

**ASFALTOS NATURALES: LA “MAPIA” Y “ASFALTITA”, ALTERNATIVAS DE
CONSTRUCCIÓN EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL
CONTRATO RUTA DEL SOL TRAMO 1**

DAVID ALBERTO SANTOS MONTERO

RICARDO ALFONSO LUNA NAVARRO



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS TERRESTRES
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA (S) (C)
2012**

**ASFALTOS NATURALES: LA “MAPIA” Y “ASFALTITA”, ALTERNATIVAS DE
CONSTRUCCIÓN PARA OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL
CONTRATO RUTA DEL SOL TRAMO 1**

DAVID ALBERTO SANTOS MONTERO

RICARDO ALFONSO LUNA NAVARRO

**Monografía como requisito de grado para optar al título de:
Especialista en Vías Terrestres**

Director(a):

NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

Ingeniero Civil, Especialista en Carreteras, Especialista en Transportes

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS TERRESTRES
BUCARAMANGA (S) (C)
2012**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga (S) (C), Septiembre de 2012

A Nuestro Señor Dios Todopoderoso, a nuestras esposas, hijas y padres,
y a todas aquellas personas que de una u otra forma
apoyaron esta nueva etapa profesional de nuestras vidas.

DAVID ALBERTO Y RICARDO ALFONSO

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a todas y cada una de las personas, instituciones y organizaciones que contribuyeron en la elaboración del presente documento, quienes con sus aportes valiosos hicieron posible obtener de una manera sencilla y práctica los resultados y conceptos aquí consignados.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA, Institución de formación superior sede de la Especialización en Vías Terrestres.

CONSORCIO VIAL HELIOS, Organización de ingenieros contratistas quienes prestaron todo el apoyo logístico y laboral en los estudios del presente proyecto.

COLASFALTOS S.A., Organización de ingenieros contratistas quienes prestaron todo el apoyo logístico en el suministro de la materia prima y estudios base de laboratorio que esta investigación requirió.

MINA SAN PEDRO S.A. (INGEMIN S.A.), Organización de ingenieros contratistas quienes prestaron todo el apoyo logístico en el suministro de la materia prima que esta investigación requirió.

NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS, Ingeniera Civil, Especialista en Carreteras y Transportes. Directora de la Especialización y Directora de este proyecto.

LUIS FERNANDO CANO GOMEZ, Ingeniero Civil, Asesor de Pavimentos y Materiales, Consorcio Vial Helios.

DAVID GONZÁLEZ HERRERA, Ingeniero Civil, Asesor de Pavimentos, Consorcio Vial Helios.

LUZ ÁNGELA RODRÍGUEZ SALAH, Ingeniera Civil, Gerente General, Organización MINA SAN PEDRO S.A. – INGEMIN S.A.

EDGAR BUENO, Ingeniero Civil, Director Técnico, Organización COLASFALTOS S.A.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO	18
COMUNICACIÓN CONSORCIO VIAL HELIOS – CVH	-
1. INTRODUCCIÓN	22
1.1. JUSTIFICACIÓN	23
1.2. OBJETIVOS	25
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	25
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
2. ASPECTOS GENERALES	26
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	27
2.2. CLIMA	29
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	29
2.3.1. CAMPAMENTOS	29
2.3.2. TRAMO DE PRUEBA DINDAL CAPARRAPÍ	31
3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	35
3.1. LA ASFALTITA	35
3.1.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN	35
3.1.2. UBICACIÓN PARTICULAR PARA EL PROYECTO	36
3.1.3. CARACTERIZACIÓN	36
3.1.4. EXPLOTACIÓN	39
3.1.5. DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO	39

	Pág.
3.1.6. APLICACIONES	39
3.2. LA MAPIA	43
3.2.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN	43
3.2.2. UBICACIÓN PARTICULAR PARA EL PROYECTO	44
3.2.3. CARACTERIZACIÓN	44
3.2.4. EXPLOTACIÓN	46
3.2.5. DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO	46
3.2.6. APLICACIONES	47
4. DISEÑO DE MEZCLAS	49
4.1. LA ASFALTITA	49
4.1.1. AGREGADOS PÉTREOS	53
4.1.2. MATERIAL BITUMINOSO	53
4.1.3. FÓRMULA DE TRABAJO	54
4.1.3.1. INTERPRETACIÓN GRÁFICA Y DATOS FINALES DE DISEÑO	54
4.2. LA MAPIA	55
4.2.1. AGREGADOS PÉTREOS	56
4.2.2. MATERIAL BITUMINOSO	57
4.2.3. FÓRMULA DE TRABAJO	57
4.2.3.1. INTERPRETACIÓN GRÁFICA Y DATOS FINALES DE DISEÑO	57
5. EQUIPOS DE LABORATORIO	57
5.1. CERTIFICACIONES Y CALIBRACIÓN EQUIPOS	57

