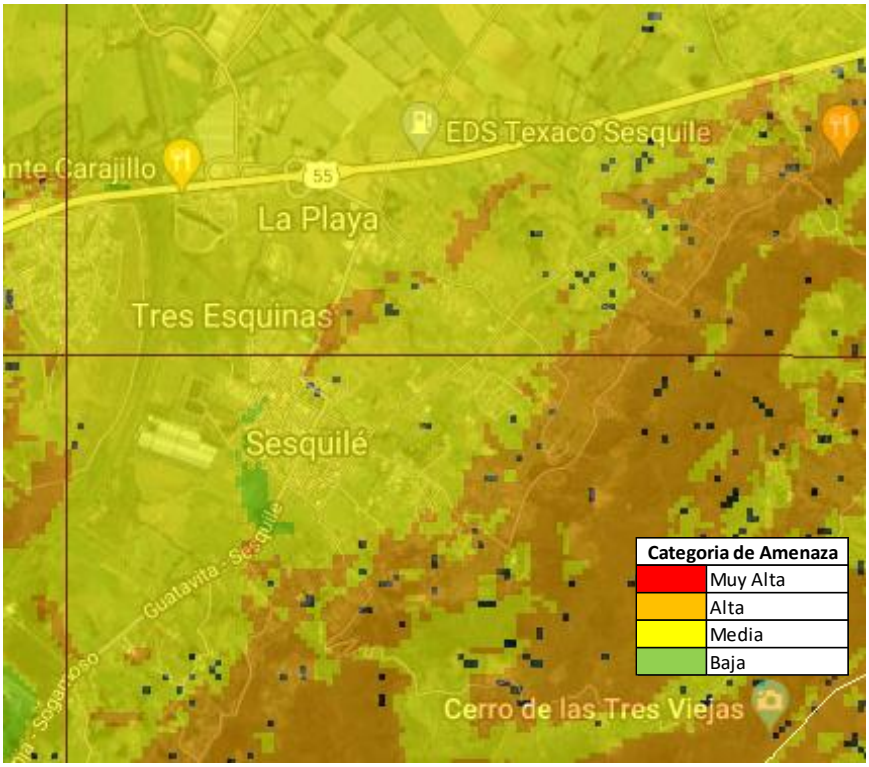
CONVENCIONES	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Dlo

En el Anexo 2, se presenta el plano de geomorfología de la zona de estudio.

4.3 EVALUACIÓN DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

De acuerdo con el portal SIMMA del Servicio Geológico Colombiano, la zona se encuentra entre zona de amenaza media y alta por movimientos en masa. A continuación, se presenta la localización de la zona de estudio a nivel de amenaza.

Ilustración 4: Amenaza por remoción en masa de la zona de estudio.



No se encontraron procesos de movimientos en masa en el inventario del portal del SIMMA.

4.4 EXPLORACIÓN GEOTECNICA

La caracterización del suelo natural donde se desarrollan los proyectos viales es la variable más importante en la geotecnia vial, puesto que la resistencia de este suelo de soporte condiciona el dimensionamiento de la estructura, cuyo fin es el de disipar los esfuerzos inducidos por las cargas del tránsito. A continuación, se presenta la metodología para la caracterización, procesos de mejoramiento de la subrasante y las condiciones mínimas de resistencia que se denominará Capacidad Portante Equivalente (CPE) para la aplicación de las estructuras propuestas.

La subrasante se define como el estrato conformado por el suelo natural sin ningún tipo de tratamiento o proceso mecánico y se asume de espesor semi-infinito. La capacidad portante de la subrasante está asociada a las propiedades intrínsecas del suelo y a las condiciones hídricas más desfavorables durante la vida útil de servicio de una estructura de pavimento. Adicionalmente, debe ser evaluada utilizando cualquiera de las técnicas normalizadas de uso habitual en la ingeniería.

La caracterización se realizó de acuerdo con el procedimiento del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y de la AASTHO, la determinación del estado hídrico (asociado a la humedad natural) y los límites de Atterberg. Asimismo, se estimó el comportamiento mecánico con ensayos in situ y/o ensayos de laboratorio de la subrasante, con el fin de evaluar la necesidad de inclusión de una capa de mejoramiento. Por lo que a continuación, se presenta la caracterización del segmento vial denominado “Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468.

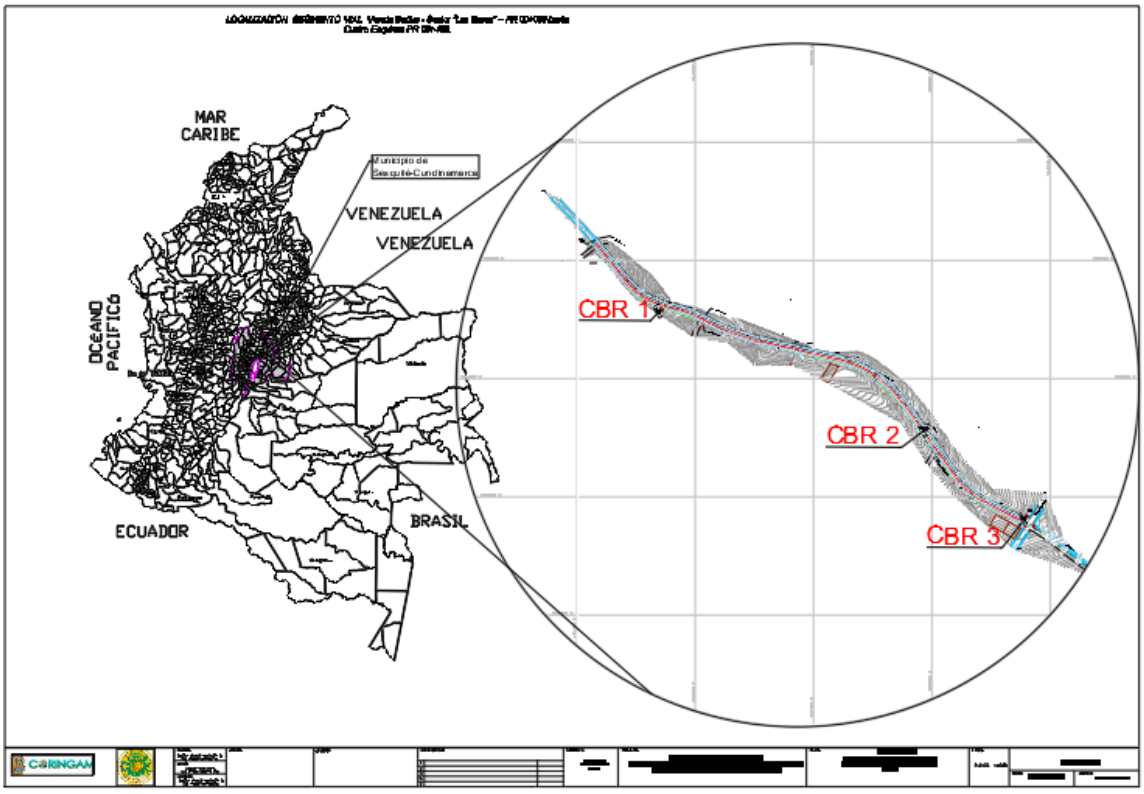
Para este segmento vial se efectuaron tres (3) apiques a una profundidad de 1.00m a 1.20 metros, sobre estos apiques se realizó la recuperación de muestras y tomas

de CBR inalterado, los cuales se encuentran debidamente georreferenciados y marcados en los planos del levantamiento topográfico y diseño geométrico de la vía.

Tabla 1. Apiques ejecutados.

Sector	Apique	Abscisa	Este	Norte	Profundidad (m)
Brisas	CBR1	k0+80	1031770,694	1050357,800	1.0
	CBR2	k0+339	1031994,634	1050257,263	1.1
	CBR3	k0+454	1032079,23	1050182,657	1.2

Ilustración 5: Ubicación de los apiques y CBR INALTERADOS

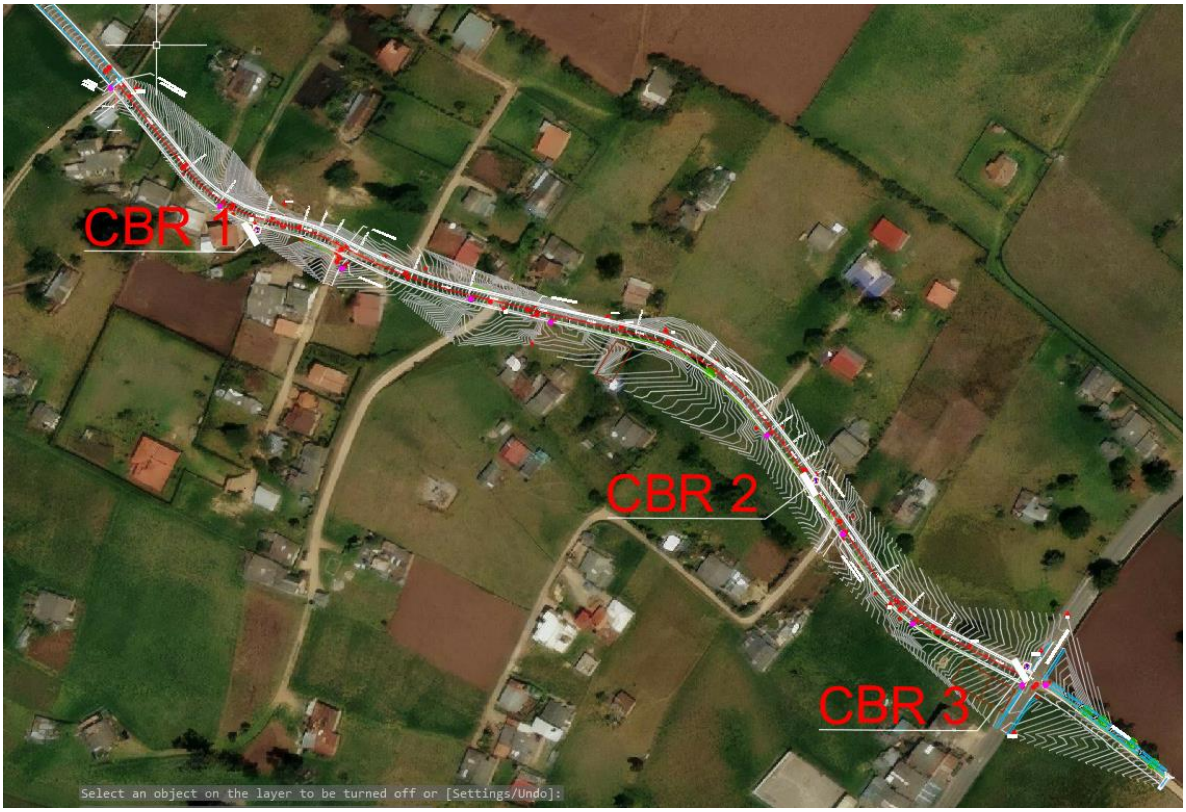


Fuente: elaboración propia a partir del desarrollo de la consultoría

Los ensayos efectuados en la exploración geotécnica corresponden a los siguientes:

- Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado INV E – 122 – 13: Este ensayo se utiliza para determinar el contenido de agua de una muestra de suelo, roca o mezcla de suelo-agregado. El objetivo de este ensayo es conocer la cantidad de agua presente en la muestra para poder realizar cálculos y ajustes necesarios en la construcción de la vía o pavimento
- Determinación del límite líquido de los suelos INV E – 125 – 13 y límite plástico e índice de plasticidad de los suelos INV E – 126 – 13: Estos ensayos se utilizan para determinar el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de una muestra de suelo. El objetivo de estos ensayos es evaluar la capacidad del suelo para soportar cargas y deformaciones sin perder su capacidad de resistencia.
- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos INV E – 123 – 13: Este ensayo se utiliza para determinar los tamaños de las partículas de una muestra de suelo. El objetivo de este ensayo es evaluar la calidad del suelo y su capacidad para soportar la construcción de la vía o pavimento.
- CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada INV E – 148 – 13: Este ensayo se utiliza para medir la capacidad de un suelo para soportar cargas y deformaciones bajo condiciones específicas. El objetivo de este ensayo es evaluar la calidad del suelo y su capacidad para soportar la construcción de una carretera o pavimento, tanto en muestras compactadas en laboratorio como en muestras inalteradas que representen las condiciones reales del terreno.

Ilustración 6: Ubicación de los apiques y CBR INALTERADOS



Fuente: elaboración propia a partir del desarrollo de la consultoría

El corredor vial denominado: “Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, se caracteriza por ser una vía rural se encuentra ubicado en la zona de expansión urbana del Municipio, presenta una pendiente longitudinal que oscila entre el 5.75% hasta el 12 por ciento.

Esta vía conecta la red urbana del Municipio con la rural. El ancho de la Calzada transitable oscila entre los 3 y 6 m, su longitud de intervención corresponde a 460 ml y su máxima velocidad de operación corresponde a los 20 km/h. Se tiene a lo largo del segmento vial, la conformación de predios, los cuales se encuentran debidamente limitados con cercas, cerramientos, paramentos y construcciones. Se evidenciaron taludes expuestos, y cortes de ladera que representan riesgo de

erosión por el efecto del agua y viento, por lo que el análisis de estabilidad de taludes se ha efectuado y se presenta su análisis y desarrollo en un informe a parte.

Actualmente la vía se encuentra en afirmado (Llenos granulares) compuestos principalmente por sub base granular mal gradada y con un alto de desgaste de sus componentes, su sentido de operación es bidireccional, por lo que no se recomienda reducir el ancho de la calzada actual.

Presenta una demanda vehicular baja, especialmente compuesta por vehículos, taxis, motocicletas y camiones máximo hasta C4, por lo que el tránsito de la vía se clasifica como T2 del manual de diseño de pavimentos asfalticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de vías, toda vez que el número de repeticiones de ejes de carga equivalentes a ejes sencillos de 8.2 toneladas corresponde a un T2. 150.000 a 500.000 en un periodo de diseño del pavimento es de veinte (20) años.

Ante la falta de una carpeta asfáltica o pavimento en concreto hidráulico a nivel de rasante, se tiene perdida de la capa granular existente por la exposición de los llenos a efectos ambientales y filtración de agua, especialmente en época de invierno, que con la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento, generalmente localizados en zonas sujetas a repetición de cargas de tránsito (huella dejada por la llanta del vehículo).

4.5 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO

El subsuelo del perfil estratigráfico de la zona de estudio, está conformado por un lleno conformado por recebo y gravas medianas, con un espesor promedio de 0.40 m. Subyacente, se encuentra una capa de material arcilloso de grano fino.

Ilustración 7: Consolidado de los resultados de los ensayos

CONTRATO DE CONSULTORIA 282 DE 2022

CUYO OBJETO ES: "CONTRATAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE VIAS URBANAS Y RURALES DEL MUNICIPIO DE SESQUILÉ CUNDINAMARCA

RESUMEN RESULTADOS DE SUELOS

Vereda Boitiva - Sector "Las Brisas" – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468

APIQUE No	LATITUD NORTE	LONGITUD ESTE	PROFUNDIDAD DESDE	PROFUNDIDAD HASTA	MATERIAL ENCONTRADO	CLASIFICACIÓN DEL SUELO		No muestra	Humedad Natural	Límite Líquido	Límite Plástico	Indice de Plasticidad	% de Finos	% de Gravas	% de Arenas	CBR SIN INMERSIÓN A 0.1"	CBR SIN INMERSIÓN A 0.2"	CBR CON INMERSIÓN A 0.1"	CBR CONINMERSIÓN A 0.2"
1	5° 3'5.5"N	-73°47'27.6"O	0	0.4	LLENO CONFORMADO POR RECEBO Y GRAVAS MEDIANAS														
			0.4	1.2	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA DE GRANO FINO COLOR CAFÉ DE BAJA PLASTICIDAD. CONDICIÓN DE HUMEDAD (RELLENO)	GC	A-6(3)	1	15.4	29.9%	17.70%	12.1	48	27	25	18.11	20.67	11.28	13.78
2	5° 3'0.3"N	-73°47'18.1"O	0	0.4	MATERIAL ORGANICO														
			0.4	1.2	ARCILLA ARENOSA DE GRANO FINO CON GRAVAS COLOR GRIS DE BAJA PLASTICIDAD CON PRESENCIA DE MATERIAL DE RELLENO. CONDICIÓN DE HUMEDAD	CL	A-4(2)	1	18.1	27.5	17.1	10.4	51	15	34	1.94	2.63	1.76	2.04
3			0	0.3	MATERIAL ORGANICO														
			0.30	1.2	ARCILLA ARENOSA DE GRANO FINO COLOR GRIS DE BAJA PLASTICIDAD, CON PRESENCIA DE MATERIAL ORGANICO. CONDICIÓN DE HUMEDAD	CL	A-4(4)		20.1	26.7	16.8	9.9	62	7	28	1.65	2.13	1.38	1.42
																PROMEDIO	7.23	8.48	4.81	5.75

Fuente: Elaboración a partir de los resultados de laboratorio de la consultoría

Basándonos en los resultados de los ensayos de laboratorio, podemos determinar que el tipo de suelo encontrado en el segmento vial es predominantemente arcilloso (CL-CH), con algunas zonas que presentan contenido de grava (GP).

El análisis del resultado de laboratorio, además del suelo descrito en el párrafo anterior, también indica que el suelo del segmento vial este compuesto por suelos granulares mal graduados (GM) y gravas bien graduadas (GW), lo que sugiere que el suelo puede ser relativamente resistente y estable en términos de carga y deformación. Sin embargo, también se observa que los componentes de los suelos tienen un alto desgaste, lo que indica una falta de cohesión y una tendencia a la erosión. El análisis de la topografía y características del sitio sugiere que la vía se encuentra en un área de pendientes longitudinales relativamente altas y que presenta riesgo de erosión debido a la exposición de taludes y cortes de ladera. Además, la falta de una capa de pavimento asfáltico o de concreto hidráulico ha llevado a la pérdida de la capa granular existente y la falla del pavimento en ciertas áreas, especialmente en zonas sujetas a repetición de cargas de tránsito. La geología indica que la formación Guaduas y la formación Arenisca Dura son las unidades geológicas presentes en la zona, lo que sugiere la presencia de arcillolitas, cuarzo arenitas y gravas en el suelo del segmento vial. En resumen, se puede inferir que el suelo del segmento vial es resistente pero propenso a la erosión, lo que podría requerir medidas de estabilización para garantizar la seguridad y la estabilidad de la vía.