	Pág.
6. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCIÓN PAVIMENTO FLEXIBLE	58
6.1. CAMPAMENTO SANTA ANA Y GUADUERO	58
6.1.1. LOCALIZACIÓN	58
6.1.2. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	59
6.1.3. ENSAYOS DE LABORATORIO	60
6.1.4. ANÁLISIS GEOTÉCNICO	60
6.1.5. TRÁNSITO	61
6.1.6. ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN	62
6.1.7. PREDIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	62
6.2. VÍA DINDAL CAPARRAPÍ	67
6.2.1. LOCALIZACIÓN	68
6.2.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE	68
6.2.3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	71
6.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO	75
6.2.5. ANÁLISIS GEOTÉCNICO	86
6.2.6. TRÁNSITO	88
6.2.7. ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN Y DISEÑO PAVIMENTO	88
6.2.8. REFERENCIA DE UN TRAMO DE PRUEBA (NUMERAL 2.3.2.)	95
CONCLUSIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	105

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. LOCALIZACIÓN	26
FIGURA 2. UBICACIÓN GENERAL	27
FIGURA 3. LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA	28
FIGURA 4. ALCANCE GENERAL DEL PROYECTO	29
FIGURA 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA ASFALTO RESIDUAL SARA	37
FIGURA 6. ENSAYO GRANULOMÉTRICO LAVADO Y TAMIZADO	37
FIGURA 7. ENSAYO PRÓCTOR Y CBR	38
FIGURA 8. ALTERNATIVAS DE USO EN PAVIMENTOS	40
FIGURA 9. ENSAYO GRANULOMÉTRICO LAVADO Y TAMIZADO	45
FIGURA 10. COMPOSICIÓN QUÍMICA ASFALTO RESIDUAL SARA	45
FIGURA 11. COMPOSICIÓN QUÍMICA ASFALTO RESIDUAL SARA	45
FIGURA 12. PARÁMETROS NORMATIVOS PARTICULARES IDU	51
FIGURA 13. PARÁMETROS ESPECIFICACIÓN IDU RES. 3649/2009	51
FIGURA 14. PARÁMETROS ESPECIFICACIÓN IDU VER.01/2006	51
FIGURA 15. CLASIFICACIÓN EJES POR TIPO DE VEHÍCULO	61
FIGURA 16. FACTOR CAMIÓN	62
FIGURA 17. CONFIABILIDAD Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR	64
FIGURA 18. COEFICIENTE DE DRENAJE	66
FIGURA 19. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS	72
FIGURA 20. PERFIL ESTRATIGRÁFICO SECTOR GEOTÉCNICO 1	73

	Pág.
FIGURA 21. PERFIL ESTRATIGRÁFICO SECTOR GEOTÉCNICO 2	74
FIGURA 22. PERFIL ESTRATIGRÁFICO SECTOR GEOTÉCNICO 3	74
FIGURA 23. PORCENTAJE MATERIA ORGÁNICA SECTOR 1	75
FIGURA 24. PORCENTAJE MATERIA ORGÁNICA SECTOR 2	75
FIGURA 25. PORCENTAJE MATERIA ORGÁNICA SECTOR 3	76
FIGURA 26. LÍMITE LÍQUIDO SECTOR GEOTÉCNICO 1	77
FIGURA 27. LÍMITE LÍQUIDO SECTOR GEOTÉCNICO 2	78
FIGURA 28. LÍMITE LÍQUIDO SECTOR GEOTÉCNICO 3	78
FIGURA 29. ÍNDICE LAMBE SECTOR GEOTÉCNICO 1	78
FIGURA 30. ÍNDICE LAMBE SECTOR GEOTÉCNICO 2	79
FIGURA 31. ÍNDICE LAMBE SECTOR GEOTÉCNICO 3	79
FIGURA 32. CBR SECTOR GEOTÉCNICO 1	80
FIGURA 33. CBR SECTOR GEOTÉCNICO 2	80
FIGURA 34. CBR SECTOR GEOTÉCNICO 3	81
FIGURA 35. MÓDULO LWD MEDIDO	85
FIGURA 36. SECTORES HOMOGÉNEOS PARA DISEÑO	86
FIGURA 37. VALOR A_2 Y MÓDULO RESILIENTE BASE GRANULAR	91
FIGURA 38. VALOR A_2 Y MÓDULO RESILIENTE BASE EMULSIÓN	92
FIGURA 39. VALOR A_2 Y MÓDULO RESILIENTE SUBBASE	93
FIGURA 40. ESPESORES MÍNIMOS AASHTO	104

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. ENSAYOS CARACTERIZACIÓN LITERATURA BASE – CVH	38
TABLA 2. RESUMEN ENSAYOS SUBSUELO	60
TABLA 3. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAS TIEMPO MAYOR	67
TABLA 4. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y ELEVACIÓN HMV	68
TABLA 5. EVALUACIÓN FUENTES MATERIALES HMV	69
TABLA 6. CARACTERIZACIÓN ASFALTITA MINA SAN PEDRO HMV	70
TABLA 7. TRÁNSITO DE DISEÑO HMV	71
TABLA 8. ALTERNATIVAS DE DISEÑO HMV	71
TABLA 9. CLASIFICACIÓN EXPANSIVIDAD DEL SUELO	77
TABLA 10. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA AFIRMADO	83
TABLA 11. CARACTERIZACIÓN AFIRMADO Y SUBRASANTE SECT. 1	84
TABLA 12. SECTORIZACIÓN CBR	84
TABLA 13. SECTORIZACIÓN POR MEDICIÓN LWD	86
TABLA 14. EXPRESIONES PARA CÁLCULO MR A PARTIR DEL CBR	87
TABLA 15. RESULTADOS MÓDULO LWD	87
TABLA 16. MÓDULO DE DISEÑO SUBRASANTE	87
TABLA 17. TRÁNSITO DE DISEÑO NESE	88
TABLA 18. VENTAJAS Y DESVENTAJAS ALTERNATIVAS BASES	89
TABLA 19. PARÁMETROS DISEÑO ESTRUCTURA NUEVA AASHTO	90
TABLA 20. COEFICIENTE ESTRUCTURALES ASFALTOS NATURALES	94

	Pág.
TABLA 21. ESPESORES ESTRUCTURA PAVIMENTO	95
TABLA 22. SECTORES DISEÑO Y MÓDULO DISEÑO SUBRASANTE	103
TABLA 23. ESPESORES AJUSTADOS	103
TABLA 24. COMPARACIÓN SN REQUERIDO VS. SN DISEÑO	104

LISTADO DE ECUACIONES

	Pág.
ECUACIÓN 1. CORRELACIÓN CBR VS. MÓDULO RESILIENTE	61
ECUACIÓN 2. FORMULACIÓN AASHTO-1993	63
ECUACIÓN 3. NÚMERO ESTRUCTURAL SN AASHTO-1993	63
ECUACIÓN 4. COEFICIENTE ESTRUCTURAL AASHTO-1993	66
ECUACIÓN 5. NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO AASHTO-1993	67
ECUACIÓN 6. FORMULACIÓN IVANOV	82
ECUACIÓN 7. FORMULACIÓN AASHTO-1993 CORRELACIONADA	90
ECUACIÓN 8. COEFICIENTE ESTRUCTURAL MEZCLA ASFÁLTICA	91