El análisis granulométrico muestra que el suelo presenta un alto porcentaje de finos (arcilla y limo), lo que indica una baja permeabilidad y un comportamiento plástico y cohesivo. Además, la densidad relativa (DR) obtenida a partir del ensayo Proctor indica que el suelo se encuentra en un estado compactado medio-alto.

El índice de plasticidad (IP) es elevado, lo que indica que el suelo presenta una alta plasticidad y se comporta como un material cohesivo. El valor de CBR obtenido es

bajo, lo que indica una baja capacidad portante del suelo. Por lo que para el diseño de pavimento se debe considerar realizar el mejoramiento de la subrasante.

4.6 CBR DE DISEÑO

El CBR de diseño es el valor de CBR que se utiliza en el diseño de un pavimento para determinar su capacidad de soporte. Este valor se utiliza para determinar el espesor adecuado de la capa de base o subbase del pavimento y para asegurar que la capacidad de soporte del suelo o material granular sea adecuada para el tráfico previsto.

A partir de los resultados de laboratorio, se realiza la determinación del valor representativo de diseño considerando el valor de CBR para una penetración de 0.1” en condición después de inmersión 96 horas, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2: CBR segmento vial

RESUMEN RESULTADOS DE SUELOS Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468						
APIQUE No	CLASIFICACIÓN DEL SUELO		CBR SIN INMERSIÓN A 0.1"	CBR SIN INMERSIÓN A 0.2"	CBR CON INMERSIÓN A 0.1"	CBR CONINMERSIÓN A 0.2"
1	GC	A-6(3)	18.11	20.67	11.28	13.78
2	CL	A-4(2)	1.94	2.63	1.76	2.04
3	CL	A-4(4)	1.65	2.13	1.38	1.42
PROMEDIO			7.23	8.48	4.81	1.73

Fuente: Elaboración propia a partir del desarrollo de la consultoría y ensayos de laboratorio.

Nota: Se evidencia una variación significativa entre los valores de CBR para la muestra No 1, por lo tanto, no se incluye dentro del promedio.

Es menester informar que la recuperación de la muestra para determinar la relación de soporte de California (CBR), para suelos inalterados en laboratorio, se tomó a una profundidad promedio de 1.20 a 1.50 metros.

Se realiza la determinación del CBR de diseño para el corredor vial denominado: “VEREDA BOITIVA SECTOR LAS BRISAS”, a través de la determinación del promedio de los valores obtenidos con base en el promedio de los resultados de CBR en condición después de inmersión a 0.2”, se obtiene el siguiente CBR de diseño:

$$CBR = 1.73\ \%$$

El valor promedio obtenido, refleja una capacidad portante del suelo muy baja. Esta condición es consecuente con el tipo de material encontrado y a la profundidad de la extracción de la muestra, pues se tiene que el suelo predominante después de los 0.40 cm de material de relleno dispuesto en las vías, se encuentra una capa de material arcilloso de grano fino, el suelo presenta un alto porcentaje de finos (arcilla y limo), lo que indica una baja permeabilidad y un comportamiento plástico y cohesivo.

Según los resultados obtenidos de los ensayos de CBR realizados en el suelo natural de la subrasante, se pudo constatar que la capacidad portante del suelo natural es inferior al 1.7%. Este valor se encuentra por debajo de los límites recomendados en los manuales para el diseño de pavimentos. Por lo tanto, se hace necesario mejorar la capacidad de soporte de la subrasante mediante la instalación de una capa de rajón, para que el pavimento pueda soportar las cargas previstas en el diseño y reducir la deformación.

4.6.1 MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

En términos de clasificación de suelos, el rajón se puede definir por su granulometría en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) o la clasificación AASHTO. Dado que el rajón está compuesto principalmente por partículas más grandes y tiene muy poco contenido de finos (menos del 15% pasando por la malla No. 200), por lo que se clasificaría así:

- **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS):** El rajón se clasificaría como un Grava (G), posiblemente un GW o GP, dependiendo de la distribución del tamaño de las partículas y la cantidad de finos. GW significa grava bien graduada, y GP significa grava mal graduada.
- **Clasificación AASHTO:** En el sistema AASHTO, el rajón se clasificaría como un Grupo A-1, que es un grupo para materiales granulares gruesos.

El rajon se caracteriza por alcanzar un CBR > 10%, y mejorar el modulo de diseño de la subrasante, por lo que a partir del valor del CBR tanto del rajón (10%), como del CBR de la subrasante (1.73%).

Con el fin de determinar el módulo equivalente (medida de la resistencia de un suelo a la deformación y capacidad portante del suelo en pavimentos flexibles) en función de los resultados del CBR que es menor a 10%, se utiliza la siguiente formula de la AASTHO:

Ilustración 8: Modulo equivalente a partir de los CBR

$$Mr\ (psi) = 2555 * (\mathrm{CBR})^{0.65}$$

Fuente: AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transporte.

Ilustración 9: Modulo equivalente en Kg/cm2 a partir del CBR del mejoramiento y subrasante

DETERMINACION DEL MODULO EQUIVALENTE O RESILENTE DE LA SUBRASNATE Y DEL MEJORAMIENTO				
MEJORAMIENTO			**SUBRASANTE**	
CBR %	10.00		CBR %	1.73
Mpa	76.83 Mpa		Mpa	25.00 Mpa
Modulo Equivalente Rajón	11412.77 psi		Modulo Equivalente Sub rasante	3648.55 psi
Modulo Equivalente del Rajón en kg/cm2	802.40 kg/cm2		Modulo resilente y/o equivalente de la subrasante a kg/cm2	256.52 kg/cm2

Fuente: Elaboración a partir de las fórmulas de la AASHTO

Nota: Modulo *equivalente a* partir del CBR en *Kg/cm2 se usa la expresión:* 0.070307* $Mr\ (psi)$

Para determinar el grosor de mejora de la capa de rajón del segmento vial, se aplicó la metodología de IVANOV. Esta técnica calcula la capacidad de soporte equivalente del material de apoyo de la estructura, considerando la capacidad de soporte y el grosor de los diferentes estratos. El uso del rajón tiene como objetivo aumentar la resistencia estructural de la subrasante, limitar las huellas, y soportar las tensiones y deformaciones causadas por las cargas de tráfico, previniendo así la falla estructural del pavimento. Para encontrar el espesor de la capa de mejora con rajón, es necesario calcular primero la relación del módulo entre la subrasante y el mejoramiento:

Ilustración 10: Relación del módulo entre capa inferior (subrasante) y capa superior (mejoramiento)

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{modulo\ \ mejoramiento\ (rajon)}{modulo\ de\ la\ subrasante}}$$

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{802.40\ kg/cm2}{256.52\ kg/cm2}} = 1.58$$

Obtenida la relación del modulo equivalente entre la subrasante y el mejoramiento, se procede a calcular la altura de la capa de mejoramiento a partir del uso de la siguiente expresión:

lustración 11: Expresión para calcular el espesor del mejoramiento

$$h1 = \frac{2*acm}{n}*(\frac{\left[1-\frac{Esr}{Emj}\right]}{\frac{2}{\pi}*(1-\frac{1}{n^{3.5)}}})$$

Donde:

a=Radio del área cargada
Esr = Modulo resilente y/o equivalente de la subrasante a kg/cm2
EMj =Modulo Equivalente del Rajón en kg/cm2
n = Relación del módulo entre capa inferior y capa superior

lustración 12: Calculo del espesor del mejoramiento

$h1 = \frac{2*15\ cm}{1.58}*(\frac{\left[1-\frac{256.52}{802.40}\right]}{\frac{2}{\pi}*(1-\frac{1}{1.58^{3.5)}})}$= 25.48 cm; se aproxima a 30 cm por proceso constructivo

Una vez determinado el espesor de la capa de mejoramiento y la relación entre los módulos equivalentes de la subrasante y el mejoramiento, se procede a determinar el módulo equivalente compuesto por ambas capas de material, a pesar que cada una tiene su propio módulo de elasticidad. El módulo equivalente y/o resilencia es una forma de combinar estos diferentes módulos en un único valor que puede describir la respuesta del sistema completo a una carga aplicada.

lustración 13: Calculo del módulo equivalente compuesto

$$Eq = \frac{Esubrasante}{1-\frac{2}{\pi}\left(1-\frac{1}{n^{3.5}}\right)*tan^{-1}n*(\frac{hmejoramiento}{2a(cm)})}$$

$$Eq = \frac{256.52\ kg/cm2}{1-\frac{2}{\pi}\left(1-\frac{1}{1.58^{3.5}}\right)*tan^{-1}1.58*(\frac{30cm}{2(15cm)})}$$= 524.22 kg/cm2

Una vez efectuados los análisis, se concluye que se requiere mejorar la subrasante mediante la instalación de una capa de 0.30 cm de rajón seguida de una capa de sello y geotextil de separación a fin de evitar la migración de finos a la subrasante, lo que

permitirá aumentar la capacidad de soporte de la subrasante del suelo de 1.7% a 10%. Por lo que se toma un CBR de diseño del 10%.

Ilustración 14: Categoría de subrasante

CATEGORÍA	CBR (%)	COMPORTAMIENTO COMO SUBRASANTE
S1	CBR ≤ 3	Malo
S2	3 < CBR ≤ 5	Regular
S3	5 < CBR ≤ 10	Bueno
S4	CBR > 10	Muy Bueno

Fuente: manual de diseño de pavimentos asfalticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Invias, 2008.

5 CONDICIONES CLIMATICAS

En este capítulo del informe de geotecnia y pavimentos, se presentan las condiciones climáticas en el sitio donde se localiza el segmento vial Boitiva sector Las Brisas en el municipio de Sesquilé. La comprensión de estas condiciones es crucial para seleccionar los materiales adecuados para cada capa del pavimento y para garantizar su resistencia a las condiciones climáticas extremas. En este sentido, se detallará la temperatura promedio y se identificarán las condiciones climáticas extremas que puedan afectar el rendimiento del pavimento. Con esta información, se podrá tomar decisiones informadas sobre el diseño y construcción del pavimento para garantizar su durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas del sitio.

5.1 TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Sesquilé es un municipio que se encuentra en la región central de Colombia, cerca de la cordillera de los Andes, a una altitud de aproximadamente 2,700 metros sobre el nivel del mar. Debido a su ubicación geográfica, el clima de Sesquilé es de alta montaña, con temperaturas frescas y moderadas durante todo el año.

La temperatura anual promedio en Sesquilé es de alrededor de 13°C (55°F), con ligeras variaciones entre los meses más fríos y los más cálidos. Durante los meses de diciembre a febrero, que son los más cálidos, las temperaturas diurnas pueden alcanzar los 20°C (68°F) durante el día, mientras que las temperaturas nocturnas pueden descender a 5°C (41°F) o menos. Por otro lado, durante los meses más fríos, que son junio y julio, las temperaturas diurnas pueden oscilar entre 10°C (50°F) y 15°C (59°F), mientras que las temperaturas nocturnas pueden bajar a -5°C (23°F) o menos.

En general, se puede decir que Sesquilé tiene un clima fresco y moderado durante todo el año, con temperaturas diurnas agradables en los meses más cálidos y temperaturas nocturnas frías en los meses más fríos. Estas condiciones climáticas deben ser consideradas al seleccionar los materiales adecuados para la construcción del pavimento en el segmento vial Boitiva sector Las Brisas en el municipio de Sesquilé.

La temperatura promedio anual en Sesquilé, Colombia es de alrededor de 13°C (55°F). A continuación, se presenta una tabla con la temperatura promedio mensual en Sesquilé, según datos históricos:

Tabla 3: Temperatura Promedio anual

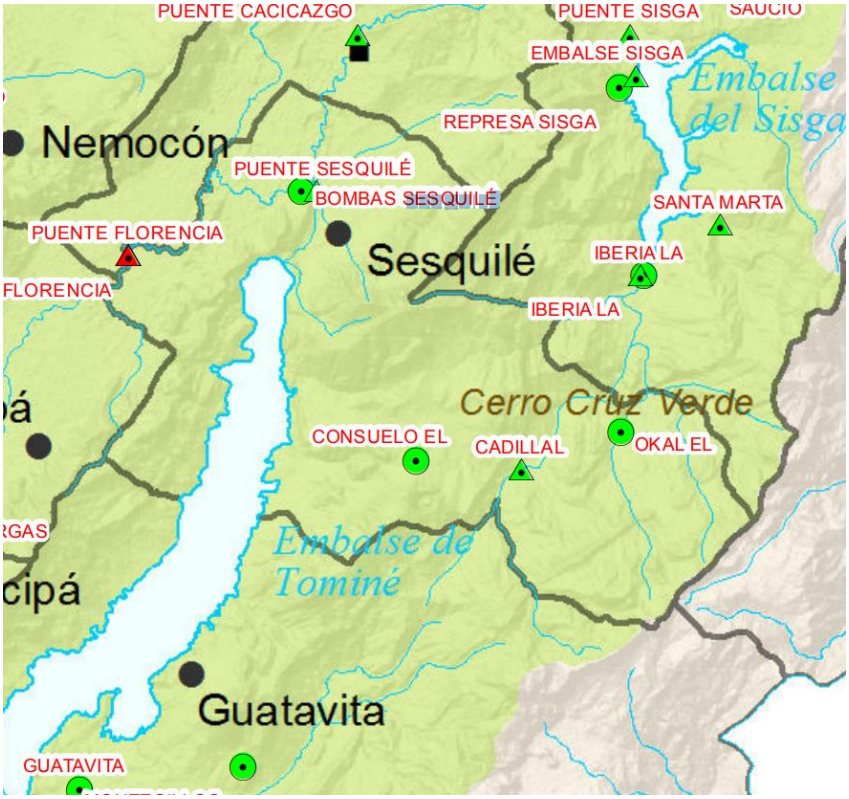
Mes	Temperatura Promedio (°C)
Enero	12.5
Febrero	13.2
Marzo	12.6
Abril	12.4
Mayo	12
Junio	11.6
Julio	11.4
Agosto	11.4
Septiembre	11.6
Octubre	11.8
Noviembre	12
Diciembre	12.2

Fuente: WorldWeatherOnline.com. (2022). Sesquilé, Colombia Weather History [Datos de tabla]. Recuperado de https://www.worldweatheronline.com/sesquile-weather-history/cundinamarca/co.aspx

5.2 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES ANUALES

Las precipitaciones medias mensuales anuales son la cantidad promedio de lluvia que cae en un lugar determinado durante un año. Se miden generalmente en milímetros (mm) y se obtienen a partir de los registros de precipitación medias anuales del area objeto de estudio, por lo que se analizaron los registros historicos de las estaciones del sistema de Informacion Climatologica e Hidrológica, para las estaciones 2120187 BOMBAS SESQUILÉ y 2120096 CONSUELO EL, que se encuentran ubicadas en el Municipio de Sesquile-Cundinamarca.

Ilustración 15: Consolidado de los resultados de los ensayos



Fuente: Histórico de series hidrometeorológicas de la CAR

A continuacion se muestran los registros historicos:

Ilustración 16: Registros históricos estación Bomba Sesquilé

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA

SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)

ESTACIÓN : 2120187 BOMBAS SESQUILÉ

Latitud	5° 2' 12,9" N	X=N=1048740	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. TOMINÉ	Categoría	PG
Longitud	73° 48' 39,3" W	Y=E=1029560	Municipio	SESQUILE	Cuenca	EMB. TOMINÉ	Fecha Instalación	1/01/1984
Elevación	2578 m.s.n.m		Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión	

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1984	16.3	45	78.4	52.4	103.1	76.4	37.7	64.1	100.4	35.3	101.4	4.9
1985	17.2	46.3	50	57.1	72.9	52.4	45.1	35.5	82	136.3	91.3	39.9
1986	23.5	109.5	70.4	43.7	76.6	87.5	82	33.9	38.4	184.4	69.9	9.3
1987	31.6	30.1	23.9	64.2	76.8	31.3	49.4	35.6	30.5	125.9	44.6	32.1
1988	6.6	35.4	24	37	70.6	57.7	52.4	81.9	74.4	73.8	87.3	51.4
1989	10.8	43	191.7	58.9	88.1	83	89.4	28.8	36.1	15.1	35.1	19.9
1990	409	46.9	30.8	79.1	72.2	48.3	31.1	40.6	15.3	133.2	37.8	91.4
1991	39.5	13.6	101.9	36.4	35	29	110.6	65.4	22.6	83.7	118.3	20.4
1992	11.1	42.8	38.3	42	22.9	21.7	64.4	39.2	54.6	13	109.9	53.7
1993	60.1	58.7	46.1	98.2	170.1	59.3	66.1	31.9	31.7	9.4	80.9	2.6
1994	28	26.6	46.2	62.4	93.9	40.4	48.9	60.9	30.2	66.2	73.9	8.5
1995	13.7	28	55.8	59.6	43.4	56.8	44.8	77.2	18.3	59.8	37	74.4
1996	33.2	53.9	77	34.5	66.6	39.1	129.6	17.8	41	38.4	40.7	14.2
1997	55	14.8	0.4	12.4	25	22.6	75.7	42.7	18.7	28.3	10.8	3.8
1998	1.8	3.8	55.6	20.9	19.3	3.7	2.9	16	44.5	28.7	9.5	2
1999	36.8	59.1	87.2	76.5	45.3	91.2	26.5	80.7	65	146.4	124.1	49.2
2000	95.3	64.9		9.7	27.7	54	64.6	68.3	95.9	86.5	35	21
2008	32.7	23	32.6	49.1	95.6	83	72.6	60.3	23.4	85.9	167.8	34.1
2009	64.6	19.1	82.8	31.8	61.2	37.6	58.1	51.8	30.6	50.7	47.7	2.5
2010	0	10.7	17.2	133.9	62.9	24.1	87	63.5	79.6	108.8	109.9	58.3
2011	14.8	31.8	115.3	226.1	97.2	62.3	45.2	31.6	39.2	143.8	207.6	39.4
2012	31.8	13.8	74.2	223.4	53	72.2	99.3	71.7	30.4	115.5	0	11.1
2013		48.2	45.7	100	121.3	16.4	54.9	57.6	26.3	68.5	130	53.3
2014	19	16.4	105.2	43	68.1	74.1	76.2	47.7	44.9	62.4	106.7	33
2015	3.5	41	29.7	23.8	14.3	101.4	80.7	63.2	12.7	1.8	74.8	8
2016	12.8	15.4	35.3	98.3	55.6	51.5	72.8	51.2	99.3	54.6	95.5	35.3
2017	88.4	46.8	142.3	57.7	119.8	80.7	59.1	41.7	38	25.9	58.8	63
2018	19.3	19.3	61.6	136.8	63.2	83.6	93.4	50.3	31.5	67.4	46.2	0

Fuente: Histórico de series hidrometeorológicas de la CAR

- Los meses de octubre, noviembre y diciembre registraron las cantidades más altas de lluvia en promedio, mientras que los meses de julio, agosto y septiembre registraron las cantidades más bajas de lluvia en promedio.
- El año 2015 registró la cantidad más alta de lluvia en la estación 2120187

Ilustración 17: Registros históricos estación CONSUELO EL

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA

SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)

ESTACIÓN : 2120096 CONSUELO EL

Latitud	4° 59' 26,8" N	X=N=1043640	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. TOMINÉ	Categoría	PM
Longitud	73° 46' 51,3" W	Y=E=1032890	Municipio	SESQUILE	Cuenca	EMB. TOMINÉ	Fecha Instalación	3/01/1967
Elevación	2933 m.s.n.m		Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión	

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1984	9.3	15.8	19	2	92.4	99.2	33	52.7	63.1	5.9	40.9	13.2
1985	6.9	15	29	34	155	98	30	53	50	70	132	66
1987	28	39	12	50	121	69	133	57	61	129	77	26
1988	0	17	31	35	127	96	106	58	81	75	89	51
1989	0	64	166	43	91	51	97	34	26	12	77	61
1990	7	55	34	62	123	75	59	36	6	103	52	56
1991	50	15	49	45	55	40	181	63	20	25	87	0
1993	40.4	28.4	37.6	116.6	173.6	148.6	122.8	89.3	49.2	74.5	103.1	4.2
1994	42.2	10.6	78	43.9	127.6	96.4	106.6	95.1	88.5	174.2	94.8	18.6
1995	1.5	15	59.4	18.1	85.6	71	95	81.4	26.9	71.6	28.3	42
1996	37	37.8	110.5	61.8	73.9	48.8	120.3	59.5	21.4	69.4	43.6	25.3
1997	81.6	55.2	35	59.9	103.8	70.9	151.3	81.4	24.9	19.1	42.5	13.5
1998	5.1	25.4	43.2	36.3	300	174.8	171.7	66.7	83.6	73.5	47	51.4
1999	69	95.9	131.8	117.6	70.8	181.6	33.3	123.5	136.5	152.7	68.4	31.2
2000	98.7	70.5	91.9	34	122.7	225.7	35.1	35.1	130	104.1	29	14
2001	0.2	19.4	89.1	47	107.2	85.1	107.3	72.2	134.2	112.7	89.5	29.4
2002	13	55.5	91.1	103.3	146.9	201.7	103.5	127.2	53.1	128.1	34.3	12
2003	16.7	32.5	94.5	82.9	72.8	70.5	139.4	67.9	60.7	167.5	69.1	42.4
2005		7.2	22.3	132.1	172	62.5	72.4	77.6	94.7	130.5	102.1	12.3
2006	12.4	0.4	137	240.3	142.9	113.9	65.9	4.1	61.3	207	60.9	42.9
2007	0	15.1	81.2	46.4	82.6	129.2	44.1	102.6	24.7	173.5	34.2	72.3
2009	31.9	22.4	58	59.1	92.2	61.2	132.5	84.9	51.8	91.2	34	1.6
2010	0	0	30.7	130.5	152	112.7	118.1	78.9	95.7	138.9	143.6	58.4
2011	18.8	106.8	158	231.9	179	95.8	99.5	64.9	54	246.8	300.2	64.9
2012	65.1	21.3	101.3	298	98.5	91.9	206.7	83.4	65.7	169.5	83.7	30.7
2013	4.5	53.5	48	112.1	166.2	42.4	97.8	95.3	59.8	84.4	264.7	35.8
2014	3.1	44.2	117.2	76.7	85.5	139.9	128.1	76.4	73.8	74	79.6	51.9
2015	13.3	21.6	28.2	66.2	59.7	197.4	147.5	112	24.7	16.4	89.5	13.5
2016	4.5	10.2	34.1	125.9	92.7	93.1	147.6	127.5	185.5	66.4	116.4	62.3
2017	18.2	82.4	161.6	125.6	158.6	55	91.4	39.4	70.1	45.7	58	37.7
2018	7.1	22.3	83.5	156.6	137.7	109.6	152.5	74	60.6	68.5	39.9	4.9

Fuente: Histórico de series hidrometeorológicas de la CAR

- Los meses de octubre, noviembre y diciembre registraron las cantidades más altas de lluvia en promedio, mientras que los meses de julio, agosto y septiembre registraron las cantidades más bajas de lluvia en promedio.

- El año 2018 registró la cantidad más alta de lluvia en la estación 2120096

5.3 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA PAVIMENTOS

Como resultado del clima y registro histórico de precipitación y pluviosidad del área objeto de estudio, se tiene que el clima característico y representativo es ligeramente húmedo, lo que se refiere a una condición en la que la humedad relativa en el ambiente es moderada, es decir, hay una cantidad significativa de vapor de agua en el aire, pero no tanto como para que sea considerado como un clima húmedo o tropical. No obstante, las precipitaciones pueden afectar la resistencia y la capacidad de carga del pavimento, ya que el agua puede penetrar en la capa de base y debilitarla. Además, la acumulación de agua en la superficie del pavimento también puede provocar problemas de drenaje y reducir la visibilidad de los conductores, así mismo se tiene que la humedad puede afectar la estabilidad del suelo debajo del pavimento, lo que puede provocar asentamientos y hundimientos en la superficie.

Por lo que se recomienda la implementación de un geodrén vial a lo largo de los bordes del pavimento que se intervendrá, conectado a las estructuras de drenaje existentes, los sumideros.

Esto permitirá que el agua sea drenada de manera adecuada y evite la acumulación en la superficie, disminuyendo así el riesgo de problemas en el pavimento y mejorando la seguridad vial. Además, el filtro geodrén ayudará a proteger la capa de base del pavimento de la infiltración de agua y reducirá los asentamientos en el suelo. Es importante tener en cuenta que el mantenimiento regular será clave para asegurar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

Ilustración 18: Geodrén vial



Fuente: Geo sistemas Pavco

En cuanto a la temperatura, se presenta fluctuaciones durante el día y la noche Las fluctuaciones en la temperatura ambiental tienen un efecto directo en la contracción y expansión del pavimento, lo que puede provocar la aparición de grietas y fisuras en la superficie.

En un clima ligeramente húmedo y templado se recomienda un pavimento que tenga buena resistencia a la humedad, que sea duradero y que pueda soportar los cambios de temperatura y las precipitaciones moderadas. A continuación, se presentan algunos tipos de pavimentos que pueden ser adecuados para este tipo de clima:

1. Asfalto: Los pavimentos de asfalto son comunes en áreas con climas templados y ligeramente húmedos. Son resistentes a la humedad y a las temperaturas cambiantes, y proporcionan una superficie suave y resistente al desgaste.
2. Pavimentos permeables: Los pavimentos permeables son una buena opción para climas ligeramente húmedos, ya que permiten que el agua se filtre a

través de ellos y se absorba en el suelo. Esto ayuda a reducir los problemas de inundaciones y a proteger la calidad del agua subterránea.

El coeficiente de drenaje es un factor que se utiliza para evaluar la capacidad del pavimento para drenar el agua de lluvia, se establece como valor el 1.1%, para pavimentos asfalticos.

Ilustración 19: Valores de m

Tabla 5.45
Valores de m_i recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y subbase granulares

Calidad del drenaje	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Aceptable	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da ed.). Bogotá, DC.

6 CLASIFICACIÓN DEL TRÁNSITO

Para la determinación del nivel de tránsito de las vías objeto de estudio, se tuvieron en cuenta los lineamentos técnicos establecidos en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para vías con Bajos Volúmenes de tránsito del INVIAS.

El segmento vial objeto de diseño en el presente estudio de pavimentación, presta servicio al parque automotor, el cual está especialmente compuesta por vehículos, taxis, motocicletas y camiones máximo hasta C4, efectuado el conteo vehicular y determinado tanto la composición vehicular, el factor de daño camión y la cantidad de números de ejes equivalentes que transitarán en un periodo de diseño de veinte (20) años sobre el corredor vial denominado: “Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, se tiene como resultado del estudio de tránsito, que el segmento vial Presenta una demanda vehicular baja, especialmente compuesta por vehículos, taxis, motocicletas y camiones máximo hasta C4, por lo que el tránsito de la vía se clasifica como NT2 -T1 del manual de diseño de pavimentos asfalticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de vías, toda vez que el número de repeticiones de ejes de carga equivalentes a ejes sencillos de 8.2 toneladas corresponde a 420252 de EALS “equivalent simple axial load”, presentando una demanda vehicular baja, especialmente compuesta por vehículos, taxis, motocicletas y camiones máximo hasta C4, por lo que el tránsito de la vía se clasifica como NT2-T1 del manual de diseño de pavimentos asfalticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de vías, toda vez que el número de repeticiones de ejes de carga equivalentes a ejes sencillos de 8.2 toneladas corresponde a un T2. 150.000 a 500.000 en un periodo de diseño del pavimento es de veinte (20) años.

En el informe de tránsito, se encuentran los valores obtenidos para la variable de tránsito, pues allí se sustenta la metodología y procedimiento que permitió determinar la clasificación y la categoría de la vía en función del tráfico, el periodo de diseño y su importancia.

7 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FEXIBLE

Se ha decidido diseñar una estructura de pavimento flexible para el segmento vial **Boitiva sector Las Brisas**, considerando las recomendaciones dadas por la comunidad y la alcaldía. Igualmente, se tiene que parte del corredor se encuentra pavimentada en asfalto. Por lo tanto, se busca mantener la continuidad del pavimento existe con el nuevo en asfalto y mantener la homogeneidad. Además, en base a las evaluaciones climáticas realizadas, se concluyó que el clima de la zona es ligeramente húmedo y templado, por lo que se recomienda un pavimento que tenga buena resistencia a la humedad, durabilidad para soportar los cambios de temperatura y las precipitaciones moderadas, así como que sea permeable.

El método de diseño de pavimentos flexibles de la Asociación Americana de Carreteras y Transporte (AASHTO) es un enfoque racional y científico para diseñar pavimentos flexibles para carreteras y autopistas. Este método utiliza modelos matemáticos para calcular el espesor adecuado de la estructura del pavimento, en función de las condiciones del tráfico, la subrasante, el clima y las características de los materiales del pavimento. El diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO se basa en la teoría de la elasticidad y la mecánica de suelos. El método considera varios factores, como el tráfico de diseño, el índice de servicio, la subrasante, el clima, las características del material de la capa base y del pavimento, entre otros. El resultado del diseño es un espesor de pavimento para cada capa de la estructura que garantiza una vida útil satisfactoria del pavimento.

7.1 VARIABLES DE DISEÑO

El diseño de la estructura de pavimento según el método AASHTO requiere la consideración de diversas características y factores, algunos de los cuales son:

7.1.1 EL PERIODO DE DISEÑO

Es el tiempo en años durante el cual se espera que el pavimento tenga un desempeño adecuado en términos de seguridad, funcionalidad y economía. El periodo de diseño se utiliza como una variable de diseño en el método AASHTO para determinar el espesor del pavimento requerido para soportar el tráfico y las condiciones climáticas previstas durante ese tiempo. El periodo de diseño para el presente proyecto es de 20 aunque puede variar dependiendo del uso previsto y otros factores de crecimiento del Municipio durante este tiempo.

7.1.2 MÓDULO RESILIENTE PARA LA SUBRASANTE

Es una medida de la capacidad de la subrasante para soportar las cargas del tráfico y resistir la deformación. El módulo resiliente obtenido durante el análisis de la exploración geotécnica y mejoramiento de la subrasante es de $5161.174\ psi$.

7.1.3 COEFICIENTES DE DRENAJE

Es necesario considerar la capacidad del pavimento para drenar el agua de lluvia y evitar el encharcamiento. En tal sentido, se propone para el presente estudio un coeficiente de drenaje (m) de 1.

Ilustración 20: Coeficiente de drenaje

Clasificación climática por humedad	m_i
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

Fuente: INVIAS. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá, D.C.

7.1.4 ESTUDIO DE TRÁNSITO

El número de repeticiones de ejes de carga equivalentes a ejes sencillos de 8.2 toneladas obtenido para el presente segmento vial corresponde a 420252 de EALS "equivalent simple axial load", presentando una demanda vehicular baja, especialmente compuesta por vehículos, taxis, motocicletas y camiones máximo hasta C4, por lo que el tránsito de la vía se clasifica como NT2-T1 del manual de diseño de pavimentos asfalticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de vías.

7.1.5 LA CONFIABILIDAD

Es una medida de la probabilidad de que el pavimento diseñado proporcione un nivel de servicio aceptable durante su vida útil prevista. En otras palabras, la confiabilidad indica qué tan probable es que el pavimento resista las cargas del tráfico y otras condiciones ambientales sin fallar o deteriorarse excesivamente. En el método de diseño AASHTO, la confiabilidad se mide a través del factor de daño acumulado (ADF, por sus siglas en inglés), que se relaciona con la probabilidad de que el pavimento alcance un nivel de deterioro específico antes de que termine su vida útil. El ADF se calcula utilizando modelos matemáticos que consideran las cargas del tráfico, la resistencia de los materiales y otros factores que afectan el desempeño del pavimento.

Ilustración 21: Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras

Tabla 5.44
Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras

Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 -99.9	80 -99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de Tránsitos	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 -80	50 -80

Fuente: Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da ed.). Bogotá, DC.

7.1.6 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es una medida de la variabilidad en la resistencia de los materiales utilizados en la construcción del pavimento. Se utiliza para determinar la capacidad del pavimento para soportar el tráfico y resistir la deformación y agrietamiento. El error en la predicción del comportamiento desarrollado por la AASHTO ROAD TEST fue de 0.35 para pavimentos flexibles, lo cual corresponde una desviación estándar total de 0.45.

7.1.7 ÍNDICES DE SERVICIABILIDAD

El Índice de Servicio Presente (PSI) es una medida de la calidad del servicio que proporciona una carretera en su estado actual. El PSI se calcula a partir de una serie de mediciones y evaluaciones de la condición del pavimento, la capacidad de carga, la seguridad y el confort del usuario. El PSI varía en una escala de 0 a 5, donde 0 indica que la carretera es imposible de usar y 5 indica una carretera perfecta en términos de calidad del servicio. El PSI se utiliza para evaluar la necesidad de mantenimiento y rehabilitación de la carretera y para priorizar las inversiones en infraestructura vial.

Para la pavimentación del presente segmento vial, se establece como índice de servicialidad inicial a 4.2 y un índice de servicialidad final de 2.2. Es importante mencionar que cuando se llegue a ese índice, se requerirá el mejoramiento y/o refuerzo del pavimento para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de la vía. Por lo tanto, se debe realizar un monitoreo constante del pavimento y programar el mantenimiento preventivo necesario para evitar una degradación mayor.

7.1.8 COEFICIENTES ESTRUCUTRAL DE LAS CAPAS

Las características de los materiales de pavimento se refieren a las propiedades físicas y mecánicas que tienen los materiales utilizados en cada capa de la estructura del pavimento. Para caracterizar estos materiales se utiliza la medición del módulo de elasticidad, que es la capacidad del material para recuperar su forma original después de haber sido sometido a una carga. Esta medición es importante para el diseño del pavimento, ya que permite determinar la resistencia y durabilidad del mismo.

El coeficiente de capa para el diseño estructural es un parámetro utilizado en el método AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles. Este coeficiente se refiere a la relación entre el espesor equivalente de una capa de pavimento y su módulo de elasticidad. En otras palabras, es una medida de la capacidad de una capa de pavimento para soportar cargas y transmitirlas a las capas subyacentes.

El coeficiente de capa y el módulo de elasticidad están relacionados a través de la ecuación de la teoría de la elasticidad de Boussinesq. Esta ecuación establece que la deflexión de la capa, que es una medida de la deformación que sufre la capa bajo una carga, está relacionada con el módulo de elasticidad de la capa y el coeficiente de capa. A mayor módulo de elasticidad, menor será la deflexión y, por lo tanto, mayor será la resistencia de la capa a la deformación. El coeficiente de capa, por su parte, es una medida de la resistencia a la deformación de la capa y depende de las propiedades mecánicas del material y del espesor de la capa. En resumen, el módulo de elasticidad y el coeficiente de capa están relacionados con la capacidad de la capa para soportar cargas y resistir la deformación.