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
FOTOGRAFÍA 1. PANORÁMICA CAMPAMENTO SANTA ANA	30
FOTOGRAFÍA 2. PANORÁMICA CAMPAMENTO SANTA ANA	30
FOTOGRAFÍA 3. PANORÁMICA CAMPAMENTO GUADUERO	30
FOTOGRAFÍA 4. PANORÁMICA CAMPAMENTO GUADUERO	31
FOTOGRAFÍA 5. MINA ASFALTITA MUNICIPIO DE ARMERO	32
FOTOGRAFÍA 6. MINA ASFALTITA MUNICIPIO DE ARMERO	32
FOTOGRAFÍA 7. MINA MAPIA MUNICIPIO DE LA DORADA	33
FOTOGRAFÍA 8. MINA MAPIA MUNICIPIO DE LA DORADA	33
FOTOGRAFÍA 9. MEDIDOR DE MÓDULO RESILIENTE LWD	34
FOTOGRAFÍA 10. MEDIDOR DE MÓDULO RESILIENTE LWD	34
FOTOGRAFÍA 11. EXTENDIDA MOTONIVELADORA Y HUMECTACIÓN	41
FOTOGRAFÍA 12. EXTENDIDA MOTONIVELADORA Y HUMECTACIÓN	41
FOTOGRAFÍA 13. EXTENDIDA FINISHER Y COMPACTACIÓN	42
FOTOGRAFÍA 14. EXTENDIDA FINISHER Y COMPACTACIÓN	42
FOTOGRAFÍA 15. TOMA DENSIDADES CONO ARENA-DENSÍMETRO	43
FOTOGRAFÍA 16. TOMA DENSIDADES CONO ARENA-DENSÍMETRO	43
FOTOGRAFÍA 17. EXPLOTACIÓN MAPIA	44
FOTOGRAFÍA 18. EXPLOTACIÓN MAPIA	44
FOTOGRAFÍA 19. DISGREGACIÓN Y ADICIÓN MAPIA	47
FOTOGRAFÍA 20. DISGREGACIÓN Y ADICIÓN MAPIA	47

	Pág.
FOTOGRAFÍA 21. APLICACIONES MAPIA	49
FOTOGRAFÍA 22. APLICACIONES MAPIA	49
FOTOGRAFÍA 23. MODELACIÓN BRIQUETAS EN LABORATORIO	50
FOTOGRAFÍA 24. PRENSA MARSHALL Y BAÑO MARÍA	52
FOTOGRAFÍA 25. PRENSA MARSHALL Y BAÑO MARÍA	52
FOTOGRAFÍA 26. MARTILLO NEUMÁTICO MARSHALL	52
FOTOGRAFÍA 27. PRENSA INMERSIÓN – COMPRESIÓN	53
FOTOGRAFÍA 28. CENTRÍFUGA Y HORNO EXTRACTOR	54
FOTOGRAFÍA 29. CENTRÍFUGA Y HORNO EXTRACTOR	54
FOTOGRAFÍA 30. MATERIALES PÉTREOS A COMBINAR CON MAPIA	55
FOTOGRAFÍA 31. MATERIALES PÉTREOS A COMBINAR CON MAPIA	55
FOTOGRAFÍA 32. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	59
FOTOGRAFÍA 33. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	59
FOTOGRAFÍA 34. CAMPAMENTO PILOTO CASA BLANCA	65
FOTOGRAFÍA 35. EQUIPO FWD	93
FOTOGRAFÍA 36. CAMPAMENTO PILOTO GUADUERO	96
FOTOGRAFÍA 37. MEDCIÓN MÓDULOS LWD	97
FOTOGRAFÍA 38. PROCESO DE CERE0	97
FOTOGRAFÍA 39. PROCESO DE VIBROCOMPACTACIÓN	98
FOTOGRAFÍA 40. ACOPIO RESGUARDO ASFALTITA	98
FOTOGRAFÍA 41. PROCESO INSTALACIÓN ASFALTITA	99

	Pág.
FOTOGRAFÍA 42. PROCESO INSTALACIÓN ASFALTITA	99
FOTOGRAFÍA 43. PROCESO CONSTRUCTIVO ASFALTITA	100
FOTOGRAFÍA 44. PROCESO CONSTRUCTIVO ASFALTITA	100
FOTOGRAFÍA 45. PROCESO CONSTRUCTIVO ASFALTITA	100
FOTOGRAFÍA 46. PROCESO CONSTRUCTIVO ASFALTITA	100

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ESPECIFICACIONES PARTICULARES, INVÍAS E IDU	-
ANEXO B. ENSAYOS CARACTERIZACIÓN ASFALTITA Y MAPIA CVH	-
ANEXO C. ENSAYOS CARACTERIZACIÓN MAPIA Y RÍO NEGRO CVH	-
ANEXO D. CERTIFICADOS EQUIPOS DE LABORATORIO CVH	-
ANEXO E. RESULTADOS APIQUES CAMPAMENTOS CVH	-
ANEXO F. TRÁNSITO DE DISEÑO CAMPAMENTOS CVH	-
ANEXO G. MATERIAL BOCAMONTE CARACTERIZADO CVH	-
ANEXO H. RESULTADOS MAPIA POR FWD REFERENCIADO	-
ANEXO I. APORTE ESTRUCTURAL BOCAMONTE COMO SUBBASE	-
ANEXO J. ENSAYOS DE LABORATORIO DINDAL CAPARRAPÍ HMV	-
ANEXO K. APIQUES DINDAL CAPARRAPÍ CVH	-
ANEXO L. REGISTROS DE CAMPO MEDICIONES LWD	-
ANEXO M. REPORTES DE MEDICIÓN FWD	-
ANEXO N. MEMORIA DE CÁLCULO	-