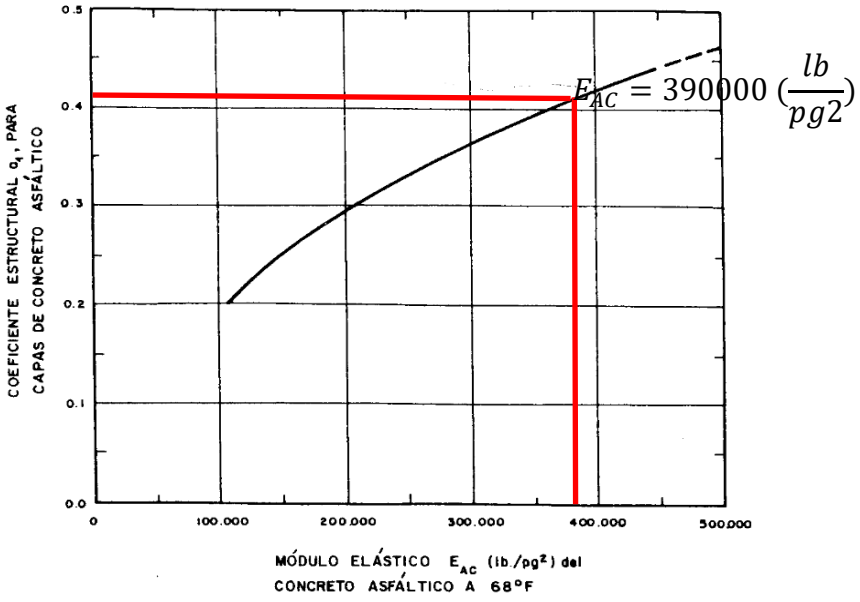
7.1.8.1 COEFICIENTE ESTRUCUTRAL DEL CONCRETO ASFALTICO $(a1)$

Ilustración 22: Coeficiente estructural del asfalto

Tipo de capa		Clasificación climática por temperatura	a_i
Descripción de la Capa	**Nomenclatura**		
Mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2	MDC-2	Frío	0.44
		Templado	0.41
		Cálido	0.37
Mezcla asfáltica densa en frío tipo 2	MDF-2	Frío	0.40
		Templado	0.37
		Cálido	0.34
Suelo estabilizado con emulsión asfáltica	BEE-3	Todas las categorías	0.14
Suelo estabilizado con cemento Portland	BEC	Todas las categorías	0.14
Base granular	BG	Todas las categorías	0.14
Subbase granular	SBG	Todas las categorías	0.12
Afirmado que cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-1	Todas las categorías	0.08
Afirmado que no cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-2	Todas las categorías	0.06

Fuente: INVIAS. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá, D.C.

Ilustración 23: Modulo resiliente del concreto asfáltico



Fuente: Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da ed.). Bogotá, DC.

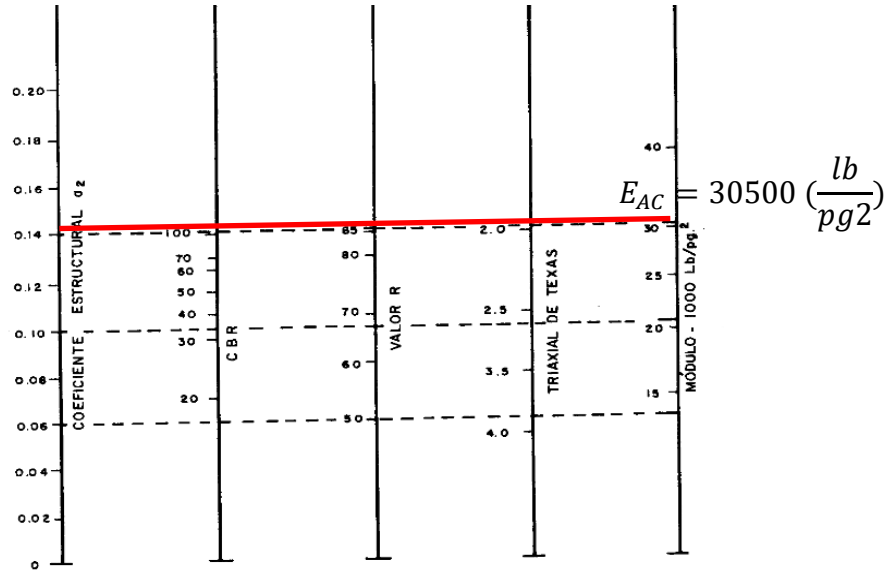
7.1.8.2 COEFICIENTE ESTRUCUTRAL DE LA BASE -BG $(a2)$

Ilustración 24: Coeficiente estructural de la Base -BG

Tipo de capa		Clasificación climática por temperatura	a_i
Descripción de la Capa	**Nomenclatura**		
Mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2	MDC-2	Frío	0.44
		Templado	0.41
		Cálido	0.37
Mezcla asfáltica densa en frío tipo 2	MDF-2	Frío	0.40
		Templado	0.37
		Cálido	0.34
Suelo estabilizado con emulsión asfáltica	BEE-3	Todas las categorías	0.14
Suelo estabilizado con cemento Portland	BEC	Todas las categorías	0.14
Base granular	BG	Todas las categorías	0.14
Subbase granular	SBG	Todas las categorías	0.12
Afirmado que cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-1	Todas las categorías	0.08
Afirmado que no cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-2	Todas las categorías	0.06

Fuente: INVIAS. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá, D.C.

Ilustración 25: Modulo resiliente de la Base Granular



Fuente: Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da ed.). Bogotá, DC.

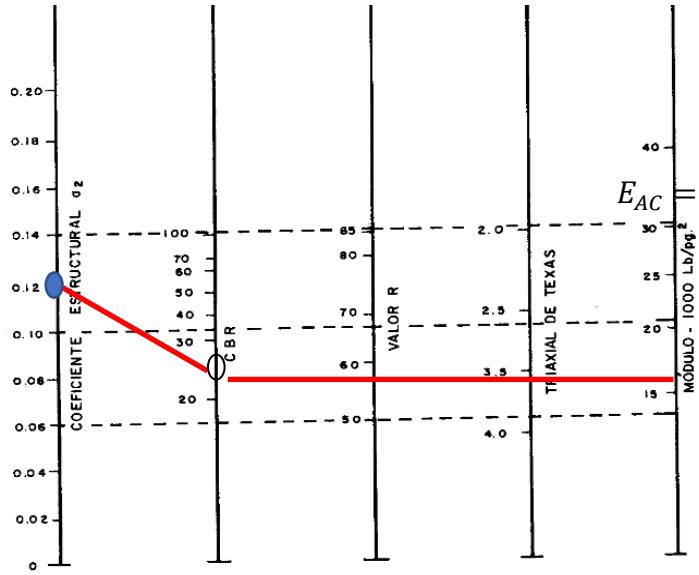
7.1.8.3 COEFICIENTE ESTRUCUTRAL DE LA SUBASE -SBG $(a3)$

Ilustración 26: Coeficiente estructural de la Subbase -BG

Tipo de capa		Clasificación climática por temperatura	a_i
Descripción de la Capa	**Nomenclatura**		
Mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2	MDC-2	Frío	0.44
		Templado	0.41
		Cálido	0.37
Mezcla asfáltica densa en frío tipo 2	MDF-2	Frío	0.40
		Templado	0.37
		Cálido	0.34
Suelo estabilizado con emulsión asfáltica	BEE-3	Todas las categorías	0.14
Suelo estabilizado con cemento Portland	BEC	Todas las categorías	0.14
Base granular	BG	Todas las categorías	0.14
Subbase granular	SBG	Todas las categorías	0.12
Afirmado que cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-1	Todas las categorías	0.08
Afirmado que no cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-2	Todas las categorías	0.06

Fuente: INVIAS. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá, D.C.

Ilustración 27: MODULO RESILIENTE DE LA SUB BASE GRANULAR



$$E_{AC} = 17000\ (\frac{lb}{pg2})$$

Fuente: Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da ed.). Bogotá, DC.

Conforme a las variables que se deben considerar para el diseño de la estructura de pavimento según el método AASHTO, se requiere la consideración de diversas características y factores relacionados con el tráfico, la calidad del servicio, la resistencia de los materiales, la confiabilidad, el drenaje y la capacidad de la subrasante para soportar las cargas del tráfico. Por lo que a continuación, se resumen las variables de diseño:

Tabla 4: Parámetros de diseño

PARAMETROS DE DISEÑO		
ITEM	**VARIABLE**	**VALOR**
1	PERIODO DE DISEÑO	20 años
2	MÓDULO RESILIENTE PARA LA SUBRASANTE MEJORADA	11412.77psi
3	COEFICIENTES DE DRENAJE	1.1
4	CONFIABILIDAD	80
5	So Desviación estándar	0.45
6	ÍNDICES DE SERVICIABILIDAD PSI INICIAL	2
7	ÍNDICES DE SERVICIABILIDAD PSI PSI FINAL	4.2
8	COEFICIENTE ESTRUCUTRAL DEL CONCRETO ASFALTICO (a1)	0.41
9	COEFICIENTE ESTRUCUTRAL DE LA BASE -BG (a2)	0.14
10	COEFICIENTE ESTRUCUTRAL DE LA SUBASE -SBG (a3)	0.12
11	MODULO RESILIENTE DEL CONCRETO ASFALTICO	390000
12	MODULO RESILIENTE DE LA BASE GRANULAR	30500
13	MODULO RESILIENTE DE LA SUB BASE GRANULAR	17000

Fuente: Elaboración a partir del desarrollo de la consultoría

La ecuación utilizada para el diseño de pavimentes flexibles, deriva de la información dada por la AASHTO ROAS TEST, la cual es la siguiente:

Ilustración 28: Ecuación de diseño

$$\text{Log } W_{18} = ZR \times S_0 + 9.36 \text{ Log}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\Delta PSI/\ 4.2 - 1.5\right)}{0.40\ \left(1.094/(SN+1)^{5.19}\right)} + 2.32 \text{ Log } Mr - 8.07$$

Fuente: Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da ed.). Bogotá, DC.

Donde:

- W_{18} = Número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas.
- ZR= Desviación estándar normal
- S_0=Error estándar combinando de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento.
- ΔPSI=Diferencia entre el índice de servicio inicial y el final.
- M_R= Modulo resiliente
- SN= a1d1+a2d2m2+a3d3m3
- A=Coeficiente estructural de la capa i, asfalto, base y subase.
- d1=espesor de la capa i en pulgadas
- mi=coeficiente de drenaje de la capa.

El SN es un número que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo (MR) del tránsito total (W18), de la servicialidad terminal, y de las condiciones ambientales.

Para determinar el espesor requerido de las capas de la estructura de pavimento se utilizaron las siguientes Expresiones:

$$h1 = \frac{SN1}{a1} \qquad h2 = \frac{SN2 - SN1^*}{a2m2} \qquad h3 = \frac{SN3 - SN2^*}{a3m3}$$

- $a1 = 0.184Ln(EcapaRodadura) - 1.9597$
- $a2 = 0.249\log(EcapaBaseGranular) - 0.977$
- $a3 = 0.227l\ln(EcapaSubBaseGranular) - 0.839$

Dónde:

- $h1 =$ Espesor de la capa de rodadura
- $h2 =$ Espesor de la capa de Base Granular
- $h3 =$ Espesor de la Sub Base Granular
- $a1 =$ Coeficiente Estructural de la Capa de Rodadura
- $a2 =$ Coeficiente Estructural de la Base Granular
- $a3 =$ Coeficiente Estructural de la Sub Base Granular
- $SN1 =$ Numero Estructural de las capas

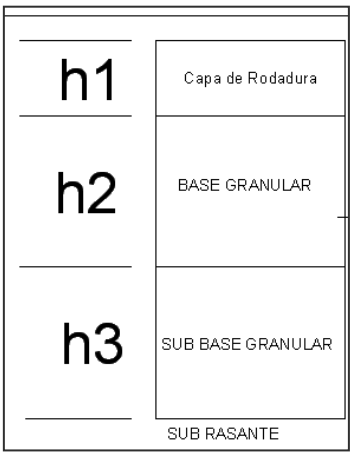
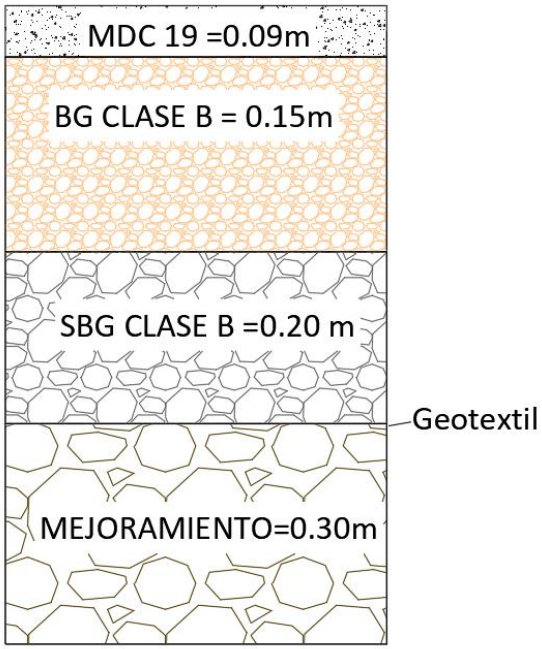


Tabla 5: Calculo de la estructura de pavimento flexible

W18	420252	Log W18	5.6235
Zr	-0.84		
so	0.4		
DPSI	2.2		
Mr subrasante [psi]	11412.77		
SN3	2.890	Resultado	6.263
W18	420252	Log W18	5.62
Zr	-0.84		
so	0.4		
DPSI	2.2		
Mr subbase [psi]	17000		
SN2	2.130	Resultado	5.820
W18	420252	Log W18	5.6
Zr	-0.84		
so	0.4		
DPSI	2.2		
Mr base [psi]	$ 32,000		
SN1	1.470	Resultado	5.51
a1	0.41	390000	
a2	0.140	30500	
a3	0.121	17000	
m2	0.80		
m3	0.80		

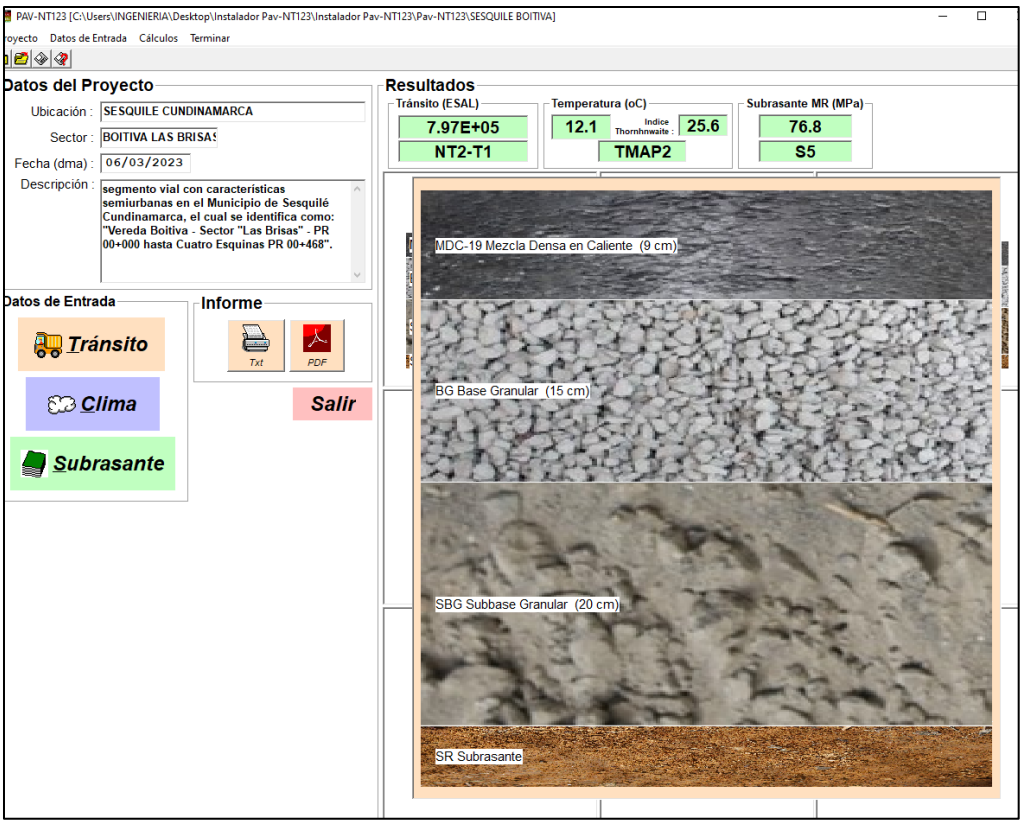


MATERIAL	FINAL							
ASFALTO	h1 [inch]	3.550	h1 [cm]	9.0	9.0		SN1*	1.467
BASE	h2 [inch]	5.935	h2 [cm]	15.1	15.00		SN2*	2.127
SUBASE	h3 [inch]	7.864	h3 [cm]	20.0	20.0			

1.47	SN1
2.13	SN2
2.890	SN3

Con el proposito de validar los resultados obtenidos, se Ingresan las varibles y se hace el caluclo y anlisis en PAV-NT123, el cual es un software de diseño y análisis de pavimentos desarrollado por la Universidad del cauca en base al software del Centro de Investigación del Transporte (CIT) de la Universidad de California en Berkeley, Estados Unidos, que se utiliza para el diseño de pavimentos para vías con diferentes niveles de tráfico, para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. El software PAV-NT123 utiliza modelos matemáticos avanzados, como el método de elementos finitos, para analizar el comportamiento del pavimento bajo diferentes cargas y condiciones climáticas, y para determinar la combinación óptima de espesores de capas de pavimento y materiales para lograr una vida útil satisfactoria.