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: ASFALTOS NATURALES: LA “MAPIA” Y “ASFALTITA”, ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCIÓN EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL CONTRATO RUTA DEL SOL TRAMO 1

AUTORES: DAVID ALBERTO SANTOS MONTERO
RICARDO ALFONSO LUNA NAVARRO

FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS TERRESTRES

DIRECTOR: NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

RESUMEN

La construcción de vías en el área urbana y rural, así como el alistamiento de fortines - campamentos en obras de ingeniería civil, industria petrolera, arquitectura y urbanismo, generan desarrollo social y económico. Su construcción requiere de materiales de bajo costo, alta disponibilidad y con propiedades que garanticen el cumplimiento de la durabilidad prevista en un proyecto con un costo razonable de mantenimiento. A su vez resulta ideal, que estos materiales sean de relativa abundancia y que para su procesamiento requiera tecnología limpia tradicional con el consecuente bajo impacto ambiental. A este grupo de materiales corresponden los asfaltos naturales.

En Colombia existen formaciones geológicas que incluyen mantos de gravas y arenas que en algún momento de la historia del planeta se impregnaron de crudos de petróleo, los cuales trataron de salir a la superficie por presión, dejando yacimientos de mezclas asfálticas naturales consideradas como materiales pétreos impregnados con asfalto, nombre que abarca dos (2) grandes grupos como son los “Conglomerados Asfálticos Naturales”, como las ASFALTITA encontradas en la “Mina San Pedro” en el departamento del Tolima, y los “Morteros Asfálticos Naturales”, como la MAPIA de las minas que existen en los departamentos de Caldas (Municipio de La Dorada) y Caquetá entre otros.

Estos dos (2) materiales tienen contenidos variables de asfalto de buena calidad para la pavimentación de calles y carreteras, y su proporción al igual que la granulometría es variable pero que permiten su mezcla con otros agregados para lograr una eficiente fórmula de trabajo, aplicando la tecnología de las mezclas en frío ó en caliente para asfaltos líquidos¹.

PALABRAS CLAVES: ASFALTOS NATURALES, MAPIA, ASFALTITA, BASE ASFÁLTICA NATURAL, CONGLOMERADOS ASFÁLTICOS NATURALES, MÓDULO DINÁMICO, NÚMERO ESTRUCTURAL, MORTEROS ASFÁLTICOS NATURALES, SUB-BASE ASFÁLTICA NATURAL RODADURA ASFÁLTICA NATURAL.

Vo. Bo. DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

¹Los Morteros Asfálticos Naturales, Una Alternativa Ecológica para el Mejoramiento de una Red Vial – De lo Empírico a lo Técnico, Ing. JORGE JAVIER PEÑA, Universidad del Cauca, 2010.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

TITLE: NATURAL ASPHALT: THE "MAPIA" AND "ASPHALTITE"
ALTERNATIVE CONSTRUCTION ROAD INFRASTRUCTURE IN
THE PATH OF THE SUN CONTRACT SECTION 1

AUTHORS: DAVID ALBERTO SANTOS MONTERO
RICARDO ALFONSO LUNA NAVARRO

FACULTY: CIVIL ENGINEERING
SPECIALIZATION OVERLAND ROUTES

DIRECTOR: NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

ABSTRACT

The construction of roads in urban and rural, and the enlistment of forts - camps in civil engineering, oil industry, architecture and urbanism, generate social and economic development. Its construction requires materials of low cost, high availability and properties to ensure compliance with the durability under a project with a reasonable cost of maintenance. At the same time is ideal, that these materials are of relative abundance and processing required for traditional clean technology and the consequent low environmental impact. This group of materials is natural asphalts. In Colombia there are geological formations that include beds of gravel and sand, which at some point in the history of the planet is impregnated with crude oil, which tried to surface pressure, leaving deposits of natural asphalt impregnated stone materials considered with asphalt, a name that includes two (2) large groups such as "Natural asphalt Cluster" as the Asphaltites found in the "Mina San Pedro" in the department of Tolima, and "Natural asphalt Mortars," as MAPIA of mines that exist in the departments of Caldas (Municipality of La Dorada) and Caquetá among others.

These two (2) materials have variable content quality asphalt for paving of streets and roads, and their ratio as the particle size is variable but allow mixing with other aggregates to achieve an efficient formula for work, applying the technology mixes hot or cold for liquid asphalt¹.

¹ Natural Asphalt Mortars, A Green Alternative to Improve Road Network - From the empirical to the Technical, Mr. JORGE JAVIER PENA, Universidad del Cauca, 2010.

KEYWORDS: NATURAL ASPHALT, MAPIA, ASFALTITA, ASPHALT BASE
NATURAL ASPHALT CLUSTER NATURAL LAW OF
FATIGUE, DYNAMIC MODULE, MORTAR NATURAL
ASPHALT, NATURAL ASPHALT BASE SUB-NATURAL
ASPHALT LAYERS.

Vo. Bo. DIRECTOR OF WORK DEGREE

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las actividades de construcción del proyecto “Ruta del Sol Tramo 1” ejecutándose actualmente por el Consorcio Vial Helios, se encuentran definidos dos (2) escenarios para la ejecución de algunas obras de infraestructura vial: El primero, la adecuación de vías internas para los campamentos operativos y habitacionales del proyecto, y el segundo, una alternativa de construcción para la pavimentación de la vía “Dindal - Caparrapí” (Departamento de Cundinamarca).

Estos insumos, han sido examinados y estudiados por algunas entidades y profesionales a nivel de laboratorio mediante la realización de estudios y algunas obras complementarias, habiendo mostrado competencia en su desempeño, cuestión que los ha llevado a considerarlos como alternativas de construcción. En el proyecto, se ha considerado demostrativo la ejecución de un tramo de prueba en la vía “Dindal - Caparrapí” y el acondicionamiento de los parqueaderos, vías industriales y accesos vehiculares de los campamentos provisionales de la obra.

Su objeto es tratar de examinar las condiciones particulares de manejo en obra, así como el conocimiento de sus propiedades mecánicas y de desempeño reales versus las relacionarlas con las obtenidas a nivel de laboratorio.

Los materiales, se encuentran ubicados en inmediaciones a la zona del proyecto, más exactamente en la “Mina de ASFALTITA San Pedro”, municipio de Armero (Departamento del Tolima), y la “Mina de MAPIA La Milagrosa”, en el municipio de La Dorada (Departamento de Caldas). Adicionalmente, y debido al proceso apremiante de planeación llevado a cabo en la etapa de pre-construcción de la obra, se requería considerar a un corto plazo, menores costos y tiempos oportunos de entrega, la puesta en marcha de dos (2) de los tres (3) campamentos proyectados: “Guaduoero” y “Santa Ana”.

De la misma forma, en el tramo vial referenciado, fue destinado un porcentaje del presupuesto contractual para mejorar las condiciones de transitabilidad y nivel de vida existente en esta zona del proyecto. Concebidos los análisis de información existente y la auscultada en los sectores particulares de estudio, se deberán determinar los espesores de diseño en los pavimentos.

Por lo anterior, esta investigación soporta la toma particular de decisiones por parte del grupo constructor, frente al uso y aprovechamiento de los asfaltos naturales y agregados pétreos presentes en la zona.

1.1. JUSTIFICACIÓN

La postulación de un diseño de estructura en pavimento flexible en frío, así como la caracterización de algunos materiales presentes provenientes y aledaños a la zona de estudio con la incorporación de asfaltos naturales para el desarrollo del contrato “Ruta del Sol Tramo 1”, se ha constituido como una alternativa práctica e interesante por parte de la organización constructora Consorcio Vial Helios.

En este sentido, es importante resaltar, que los materiales objeto de estudio en la presente investigación, tiene aplicaciones muy prácticas para algunas condiciones particulares en obras de infraestructura vial y urbanismo. A nivel técnico, los asfaltos naturales ó materiales asfálticos no convencionales, se pueden usar mezclándolos en frío o en caliente con otros agregados para ajustar fórmulas de trabajo ó en la estabilización de los agregados existentes para su aplicación en carreteras.