Ilustración 29: Calculo de estructura de pavimento flexible

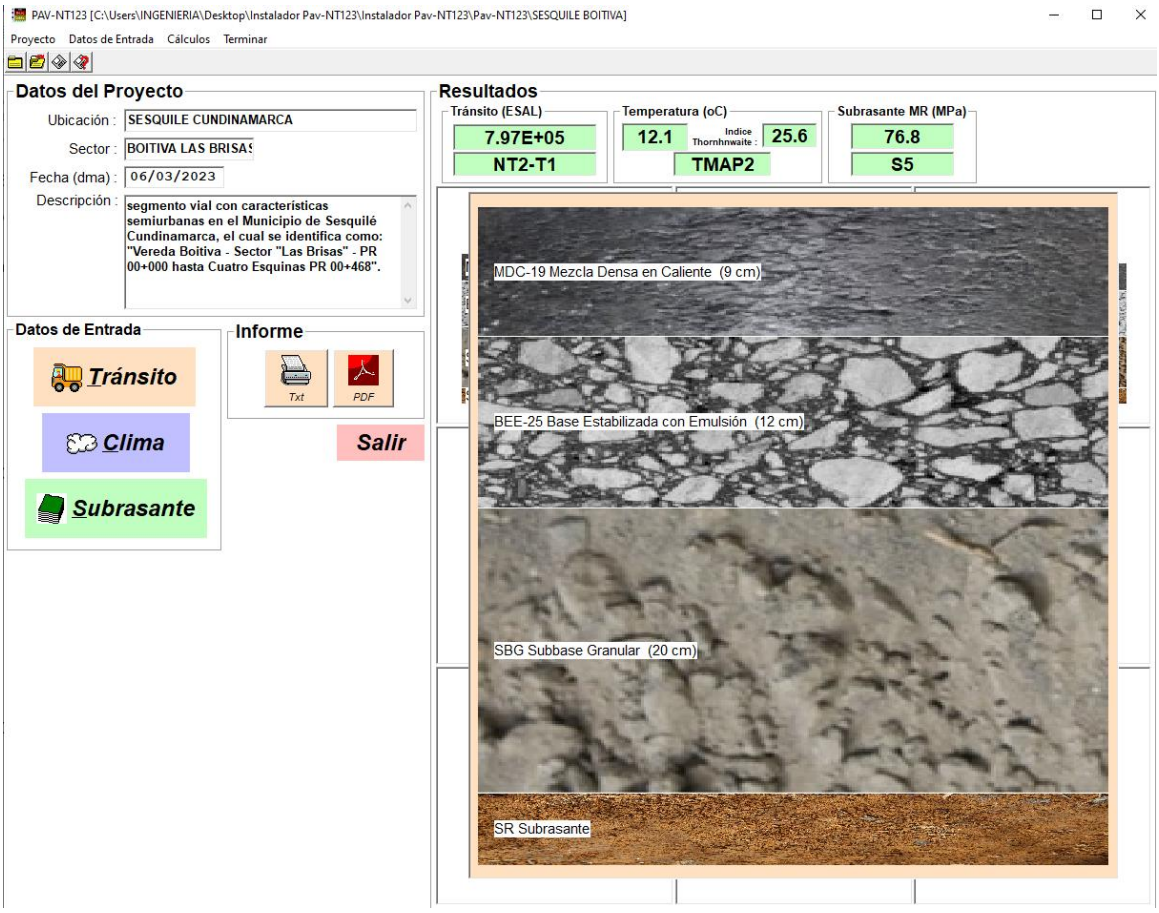


Fuente: Elaboración a partir del modelamiento en PAV-NT123

Como se puede observar, la estructura obtenida en el software PAV-NT123, arroja los mismos espesores obtenidos en el cálculo de la estructura de pavimento.

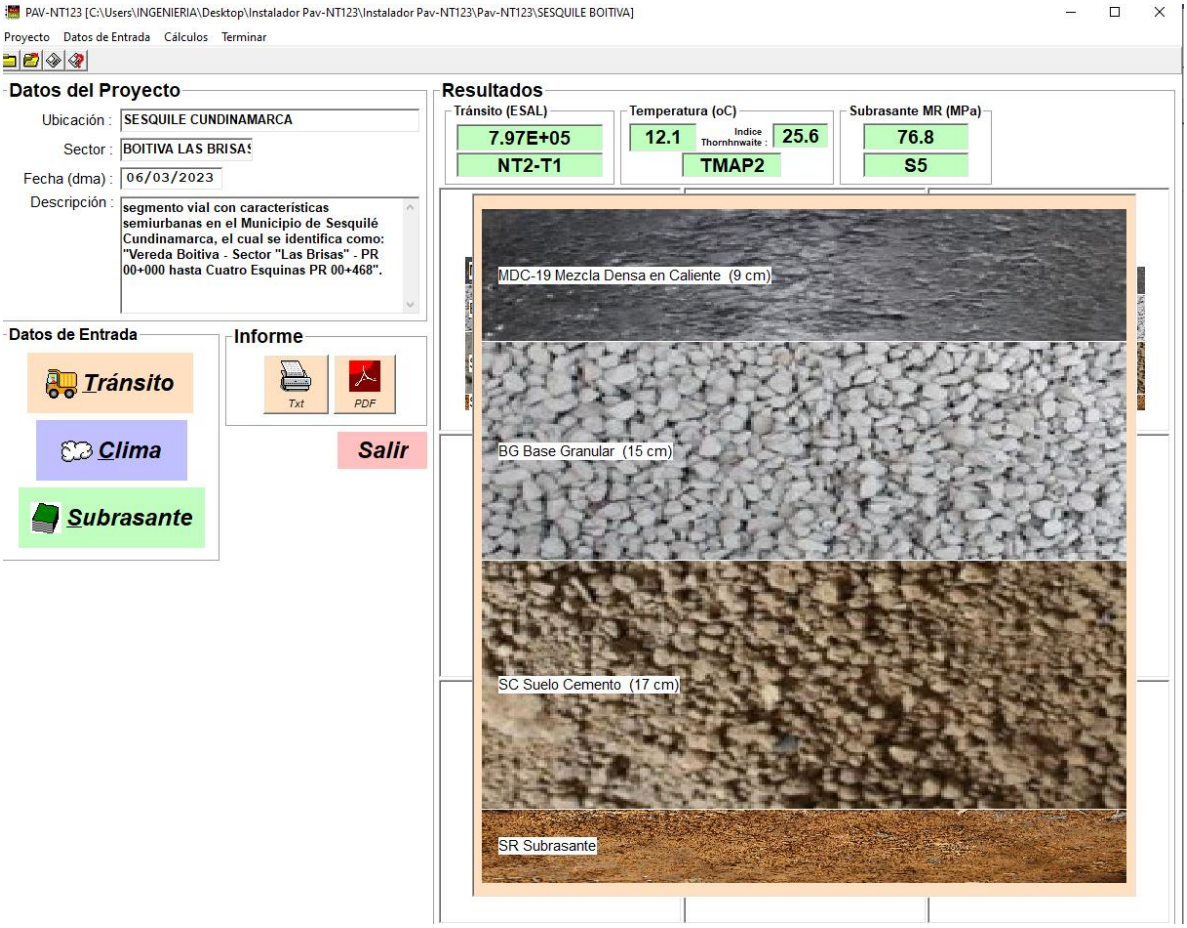
El software también planeta otras dos alternativas para la construcción del pavimento. Es de advertirse que para cualquiera de las alternativas se requiere la implementación del mejoramiento de la subrasante.

Ilustración 30: Calculo de estructura de pavimento flexible con base estabilizada con emulsión asfáltica



Fuente: Elaboración a partir del modelamiento en PAV-NT123

Ilustración 31: Calculo de estructura de pavimento flexible con suelo cemento.



Fuente: Elaboración a partir del modelamiento en PAV-NT123

8 ESPECIFICACIONES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

A continuación, se relacionan las recomendaciones constructivas para cada una de las capas que conforman las diferentes alternativas de conformación del pavimento, pues dentro de la modelación se obtuvieron tres estructuras de pavimentos que se pueden implementar para la pavimentación del segmento vial denominado: “Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468.

Las disposiciones generales se realizan en virtud de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Invias del 2022, adoptada por el Instituto Nacional de VIAS bajo la resolución Numero 4561 del 29 de noviembre de 2022, para afirmados, subases, bases y pavimentos asfalticos.

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad y la inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que se exigen en estas especificaciones y la Norma INVIAS.

8.1 ESPECIFICACIONES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS

Después de realizar diferentes modelaciones para determinar los espesores de la estructura de pavimento flexible del segmento vial VEREDA BOITIVA - SECTOR “LAS BRISAS” – PR 00+000 HASTA CUATRO ESQUINAS PR 00+468, se ha concluido que se requiere un espesor de 10 cm para la carpeta en rodadura, con un coeficiente estructural del concreto asfáltico (a1) de 0.41 y un módulo resiliente mínimo del concreto asfáltico de 390,000 lb/Pg2. Es responsabilidad del constructor asegurarse de que el módulo resiliente de la mezcla no sea inferior a 390,000 lb/Pg2 en ninguna circunstancia, ya que este valor indica la capacidad de la mezcla para recuperar su forma original después de ser sometida a cargas repetidas (rigidez).

A continuación, se enlistan los principales tipos de mezclas asfálticas, MDC, MSC y MGC, la cuales se diferencian en su composición y en las características de los materiales que se utilizan en su elaboración:

- La mezcla MDC (Mezcla densa en caliente) se caracteriza por ser una mezcla con alta proporción de asfalto y agregados finos, lo que le confiere una alta

resistencia al desgaste y a la deformación bajo cargas de tráfico pesado. Suele utilizarse en carreteras de alta velocidad y alto tráfico, como autopistas

- La mezcla MSC (Mezcla de gradación densa) se compone de una mezcla de áridos finos y gruesos, con una menor cantidad de asfalto que la mezcla MDC. Esto le confiere una mayor resistencia a la fatiga y a las deformaciones permanentes en climas fríos. Se utiliza principalmente en zonas con clima frío y con tráfico moderado a alto.
- Por último, la mezcla MGC (Mezcla gruesa en caliente) se compone de una mayor proporción de áridos gruesos y una menor cantidad de asfalto, lo que le confiere una mayor resistencia a la deformación permanente en zonas con altas temperaturas. Se utiliza principalmente en zonas con climas cálidos y tráfico moderado a alto.

Para una vía con NT2 -T1 en Sesquilé, Cundinamarca, la mezcla más adecuada sería la MDC (Mezcla densa en caliente), ya que esta mezcla tiene una alta resistencia al desgaste y a la deformación bajo cargas de tráfico pesado, lo que la hace ideal para vías con volumen de tráfico medio y que soportan cargas pesadas, como es el caso de una vía con NT2-T1. Además, la MDC también proporciona una buena adherencia al neumático, lo que aumenta la seguridad vial en condiciones de lluvia.

Para la selección del tipo de mezcla a utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa, se tiene la siguiente tabla del capitulo 4- de pavimentos Asfálticos de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS:

Ilustración 32: Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de capa	Espesor de capas de compactación (mm)	Tipo de mezcla
Rodadura	30 — 40	MDC-10
	40 — 60	MDC-19, MSC-19
	> 60	MDC-25, MDC-19, MSC-19, MAM-19
Intermedia	> 50	MDC-25, MSC-25
Base	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25
	60 — 130	MAM-25
Bacheos	50 — 75	MSC-25, MGC-25
	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 450-6: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Se selecciona La MDC 19, teniendo en cuenta que el espesor de la carpeta es de 10 cm, LA MDC 19 es una mezcla asfáltica en caliente de tipo densa utilizada comúnmente en la construcción de capas de rodadura en pavimentos flexibles. Esta mezcla se compone de agregados pétreos, filler mineral y un ligante asfáltico de alta calidad, que se mezclan en una planta de asfalto y se colocan en obra con temperatura de aplicación entre 140°C y 160°C. La MDC 19 tiene una granulometría continua y bien graduada, lo que le otorga una alta resistencia mecánica y durabilidad en servicio. Esta mezcla se utiliza generalmente en carreteras de tráfico medio y pesado, como autopistas, vías urbanas y rurales de alto volumen de tráfico. La MDC 19 es una de las mezclas asfálticas más comunes en la construcción de pavimentos flexibles en Colombia.

El suministro de la mezcla densa en caliente (MDC 19) debe ser a través de una planta certificada, con un sistema de mezclado y entrega de tipo continuo, con un

sistema de dosificación de agregados en caliente, capaz de manejar simultáneamente el número de fracciones de agregado que exija la fórmula de trabajo adoptada, y cumplir con las tolerancias especificadas en el artículo correspondiente al tipo de mezcla que se vaya a elaborar.

Las plantas productoras de mezcla asfáltica deben cumplir lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de vertimientos en cuanto a la calidad del ambiente (agua, suelos y aire); para su funcionamiento en la obra, se debe presentar previamente a la Alcaldía de Sesquilé la autorización correspondiente o el permiso vigente de emisiones atmosféricas, expedido por la entidad nacional o regional encargada de otorgar tales permisos.

8.2 ESPECIFICACIONES PARA LA BASE GRANULAR

La base granular es un tipo de pavimento compuesto por materiales pétreos como grava y arena, que se compactan y nivelan para crear una superficie firme y estable. En el diseño de la estructura del pavimento para el segmento vial - Vereda Boitiva - Sector "Las Brisas" - PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, se han considerado tres posibles estructuras de pavimento, en dos de las cuales se ha incluido una capa de base granular con un coeficiente estructural del concreto asfáltico (a2) de 0.14 y un módulo resiliente mínimo del concreto asfáltico de 30500 lb/Pg2. Es responsabilidad del constructor asegurarse de que el módulo resiliente de la Base no sea menor a 30500 lb/Pg2 en ninguna circunstancia, ya que este valor indica la capacidad de la Base para recuperar su forma original después de ser sometida a cargas repetidas (rigidez).

La Tabla 330-2 de las Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS establece tres clases de base granular según la calidad de los agregados (clases A, B y C).

Ilustración 33: Clases de base granular

Clase de base granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Para la base de las diferentes alternativas de estructura de pavimento modeladas, se ha especificado la Clase B de base granular. Los agregados utilizados deben cumplir con los requisitos establecidos a continuación:

Ilustración 34: Requisitos de los agregados para bases granulares tabla 330-2

Tabla 330 — 2. Requisitos de los agregados para bases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Base granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 35 7	 40 8	 40 8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	25	30	-
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	 90 75	 70 75	 - -
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 1): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18	 12 18	 12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%).	E-125	-	-	25
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	0	0	3
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 2).	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Geometría de las Partículas (F)				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%).	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%). (Nota 3): - Una cara - Dos caras	E-227	 90 85	 70 50	 50 -
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%).	E-239	35	35	-
Resistencia de material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se debe medir sobre muestras sometidas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión.	E-148	≥ 95	≥ 80	≥ 80

Nota 1: el ensayo de solidez se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio, de acuerdo con los documentos del proyecto, o con lo solicitado por el interventor.

Nota 2: el ensayo de valor de azul de metileno solo se debe exigir cuando el equivalente de arena del material de base granular sea inferior a treinta por ciento (30 %), pero igual o superior a veinticinco por ciento (25 %).

Nota 3: se puede reducir el porcentaje de partículas con caras fracturadas, siempre y cuando el constructor demuestre, mediante ensayos de laboratorio o tramos de prueba, que no se ve afectada la resistencia requerida por los materiales.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

La Clase B de Base granular permite un rango de tamaños de partículas más amplio que la Clase A, con una mayor proporción de agregados gruesos y menos agregados finos. Para asegurar la uniformidad y paralelismo de la curva granulométrica y evitar la segregación, el material debe ajustarse a una fórmula de trabajo propuesta por el constructor y aprobada por el interventor. Los agregados gruesos deben ser partículas resistentes y durables, mientras que los agregados finos deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas y partículas minerales que pasen el tamiz de 0,075 mm. La relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm y el porcentaje que pasa el tamiz de 0,425 mm no debe exceder los dos tercios del espesor de la capa compactada, y el tamaño máximo nominal no debe exceder un tercio del mismo espesor. Además, no se deben usar materiales que se quiebren o degraden con los ciclos de humedecimiento-secado.

Ilustración 35: Franjas granulométricas del material de base granular

Tabla 330 — 3. Franjas granulométricas del material de base granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	1½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
Bases granulares de gradación gruesa								
BG-40	100	75 — 100	65 — 90	45 — 68	30 — 50	15 — 32	7 — 20	0 — 9
BG-27	-	100	75 — 100	52 — 78	35 — 59	20 — 40	8 — 22	0 — 9
Bases granulares de gradación fina								
BG-38	100	70 — 100	60 — 90	45 — 75	30 — 60	20 — 45	10 — 30	5 — 15
BG-25	-	100	70 — 100	50 — 80	35 — 65	20 — 45	10 — 30	5 — 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

AS 2022

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

8.3 ESPECIFICACIONES PARA LA BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON EMULSION.

Una base granular estabilizada con emulsión es una capa de material pétreo que se ha tratado con una mezcla de agua y un ligante bituminoso para mejorar su resistencia y durabilidad.

En el diseño de la estructura del pavimento para el segmento vial - Vereda Boitiva - Sector "Las Brisas" - PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, se han considerado tres posibles estructuras de pavimento, donde una de las alternativas considera la inclusión de una capa de base granular estabilizada con emulsión con y coeficiente estructural del concreto asfáltico (a2) de 0.14 y un módulo resiliente mínimo de 30500 lb/Pg2. Es responsabilidad del constructor asegurarse de que el módulo resiliente de la Base estabilizada con emulsión no sea menor a 30500 lb/Pg2 en ninguna circunstancia, ya que este valor indica la capacidad de la Base para recuperar su forma original después de ser sometida a cargas repetidas (rigidez).

Para estabilizar una capa de material pétreo con emulsión asfáltica, se pueden usar agregados de roca de cantera, grava natural o una mezcla de ambos. Los agregados deben estar libres de materia orgánica, terrenos de arcilla u otras sustancias dañinas. Además, deben tener una gradación que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 340-1 y que debe ser indicada en los documentos del proyecto.

Ilustración 36: Franjas granulométricas de los agregados bases con emulsión.

Tabla 340 — 1. Franjas granulométricas de los agregados para construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Tipo de material	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,425	0,150	0,075
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 40	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
BEE-38	100	80 — 95	50 — 80	45 — 75	30 — 60	20 — 45	10 — 27	5 — 18	3 — 15
BEE-25	-	100	60 — 90	50 — 80	30 — 60	20 — 45	10 — 27	5 — 18	3 — 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	5 %							3 %	

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

En adición a los requisitos de granulometría de la Tabla 340 — 1, la relación de polvo [% pasa tamiz nro. 200/% pasa tamiz nro. 40] no debe exceder de los dos tercios (2/3). Además, el producto del porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) del agregado combinado por su índice de plasticidad, no puede ser mayor de setenta y dos (72) con ambos valores dados como porcentajes.

Igualmente, los agregados deben cumplir los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 340 — 2.

Ilustración 37: Requisitos de los agregados pétreos para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Tabla 340 — 2. Requisitos de los agregados pétreos para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 50 10
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%). (Nota).	E-238	45
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos (tránsitos NT2 y NT3): - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínima (%)	E-224	 30 50

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%).	E-220	18
Limpieza, gradación combinada (F)		
Límite líquido, máximo (%).	E-125	35
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	7
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	20
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2
Porcentaje de partículas fracturadas, mínimo (%).	E-227	50
Índice global de partículas aplanadas y alargadas, máximo (%).	E-230	50
Capacidad de soporte (F)		
CBR del material sin emulsión asfáltica (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo: - NT1 - NT2 o NT3	E-148	 20 30

Nota: este requisito no es necesario para obras con tránsito NT1.

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Se recomienda usar una base clase B- y entregar al interventor muestras de los materiales con resultados de ensayos para su verificación. Si el interventor encuentra objeciones, el constructor debe hacer las modificaciones necesarias. Una vez aprobados los materiales, se debe definir el contenido óptimo de agua y diseñar la mezcla. El contenido óptimo de agua se basa en la experiencia y debe permitir un cubrimiento uniforme del material. Las mezclas de base estabilizada con emulsión asfáltica se deben diseñar según la Tabla 340-6.

Ilustración 38: Método de diseño para mezclas de bases estabilizadas con emulsión

Tabla 340 — 6. Método de diseño para mezclas de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Tipo de base estabilizada	Norma de ensayo	Método
BEE-38 y BEE-25	INV E-622	Inmersión-compresión
BEE-5	NLT 170/77	Extrusión

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Para el diseño de la mezcla por resistencia, se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante y determinar el contenido óptimo aplicando los criterios de la Tabla 340-7. Para el diseño de la mezcla por el método de extrusión, se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante y determinar el contenido óptimo según la Tabla 340-8.

Ilustración 39: Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica

Tabla 340 — 7. Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica para bases estabilizadas con agregados pétreos BEE-38 y BEE-25

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia de probetas curadas en seco *Rs*, mínimo (MPa).	E-622	1,5
Resistencia conservada tras curado húmedo *Rc* = *Rh*/*Rs*, mínimo (%).		75

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Ilustración 40: Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de emulsión para base estabilizada con suelos granulares.

Tabla 340 — 8. Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica para bases estabilizadas con suelos granulares BEE-5

Parámetro	Norma de ensayo	Valor
Extrusión seca, mínimo (N)	NLT 170/77	4 500
Extrusión húmeda, mínimo (N)		1 500
Absorción de agua, máximo (%)		7
Hinchamiento, máximo (%)		5

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

INFORME DE DISEÑO DE LA MEZCLA DE LA BASE ESTABILIZADA

El informe de diseño de la mezcla que debe presentar el constructor para su consideración y eventual aprobación por parte del interventor debe contener la siguiente información:

1. Identificación y proporción de cada fracción del material granular en masa seca.
2. Granulometría de cada fracción del material granular y la granulometría combinada.
3. Porcentaje de agua para mezcla y compactación en relación con la masa seca del componente mineral.
4. Porcentaje óptimo de ligante residual y de emulsión en relación con la masa seca del material granular.

5. Identificación y dosificación de puzolanas y aditivos, si se requieren, que deben ser de la misma marca utilizada tanto en las pruebas de laboratorio como en la fase de experimentación y en la ejecución de los trabajos.
6. Resistencias obtenidas a la compresión en la prueba de inmersión-compresión o en la prueba de extrusión.
7. Peso unitario seco máximo y el contenido de agua óptimo correspondientes a la dosificación de diseño.

Es importante que el informe sea claro y completo, proporcionando la información necesaria para que el interventor pueda aprobar la fórmula de trabajo propuesta. Cada tramo homogéneo debe tener su propia fórmula de trabajo y por lo tanto, su propio informe de diseño de la mezcla. Además, se debe tener en cuenta que los materiales y aditivos utilizados en la fórmula de trabajo deben ser de alta calidad y de la misma marca utilizada en las pruebas de laboratorio y experimentación.

La fórmula de trabajo del laboratorio puede ser ajustada según las pruebas realizadas durante la experimentación. Si cambia algún componente durante la construcción, se necesita una nueva fórmula. La aprobación del interventor es necesaria antes de iniciar la construcción. El constructor es responsable de cumplir con la calidad exigida. Junto con la fórmula de trabajo, se deben indicar las características de cada etapa del proceso constructivo.

8.4 ESPECIFICACIONES PARA LA SUB BASE GRANULAR

La sub base granular es un tipo de pavimento compuesto por materiales pétreos como grava y arena, que se compactan y nivelan para crear una superficie firme y estable, denomina subbase granular a la capa o capas granulares localizadas entre la subrasante y la base granular o la capa estabilizada.

En el diseño de la estructura del pavimento para el segmento vial - Vereda Boitiva - Sector "Las Brisas" - PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, se han considerado tres posibles estructuras de pavimento, con un coeficiente estructural de (a3) de 0.12 y un módulo resiliente mínimo de la subbase de 17000 lb/Pg2. Es responsabilidad del constructor asegurarse de que el módulo resiliente de la subbase no sea menor a 17000 lb/Pg2 en ninguna circunstancia, ya que este valor indica la capacidad de la Base para recuperar su forma original después de ser sometida a cargas repetidas (rigidez).

La Tabla 330-1 de las Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS establece tres clases de subbase granular según la calidad de los agregados (clases A, B y C).

Ilustración 41: Clases de sub base granular

Tabla 320 — 1. Uso típico de las diferentes clases de subbase granular

Clase de subbase granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Para la subase de las diferentes alternativas de estructura de pavimento modeladas, se ha especificado la Clase B. Los agregados utilizados deben cumplir con los requisitos establecidos a continuación:

Ilustración 42: Requisitos de los agregados para las sub bases granulares tabla 320-2

Tabla 320 — 2. Requisitos de los agregados para subbases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Subbase granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30	35	-
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18	 12 18	 12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%).	E-125	25	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	40	30	30

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos sulfatos indicados.

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Ilustración 43: franjas granulométricas del material de subbase granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	50,0	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBG-50 (Nota)	100	70 — 95	60 — 90	45 — 75	40 — 70	25 — 55	15 — 40	6 — 25	2 — 15
SBG-38 (Nota)	-	100	75 — 95	55 — 85	45 — 75	30 —60	20 — 45	8 — 30	2 —15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

Nota: el número indica el tamaño máximo, en milímetros, de las partículas en la gradación empleada.

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Para garantizar la calidad de la capa, la subase a utilizar debe tener una curva granulométrica uniforme y ajustarse a una franja elegida. La fórmula de trabajo propuesta por el constructor debe seguir la franja, con tolerancias especificadas. No se puede cambiar la franja sin autorización del interventor. Además, hay límites establecidos para la relación entre los porcentajes que pasan por ciertos tamices y el tamaño máximo nominal.

8.5 ESPECIFICACIONES PARA LA CONFORMACION DE UNA CAPA DE SUELO CEMENTO

Corresponde a la mezcla homogénea con cemento hidráulico, siguiendo las dimensiones, alineamientos y secciones que se encuentran indicados en el presente acápite del proyecto.

En el diseño de la estructura del pavimento para el segmento vial - Vereda Boitiva - Sector "Las Brisas" - PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, se han considerado tres posibles estructuras de pavimento, donde una de ella incluye una

capa de subbase granular de suelo cemento y un coeficiente estructural de (a3) de 0.12 y un módulo resiliente mínimo de la subbase de 17000 lb/Pg2. Es responsabilidad del constructor asegurarse de que el módulo resiliente de la subbase no sea menor a 17000 lb/Pg2 en ninguna circunstancia, ya que este valor indica la capacidad de la Base para recuperar su forma original después de ser sometida a cargas repetidas (rigidez). Para el suelo cemento se recomienda el uso de subase Clase B. Los agregados utilizados deben cumplir con los requisitos establecidos a continuación:

Ilustración 44: Requisitos de los agregados para las sub bases granulares

Tabla 320 — 2. Requisitos de los agregados para subbases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Subbase granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30	35	-
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18	 12 18	 12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%).	E-125	25	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	40	30	30

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos sulfatos indicados.

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

Ilustración 45: franjas granulométricas del material de subbase granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	50,0	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBG-50 (Nota)	100	70 — 95	60 — 90	45 — 75	40 — 70	25 — 55	15 — 40	6 — 25	2 — 15
SBG-38 (Nota)	-	100	75 — 95	55 — 85	45 — 75	30 —60	20 — 45	8 — 30	2 —15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

Nota: el número indica el tamaño máximo, en milímetros, de las partículas en la gradación empleada.

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2022). Tabla 330-2: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS

El constructor deberá presentar una fórmula de trabajo que debe ser avalada con suficiente antelación por el interventor antes de proceder con la estabilización. Si se requiere aumentar la resistencia del suelo, la fórmula de trabajo establecida a partir del diseño de la mezcla debe incluir los siguientes aspectos como mínimo:

- Clasificación del suelo por estabilizar, incluyendo granulometría y límites de Atterberg.
- Tipo y marca de cemento utilizado en el diseño.
- Contenido de agua del suelo antes de la mezcla y en el momento de la compactación.
- Contenido óptimo de cemento (CFT %).
- Valor de densidad máxima de la mezcla, según lo definido en los documentos del proyecto o aprobado por el interventor mediante el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.

- Porcentaje óptimo de agua para mezcla y compactación, según lo definido en los documentos del proyecto o aprobado por el interventor mediante el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- CBR y expansión, según el método de ensayo INV E-148.
- Cada uno de los valores de todos los criterios de diseño establecidos en los documentos del proyecto.

Se puede ajustar la fórmula de trabajo establecida en el laboratorio basándose en los resultados obtenidos durante la fase de experimentación. Es importante que la fórmula ajustada cumpla con los requisitos establecidos para el diseño de la mezcla, los cuales deben estar definidos en los documentos del proyecto.

Los ensayos de control de resistencia CBR e índice de colapso deben ser realizados en laboratorio sobre el material mezclado con cemento antes de su compactación en campo, de acuerdo con las normas INV E-148 e INV E-157 respectivamente. Se debe evitar evaluar la resistencia CBR e índice de colapso de muestras tomadas del material ya compactado, curado y posteriormente remoldeado en laboratorio.

La compactación en laboratorio del material mezclado con cemento para los ensayos de CBR e índice de colapso debe realizarse máximo 48 horas después de finalizar el proceso de mezclado. En caso de que los ensayos indiquen que el material estabilizado no cumple con estas condiciones, el constructor debe realizar las modificaciones necesarias de inmediato y, si fuera necesario, modificar el diseño y repetir las secciones de ensayo hasta que sean aprobadas por el interventor, sin afectar los tiempos y plazos del proyecto. Los tramos que no cumplan deben ser retirados a costo del constructor.

Tanto el constructor como el interventor deben emitir un informe con los resultados de la fase de experimentación y validación, y su cumplimiento es un requisito para

el inicio de la fase de construcción. En cada tramo de experimentación y validación, deben quedar definidos los siguientes aspectos:

- Para estabilización en el sitio de obra: escarificación de los suelos para estabilización en el sitio (espesor y tipo de material), metodología de aplicación del cemento según la condición planteada en la fase de experimentación, homogeneidad de la mezcla.
- Para mezcla en planta mediante bachadas de prueba: gradación del material mezclado, tiempos de producción, método y tiempo de transporte de la mezcla hasta la obra.
- Para estabilización en sitio o mezcla en planta: equipos y metodología para el perfilado, metodología para el ajuste del contenido de agua, metodología para la compactación, juntas de trabajo, metodología para el curado de la capa compactada, tiempo de apertura al tránsito, limitaciones en la ejecución.

Todos los trabajos descritos en los numerales deben realizarse de acuerdo con lo aprobado en la fase de experimentación y validación, definidos en la etapa de diseño o construcción.

8.6 ESPECIFICACIONES DEL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON RAJON

De acuerdo a la caracterización geotécnica de la subrasante del segmento vial ubicado en la Vereda Boitiva, específicamente en el sector “Las Brisas” desde el punto PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas en el punto PR 00+468, se evidencia la necesidad de mejorar la capacidad de soporte de la subrasante para que la construcción pueda resistir las cargas previstas en el diseño y reducir la deformación. Para lograrlo, se propone mejorar la subrasante mediante la

instalación de una capa de 0.30 cm compuesta de rajón y seguida de una capa de sello, así como la utilización de un geotextil de separación, a fin de evitar la migración de finos a la subrasante. Esto permitirá aumentar la capacidad de soporte del suelo de 1.7% a 10%, lo que cumple con el CBR de diseño del 10%.

El rajón es un material compuesto principalmente por fragmentos de roca, piedra triturada y/o grava que se obtiene de canteras, cuya función es estabilizar la subrasante.

Se extiende una capa de rajón sobre la subrasante conformando una capa de 30 cm, Se compacta el rajón con rodillo vibratorio hasta obtener una densidad mínima del 95% de la máxima densidad obtenida en el ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557) Se coloca una capa de material granular, como grava o arena, sobre el rajón compactado y se compacta también.

La norma INV E-213 establece que para materiales con tamaños máximos nominales de hasta cinco (5) pulgadas, la granulometría debe seguir la siguiente distribución porcentual de masa:

- 100% pasando por la malla de 1.5 pulgadas (38.1 mm)
- 95-100% pasando por la malla de 1 pulgada (25.4 mm)
- 70-100% pasando por la malla de 3/4 de pulgada (19.0 mm)
- 45-85% pasando por la malla de 3/8 de pulgada (9.5 mm)
- 20-60% pasando por la malla de No. 4 (4.75 mm)
- 0-15% pasando por la malla de No. 200 (0.075 mm)

Por otro lado, la norma ASTM D5519 se aplica a materiales con tamaños superiores a tres (3) pulgadas y establece que la granulometría debe seguir la siguiente distribución porcentual de masa:

- 100% pasando por la malla de 4 pulgadas (101.6 mm)

- 90-100% pasando por la malla de 2.5 pulgadas (63.5 mm)
- 40-70% pasando por la malla de 1.5 pulgadas (38.1 mm)
- 10-30% pasando por la malla de 3/4 de pulgada (19.0 mm)
- 0-10% pasando por la malla de No. 4 (4.75 mm)
- 0-5% pasando por la malla de No. 200 (0.075 mm)

En cuanto al tamaño máximo y mínimo del rajón en centímetros, se tiene que el espesor de la capa es de 30 cm, entonces el tamaño máximo del rajón sería de:

2/3 x 30 cm = 20 cm. Es decir, el tamaño máximo del rajón debería ser de 20 cm o menos.

En cuanto al tamaño mínimo, en el numeral 221.4.3 de las Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del INVIAS, se indica que los vacíos entre los fragmentos más grandes del material se deben llenar con las partículas más pequeñas del mismo material, de modo que se obtenga el nivel de densificación deseado. Se recomienda comenzar con la colocación de las rocas más grandes de rajón en el fondo de la capa y luego continuar con las rocas más pequeñas en la parte superior. Esto se debe a que los guijarros más grandes proporcionan una base sólida y estable, mientras que los guijarros más pequeños llenan los huecos y proporcionan una superficie más uniforme.

No se recomienda el uso de rocas de forma redonda para la construcción de la capa de mejoramiento. Esto se debe a que las rocas redondeadas tienden a no encajar bien y, por lo tanto, no se compactan de manera efectiva, lo que puede resultar en una menor capacidad de soporte y una menor durabilidad de la carretera. Por lo tanto, se prefiere el uso de rocas con formas más angulares y con una distribución de tamaños adecuada para permitir una buena compactación.

9 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PLACA HUELLA

A continuación, se presenta la última alternativa de diseño propuesta para la zona, correspondiente a la implementación de placa huella. Sin embargo, esta solución estará limitada a la prohibición exclusiva de la circulación de vehículos comerciales mayores a un C3. Esta restricción debe garantizarse para asegurar que la durabilidad de la placa huella cumpla con el tiempo de diseño proyectado. Asimismo, se deberá realizar el proceso de mejoramiento de la subrasante con base en las especificaciones desarrolladas.

9.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Según el análisis geotécnico descrito en el numeral 4.5 del presente informe, el perfil estratigráfico de la zona de estudio está conformado por un lleno de recebo y gravas medianas, con un espesor promedio de 0.40 m. Subyacente a esta capa, se encuentra un material arcilloso de grano fino.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, el tipo de suelo predominante en el segmento vial es arcilloso (CL-CH) con zonas de contenido de grava (GP). Adicionalmente, se identificaron suelos granulares mal graduados (GM) y gravas bien graduadas (GW). Este análisis sugiere una resistencia relativa del suelo, pero con alto desgaste, lo que lo hace susceptible a la erosión.

El análisis granulométrico refleja un alto porcentaje de finos (arcilla y limo), indicando baja permeabilidad y un comportamiento plástico y cohesivo. La densidad relativa (DR) obtenida en el ensayo Proctor muestra un estado de compactación

medio-alto, y el índice de plasticidad (IP) elevado confirma la cohesión del material.