Normalmente se habla de “ASFALTITA” como aquel asfalto natural compuesto de hidrocarburos predominantemente aromáticos de alto peso molecular y estructura compleja, de color negro brillante, que actúa como agente reforzante interno para bitúmenes, mejorando la estabilidad y resistencia de mezclas asfálticas, lográndose así pavimentos duraderos a bajo costo¹.

La palabra “MAPIA”, significa un material pétreo impregnado con asfalto, simbología que si bien describe la composición general de los materiales, no identifica su verdadera constitución. También es considerada una mezcla natural de agregado fino, asfalto, solventes, agua y azufre entre otros minerales, resultando un producto que se extiende como tratamiento superficial, que una vez evaporada el agua y algunos solventes, se adhiere a la superficie para impermeabilizar y proveer una superficie rodante de competente durabilidad¹.

Al realizar un paralelo entre los dos (2) materiales, éstos proveen combinaciones que son enfocadas al uso y denominación de “Morteros Asfálticos Naturales”. Sus características y comportamiento, los tienden a clasificar como mezclas naturales de agregado fino bajo la presencia de asfalto ó bitúmen, solventes, agua y otros minerales, resultando naturalmente un producto competente para la concepción de vías y obras complementarias de similar equivalencia, dentro de las que podemos mencionar la construcción de capas de rodadura y base asfáltica, estabilización de base, sub-bases y afirmados granulares.

Desde hace años estos materiales asfálticos no convencionales se vienen utilizando para el mejoramiento de carreteras en las zonas aledañas a sus fuentes de explotación, vías secundarias, terciarias con el uso de equipos tradicionales de pavimentación.

Las cantidades de los compuestos que intervienen en su conformación son variables, dependiendo de la formación geológica intervenida por el crudo de petróleo y la posición de la capa. Los morteros asfálticos naturales se encuentran en capas relativamente superficiales de diferente profundidad, las cuales son explotadas con el recurso de retroexcavadoras o buldóceres¹.

Todo lo anterior se verá reflejado para la organización constructora en la reducción de costos, debido a la optimización de los diseños particulares concebidos. Por otro lado, la estabilidad y durabilidad que son esperadas, generará un mejor nivel de operación, seguridad y confort para los usuarios particulares que en ellas intervendrán.

¹Los Morteros Asfálticos Naturales, Una Alternativa Ecológica para el Mejoramiento de una Red Vial – De lo Empírico a lo Técnico, Ing. JORGE JAVIER PEÑA, Universidad del Cauca, 2010.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la composición asfáltica requerida con las materias primas seleccionadas, así como la postulación del ó los espesores en la estructura de pavimento flexible en frío para los campamentos operativos “Guaduro - Santa Ana”, así como un tramo de prueba en la vía “Dindal – Caparrapí” para el proyecto “Ruta del Sol Tramo I”.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir, analizar y evaluar las características generales de las zonas referenciadas en estudio, así como sus condiciones de resistencia en los materiales de fundación y estructuras conformantes existentes, así como los niveles de tránsito considerados.
- Seleccionar y analizar agregados pétreos que garanticen la buena manufactura de las combinaciones asfálticas a diseñar.
- Ejecutar las pruebas y ensayos de laboratorio requeridos para las validaciones de los materiales postulados en las combinaciones asfálticas.
- Realizar y verificar el diseño óptimo de las combinaciones asfálticas bajo los enfoques normativos particulares y las Especificaciones Generales de Construcción INVIAS/2007, así como el Reglamento Técnico IDU-ET-2005, y demás consideraciones particulares para la construcción del proyecto.
- Evaluar y retro-calcular con la ayuda de equipo especializado, exploraciones geotécnicas y metodologías empíricas, las estructuras de pavimento proyectadas en las zonas de estudio.

2. ASPECTOS GENERALES

El gobierno nacional, a través del Consejo Nacional de Política Económica y Social de Planeación Nacional (CNPESPN), declaró mediante documento CONPES 3413, la importancia estratégica de un programa de concesiones viales, que incluía el desarrollo de once (11) proyectos carreteros, con el fin de contribuir al mejoramiento de la capacidad de la infraestructura física de transporte, promover la competitividad del país y potenciar los beneficios derivados de la suscripción de acuerdos comerciales con terceros países.