Ilustración 46: Consolidado de los resultados de los ensayos

CONTRATO DE CONSULTORIA 282 DE 2022

CUYO OBJETO ES: "CONTRATAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE VIAS URBANAS Y RURALES DEL MUNICIPIO DE SESQUILÉ CUNDINAMARCA

RESUMEN RESULTADOS DE SUELOS

Vereda Boitiva - Sector "Las Brisas" – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468

APIQUE No	LATITUD NORTE	LONGITUD ESTE	PROFUNDIDAD DESDE	PROFUNDIDAD HASTA	MATERIAL ENCONTRADO	CLASIFICACIÓN DEL SUELO		No muestra	Humedad Natural	Límite Líquido	Límite Plástico	Indice de Plasticidad	% de Finos	% de Gravas	% de Arenas	CBR SIN INMERSIÓN A 0.1"	CBR SIN INMERSIÓN A 0.2"	CBR CON INMERSIÓN A 0.1"	CBR CONINMERSIÓN A 0.2"
1	5° 3'5.5"N	-73°47'27.6"O	0	0.4	LLENO CONFORMADO POR RECEBO Y GRAVAS MEDIANAS														
			0.4	1.2	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA DE GRANO FINO COLOR CAFÉ DE BAJA PLASTICIDAD. CONDICIÓN DE HUMEDAD (RELLENO)	GC	A-6(3)	1	15.4	29.9%	17.70%	12.1	48	27	25	18.11	20.67	11.28	13.78
2	5° 3'0.3"N	-73°47'18.1"O	0	0.4	MATERIAL ORGANICO														
			0.4	1.2	ARCILLA ARENOSA DE GRANO FINO CON GRAVAS COLOR GRIS DE BAJA PLASTICIDAD CON PRESENCIA DE MATERIAL DE RELLENO. CONDICIÓN DE HUMEDAD	CL	A-4(2)	1	18.1	27.5	17.1	10.4	51	15	34	1.94	2.63	1.76	2.04
3			0	0.3	MATERIAL ORGANICO														
			0.30	1.2	ARCILLA ARENOSA DE GRANO FINO COLOR GRIS DE BAJA PLASTICIDAD, CON PRESENCIA DE MATERIAL ORGANICO. CONDICIÓN DE HUMEDAD	CL	A-4(4)		20.1	26.7	16.8	9.9	62	7	28	1.65	2.13	1.38	1.42
																PROMEDIO		7.23	8.48	4.81	5.75

Fuente: Elaboración a partir de los resultados de laboratorio de la consultoría

CBR DE DISEÑO

El análisis del numeral 4.6 detalla los valores de CBR, que se resumen a continuación:

Tabla 6: CBR segmento vial

RESUMEN RESULTADOS DE SUELOS Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468						
APIQUE No	CLASIFICACIÓN DEL SUELO		CBR SIN INMERSIÓN A 0.1"	CBR SIN INMERSIÓN A 0.2"	CBR CON INMERSIÓN A 0.1"	CBR CONINMERSIÓN A 0.2"
1	GC	A-6(3)	18.11	20.67	11.28	13.78
2	CL	A-4(2)	1.94	2.63	1.76	2.04
3	CL	A-4(4)	1.65	2.13	1.38	1.42
PROMEDIO			7.23	8.48	4.81	1.73

Fuente: Elaboración propia a partir del desarrollo de la consultoría y ensayos de laboratorio.

El suelo natural presenta una capacidad portante baja (CBR de 1.73 %), lo que hace necesario implementar el mejoramiento de la subrasante para garantizar el soporte del pavimento. Por lo tanto, es necesario la instalación de la capa de rajón, que incrementará la capacidad portante del suelo y permitirá resistir las cargas previstas, minimizando deformaciones y mejorando la estabilidad del pavimento en el tiempo proyectado.

9.2 ESPESOR DE LA PLACA-HUELLA

Como resultado de la modelación mediante elementos finitos del paso del eje tándem del camión C-3 (22 toneladas distribuidas en dos ejes simples de 11 toneladas cada uno, separados 1,20 m centro a centro), se ha encontrado que el

espesor de la placa-huella no es sensible a la rigidez del apoyo, en este caso la combinación de subrasante y subbase granular.

El espesor requerido de concreto para soportar los esfuerzos generados por el eje de diseño es menor a quince (15) centímetros. Sin embargo, por razones de facilidad constructiva y para asegurar un adecuado recubrimiento de la armadura de acero, se ha adoptado un espesor único de quince (15) centímetros. Esta decisión permite garantizar la resistencia y durabilidad del pavimento con placa-huella cumpliendo con las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.Criterios para el diseño de la sección transversal en las curvas.

El diseño de los pavimentos con placa-huella tiene en cuenta las características geométricas de la vía, especialmente en tramos curvos, para evitar que los camiones y buses circulen sobre las franjas de piedra pegada. Estas vías suelen presentar pendientes fuertes, curvas horizontales frecuentes, tangentes cortas, radios de curvatura pequeños y anchos de banca estrechos.

Para adaptarse a estas condiciones, se utilizan placas-huella reforzadas en las curvas, conocidas como "flechas". Estas placas-huella tienen anchos preestablecidos de 0.45 m, 0.90 m, 1.35 m y 1.80 m, y longitudes entre 1.00 m y 2.80 m. Se determinó que la cuantía de acero necesaria no varía significativamente según la longitud de la placa-huella, por lo que se adoptó la cuantía requerida por la placa-huella de 2.80 m de longitud como estándar.

Es importante tener en cuenta que el ancho de la sección transversal recomendado es de 4.50 metros, respetando el ancho de las placas-huella y la franja de piedra pegada de 0.90 m entre ellas. Sin embargo, el diseñador tiene libertad para ajustar el ancho de la sección transversal, siempre y cuando se garantice la seguridad y

durabilidad del pavimento. En caso de modificar las dimensiones de las berma-cunetas, se debe mantener su función de confluencia de la calzada.

En el informe del estudio hidráulico se proporcionan pautas y procedimientos para el diseño de las obras de drenaje, como berma-cunetas, alcantarillas y aliviaderos.

9.3 RESISTENCIA DEL CONCRETO

En la pavimentación con placa-huella, el concreto se fabrica en la vía sin control de calidad similar a las plantas de concreto. Sin embargo, es necesario utilizar una mezcla duradera debido a la inversión y la necesidad de que el pavimento dure décadas en buenas condiciones.

Para garantizar la durabilidad del concreto expuesto a la intemperie y al desgaste por fricción de los vehículos, se requiere concreto de calidad aceptable, con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² a los 28 días. Además, se deben cumplir los requisitos de calidad de los agregados según las especificaciones del Instituto Nacional de Vías.

En la obra, se puede lograr una buena resistencia siguiendo un control de calidad básico, verificando la limpieza de los agregados, dosificando correctamente y controlando el asentamiento de la mezcla.

En las franjas de piedra pegada, que se asemejan al concreto ciclópeo, también deben resistir el deterioro causado por el clima y el desgaste de las llantas de los vehículos durante más de veinte años.

En conclusión, los pavimentos con placa-huella requieren un enfoque diferente en términos de diseño y construcción. No existen estudios científicos publicados que

evalúen su desempeño a largo plazo, por lo que se deben analizar cuidadosamente los parámetros de diseño, la calidad de los materiales y la selección de las vías.

9.4 CLASIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN DEL SUELO DE LA SUBRASANTE

El potencial de expansión del suelo se refiere a la capacidad que tiene un tipo de suelo de aumentar su volumen cuando se encuentra en contacto con el agua. Este fenómeno es más pronunciado en ciertos tipos de suelos, como los arcillosos, debido a su estructura molecular y composición mineral. Cuando estos suelos absorben agua, las partículas de arcilla tienden a hincharse y separarse, lo que provoca un aumento en el volumen total del suelo.

Este potencial de expansión puede tener importantes implicaciones en la ingeniería civil y la construcción. Suelos con alto potencial de expansión pueden provocar daños en estructuras como cimientos, pavimentos y carreteras, ya que el proceso de expansión y contracción repetida puede generar movimientos en el suelo que ejercen presiones sobre las construcciones, resultando en grietas, deformaciones y otros problemas.

Con el propósito de evaluar la posible expansión del suelo de la subrasante, se toman los criterios de la tabla de correlación de los límites de consistencia Vs Potencial de expansión de la Guía de pavimentos con placa -Huella del Invias, y se constatan con los resultados del límite liquido (29.9) y el índice de plasticidad (12.1), se obtiene que la clasificación del hinchamiento potencial del suelo es Bajo.

Tabla 7: Correlación de los límites de consistencia Vs potencial de expansión

LL (%)	IP (%)	Clasificación del hinchamiento potencial
> 60	> 35	Alto
50 - 60	25 - 35	Marginal
50 <	< 25	Bajo

Tabla 4.2 Correlación Límites de consistencia vs. Potencial de expansión

Fuente: Guía de pavimentos con placa -Huella del Invias.

9.5 ESPESOR DE LA SUBBASE GRANULAR

Para efectos de determinar la calidad del apoyo y el espesor de la capa previa a la construcción de la placa huella, se cita a continuación la correlación entre el módulo de reacción de la subrasante y el CBR del suelo.

Tabla 8: correlación entre el módulo de reacción de la subrasante y el CBR del suelo

CBR	Mr [PSI]	K [PCI]	K [kN/m³]
3	4,500	100	27,130
4	6,000	132	35,812
5	7,500	143	38,796
6	9,000	152	41,238
7	10,500	161	43,679
8	12,000	178	48,291
9	13,500	193	52,361
10	15,000	200	54,260

Fuente: Orobio, Orobio & Mosquera 2016-Guia de diseño de pavimentos con placa Huella.

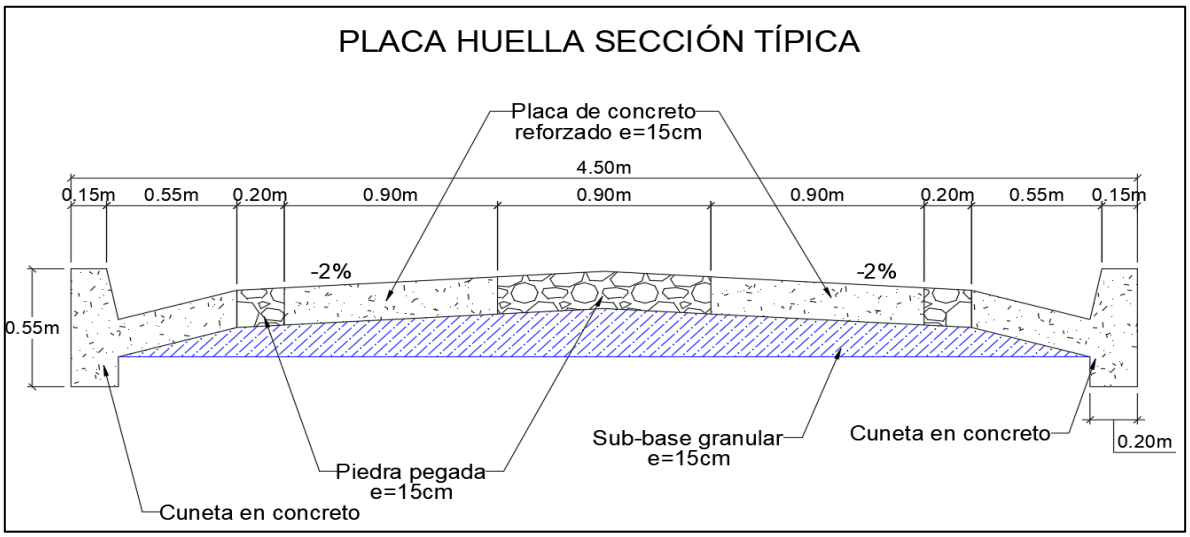
Con el objetivo de garantizar un módulo mínimo de reacción adecuado para el conjunto de la subrasante, la cual debe ser mejorada mediante la incorporación de una capa de rajón, se recomienda que el espesor de la subbase sea de 0.15 m, conforme a lo indicado en la siguiente ilustración:

Tabla 9: Modulo de reacción del conjunto Subrasante-Subbase $\left[KN/m^3\right]$

K subrasante [kN/m³]	Espesor de subbase en (m)			
	0.10	0.15	0.22	0.30
13,565	17,635	20,348	23,061	29,843
27,130	35,269	37,982	43,408	51,547
54,260	59,686	62,399	73,251	86,816
81,390	86,816	89,529	100,381	116,659

Fuente: Orobio, Orobio & Mosquera 2016-Guia de diseño de pavimentos con placa Huella.

Ilustración 47: Sección típica de placa huella a utilizar y espesor



Fuente: Elaboración a partir de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-Huella del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

10 MÓDULO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA HUELLA

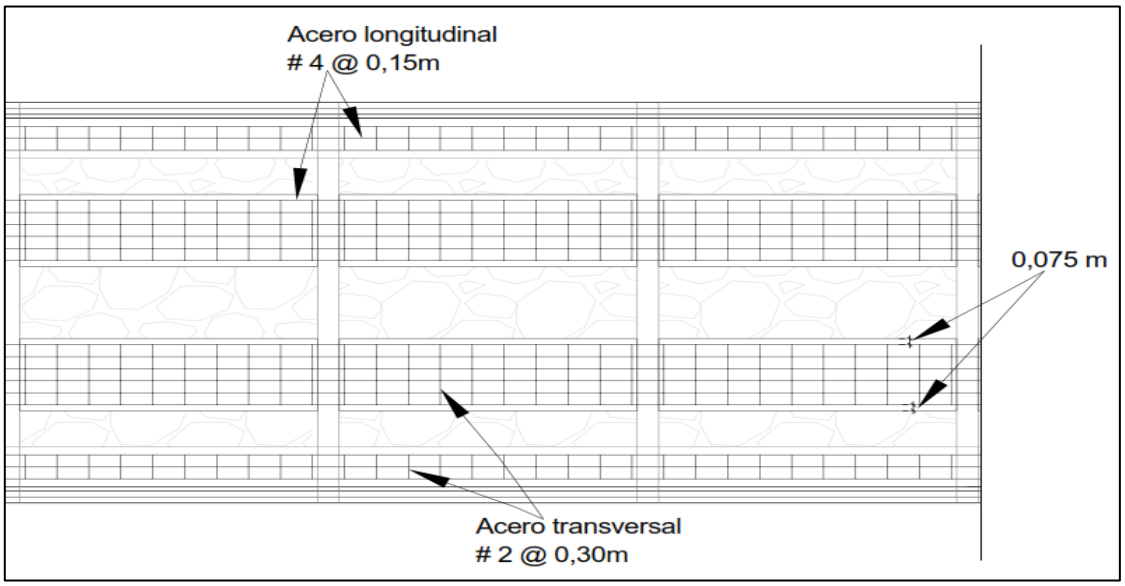
Considerando que el conjunto de placa – huella y riostras se funden monolíticamente, se dice que son un módulo debido a que estructuralmente trabajan en conjunto. Tanto las placas – huella como las riostras se deben construir en concreto reforzado.

Para la construcción de la placa huella se tienen las siguientes consideraciones:

- La longitud máxima de la placa - huella es de dos metros con ochenta centímetros (2,80 m). Como el ancho de la riostra siempre es de veinte centímetros (0,20 m) la longitud máxima de un módulo es de tres metros (3,0 m) y corresponde a la longitud del módulo en tangente.
- El espesor de la placas - huella es de quince centímetros (0,15 m), y el espesor de la subbase es de treinta centímetros (0,30 m), el cual obedece a los resultados obtenidos en las diferentes modelaciones con base a la Guía de Diseño del INVÍAS, donde se consideró los espesores de recubrimiento de las barras de acero y la facilidad constructiva, así como el resultado de los laboratorios de suelos realizados para la zona por el consultor.
- El ancho de la riostra es de veinte centímetros (0,20 m).
- La longitud máxima de la riostra deberá ser de 6.80 m.
- Para el acero de refuerzo longitudinal se requieren 4 varillas numero 4 (4#4)
- Para le acero de refuerzo transversal o de los estribos se requiere 1 varilla numero 2 cada 15 cm (1#2@0.15).
- El recubrimiento de las varillas longitudinales #4 es de 7.5 cm en la parte inferior y de 4.0 cm en la parte superior.

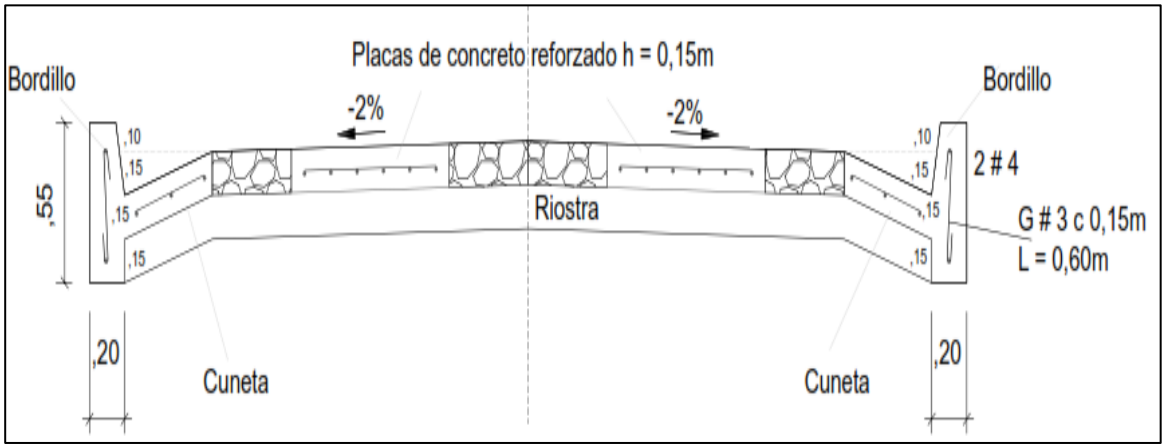
- El peralte de la riostra es de treinta centímetros (0,30 m). Dicha riostra se apoya totalmente sobre la superficie existente, es decir en la superficie sobre la que se construye la subbase granular, previa la colocación de un solado de limpieza de tres centímetros (0,03 m) de espesor.
- La resistencia a la compresión mínima del concreto solicitado para la construcción de este tipo de estructuras es de f 'c = 210 Kg/cm (21 MPa) a los 28 días de fraguado.
- El tamaño máximo del agregado grueso debe ser de 38 mm (Tmax = 38 mm)
- El asentamiento máximo permitido es de 5 cm (Norma de ensayo INV-404-13)
- El tipo de acero por utilizar deberá tener una resistencia a la fluencia de 60.000 psi (280 Mpa).
- El acero de refuerzo deberá ser de tipo corrugado.
- Para el acero de refuerzo longitudinal se recomienda una varilla numero 4 cada quince centímetros (1#4@0.15).
- En cuanto al acero de refuerzo transversal se recomienda una varilla numero 2 cada treinta centímetros (1#2@0.30).
- La longitud de traslape de las varillas longitudinales #4 deberá ser mínimo de 60 cm.
- El acero de refuerzo se debe colocar en la mitad del espesor de la placa-huella, lo que implica un recubrimiento de 7.5 cm tanto en la cara superior como en la inferior.

Ilustración 48. Planta de distribución de acero de refuerzo para la sección típica.



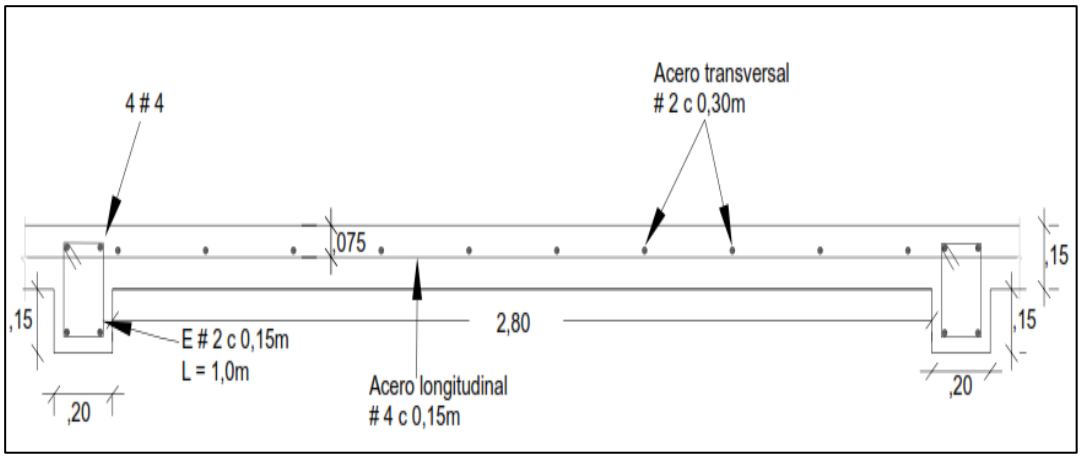
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-Huella del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Ilustración 49. Corte transversal de distribución de acero de refuerzo para la sección típica.



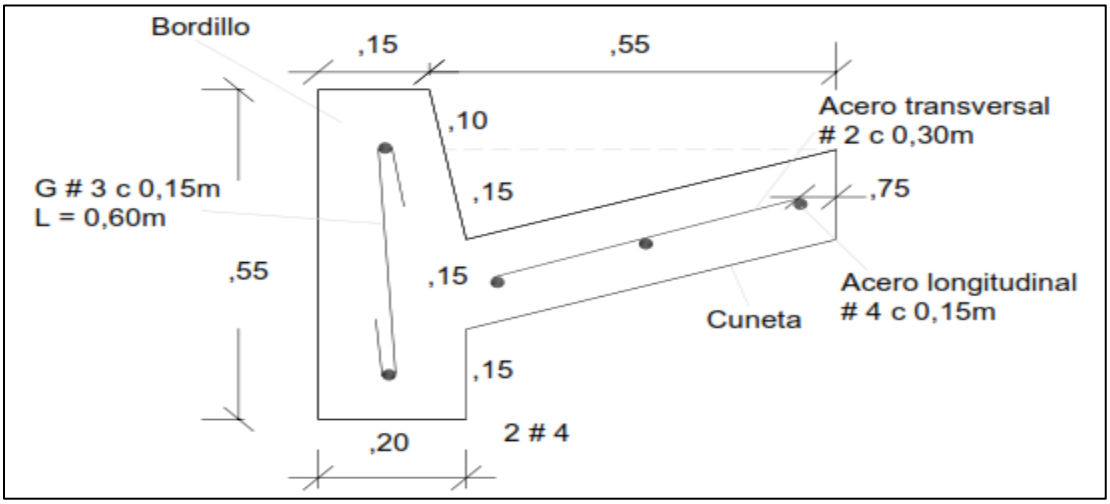
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-Huella del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Ilustración 50. Corte longitudinal de la sección típica.



Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-Huella del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Ilustración 51. Detalle estructural de la Berma-Cuneta.



Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-Huella del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

11 CONCLUSIONES

Luego del análisis detallado de las variables involucradas en el diseño de pavimento para el tramo semiurbano ubicado en la Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, en el Municipio de Sesquilé Cundinamarca, se han obtenido los resultados necesarios para establecer la estructura de pavimento óptima.

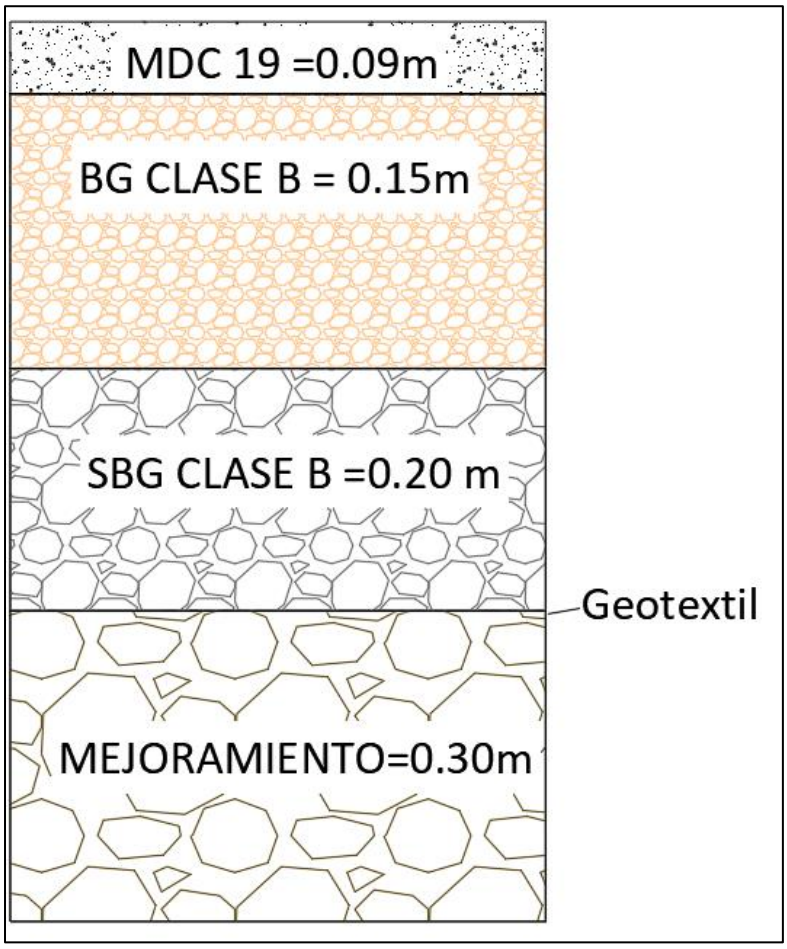
Los estudios realizados incluyeron exploración geotécnica en campo, ensayos de laboratorio, estudios de tráfico y calidad de los materiales, análisis de la topografía y diseño geométrico. A partir de estos estudios, se han determinado los parámetros de comportamiento del suelo y las cargas que soportará el pavimento durante su funcionamiento.

Se han identificado tres posibles estructuras de pavimento con sus espesores correspondientes, los cuales han sido determinados mediante un modelamiento riguroso.

Cada una de estas estructuras de pavimento cuenta con los espesores adecuados y se han establecido los requisitos de calidad necesarios para los materiales y granulares correspondientes. Cualquiera de estas opciones es viable para ser implementada, dependiendo de los costos de construcción y la disponibilidad de materiales. En conclusión, se ha logrado determinar las mejores opciones de pavimentación para el tramo mencionado, lo que permitirá garantizar la durabilidad y seguridad de la vía

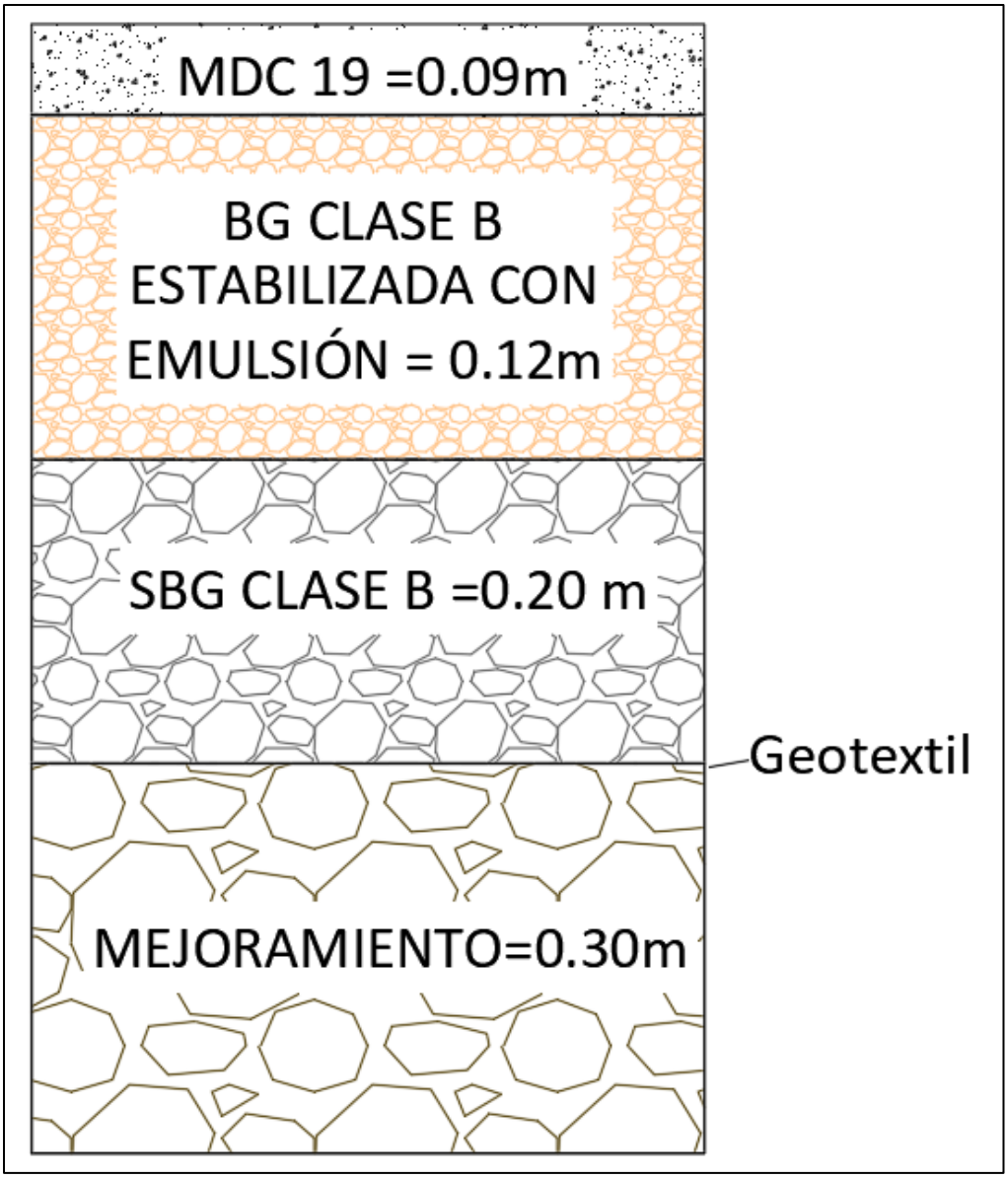
A continuación, se resumen las tres (3) alternativas de pavimento propuestas:

Ilustración 52: Estructura de pavimento flexible



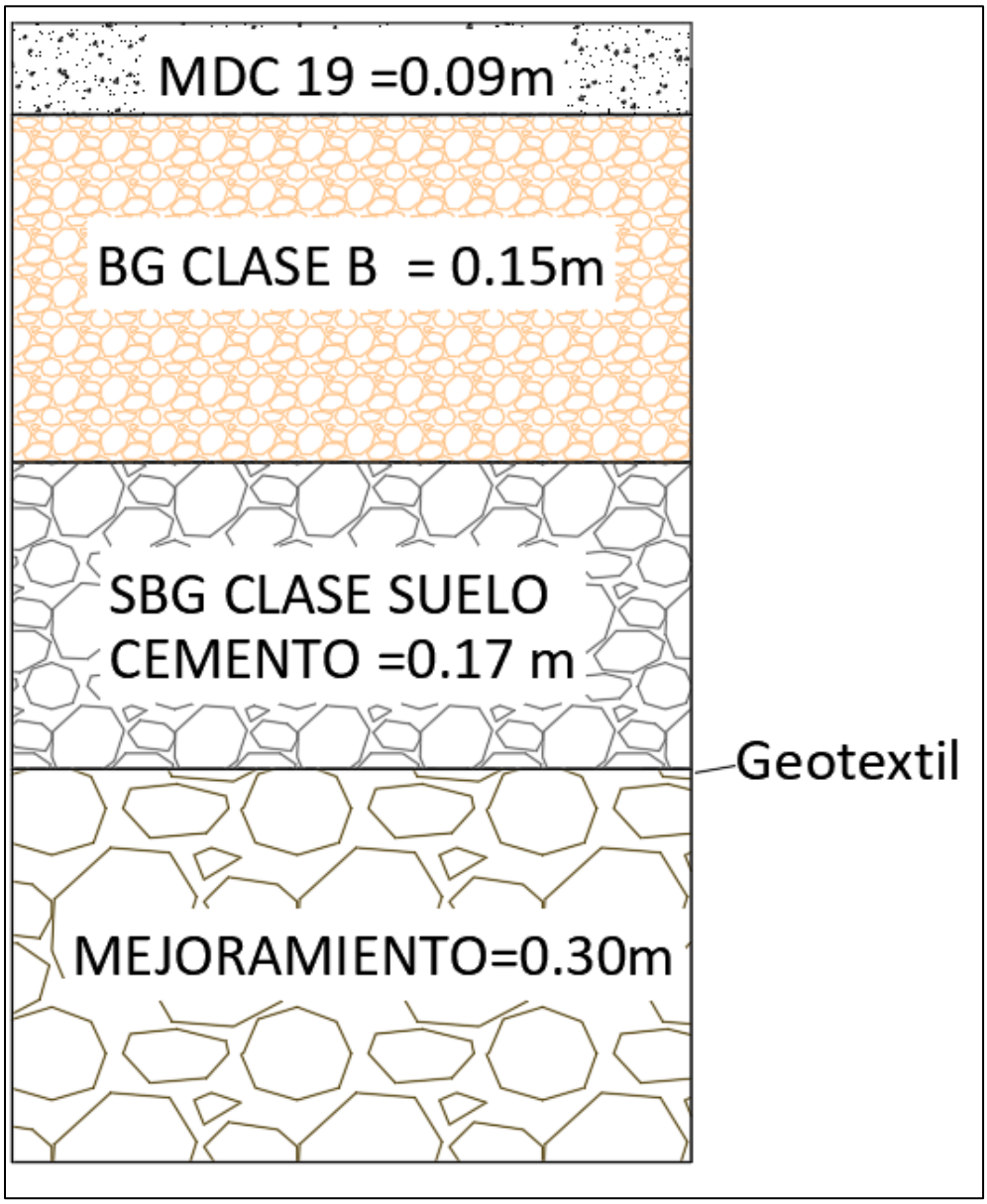
Fuente: elaboración a partir del desarrollo de la consultoría.

Ilustración 53: Estructura de pavimento flexible con base estabilizada con emulsión asfáltica



Fuente: elaboración a partir del desarrollo de la consultoría.

Ilustración 54 Estructura de pavimento flexible con suelo cemento.

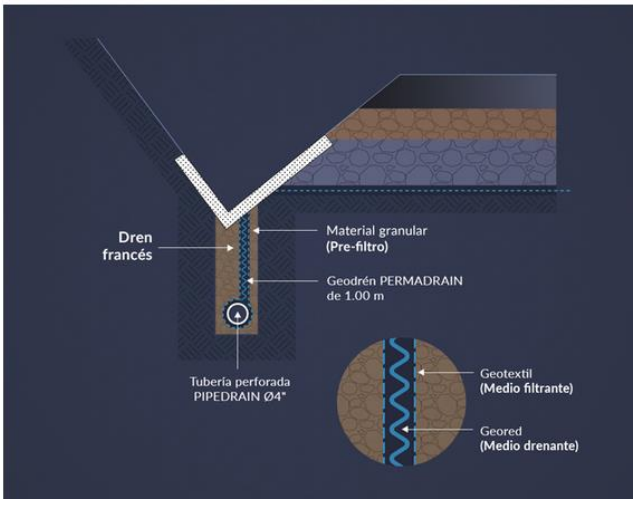


Fuente: elaboración a partir del desarrollo de la consultoría.

La alternativa de construcción mediante la implementación de **PLACA HUELLA** para el tramo vial, clasificado como semiurbano, se presenta como una solución viable y adecuada a las condiciones del proyecto. No obstante, para garantizar la durabilidad y funcionalidad de la vía durante el tiempo de diseño proyectado, es imprescindible restringir la operación de vehículos mayores a la categoría C3. Asimismo, se debe realizar el mejoramiento de la subrasante conforme a las especificaciones técnicas propuestas, asegurando así una capacidad portante adecuada y la estabilidad estructural necesaria para soportar las cargas previstas.

Es importante mencionar que, para cualquier de las estructuras de pavimento, es necesario implementar la construcción de un geodren vial a lo largo de los bordes del pavimento que se intervendrá. Este geodren debe estar conectado a las estructuras de drenaje existentes, como los sumideros, para garantizar una correcta evacuación de las aguas pluviales y prevenir la acumulación de agua en el pavimento.

Ilustración 55: geodren vial



Fuente: Fuente: Geo sistemas Pavco

Para garantizar la calidad de los materiales, se han establecido recomendaciones técnicas basadas en las especificaciones generales de construcción del INVIAS 2022.

En resumen, el diseño de pavimento para el tramo semiurbano ubicado en la Vereda Boitiva - Sector “Las Brisas” – PR 00+000 hasta Cuatro Esquinas PR 00+468, en el Municipio de Sesquilé Cundinamarca se ha desarrollado de manera rigurosa y con base en estudios detallados, lo que ha permitido identificar las mejores opciones de estructura de pavimento y garantizar la calidad de los materiales utilizados.

12 BIBLOGRAFIA

1. Referencia bibliográfica: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da ed.). Bogotá, DC.
3. Fuente: INVIAS. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá, D.C.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials. ISBN: 978-1-56051-616-9
5. National Asphalt Pavement Association. (2003). Flexible Pavement Design Manual. National Asphalt Pavement Association. ISBN: 978-1934154109.

6. Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías. (2022). Resolución Número 4561 de 29 de noviembre de 2022: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022.