En este sentido, con la asesoría de la International Finance Corporation (IFC) del Banco Mundial, le solicitó al Ministerio del Transporte y al Instituto Nacional de Concesiones (INCO), desarrollar la estructuración de los contratos y de los procesos precontractuales de dichos proyectos, de acuerdo con lo previsto en los lineamientos de política para el desarrollo de concesiones viales y para el manejo de riesgo contractual del estado en proyectos de participación privada en infraestructura. Dentro de las once (11) concesiones contenidas en el citado programa, se incluía la realización de un proyecto vial, para mejorar la conexión vial del centro del país con la Costa Atlántica, a través del corredor Bogotá (El Cortijo) – Villeta – Puerto Salgar – San Alberto – Santa Marta, y así reducir costos de transporte y favorecer una mayor integración productiva e inclusión social entre el Caribe Colombiano y el interior del país (Ver Figura No. 1).



Figura No. 1. Localización

Fuente: Instituto Nacional de Concesiones INCO – Consorcio Vial Helios

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente expuestas, el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Concesiones (INCO), sometieron a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social de Planeación Nacional (CNPESPN), el proyecto vial citado en el párrafo anterior, denominado “Autopista Ruta del Sol”, el cual, fue declarado como estratégico para el mejoramiento y ampliación de la infraestructura vial de Colombia, mediante documento CONPES 3571.

El proyecto vial “Autopista Ruta del Sol” se encuentra dividido en tres (3) sectores:

- Tramo 1 Concesión Vial “Ruta del Sol”: Tobiagrande / Villeta – Guaduro - El Korán.
- Tramo 2 Concesión Vial “Ruta del Sol”: Puerto Salgar – San Roque.
- Tramo 3 Concesión Vial “Ruta del Sol”: San Roque – Ye de Ciénaga - Carmen de Bolívar - Valledupar.

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La “Ruta del Sol” es un proyecto vial de gran dimensión (Superior a los mil (1.000) kilómetros), cuya finalidad es mejorar la comunicación entre el centro del país y la Costa Atlántica mediante la creación de una vía rápida de doble calzada que aumentará considerablemente la capacidad de transporte del corredor actual y acortará de forma significativa los tiempo de viaje. Particularmente, el Consorcio Vial Helios, se encarga únicamente de la construcción, operación y mantenimiento del tramo entre “Villeta – Guaduro – El Korán”, Tramo I.



Figura No. 2. Ubicación General

Fuente: Instituto Nacional de Concesiones INCO – Consorcio Vial Helios

Su longitud aproximada es de setenta y ocho (78) kilómetros dividida en tres (3) subtramos (K0+000 a K25+600, K25+600 a K51+400 y K51+400 a K78+313), iniciando cerca del Municipio de Villeta (C) sobre el empalme con la Concesión Sabana de Occidente, y continúa por las proximidades del Municipio de Guaduas (C) sector “Guaduoero” y el cauce del “Río Negro” y finaliza en la ruta 4510 sobre el Municipio de Puerto Salgar (B) sector “El Korán” (Ver Figuras No. 2 y No. 3).

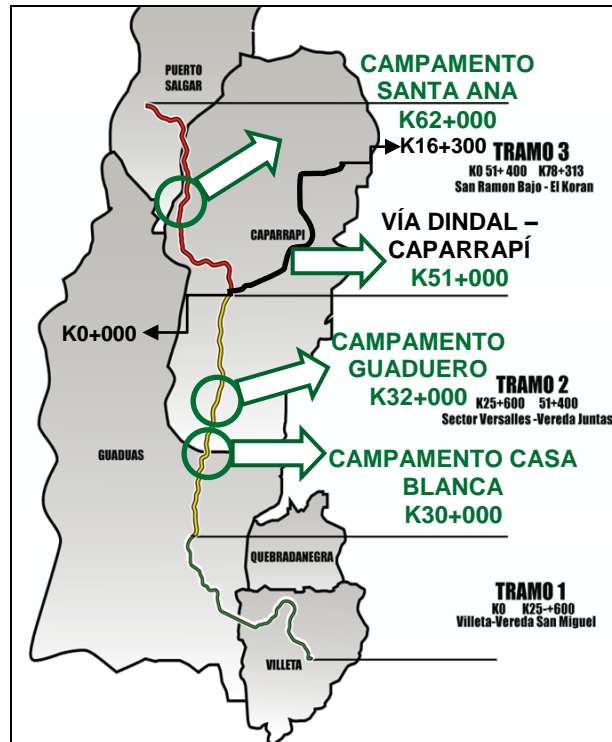


Figura No. 3. Localización Específica

Fuente: Instituto Nacional de Concesiones INCO – Consorcio Vial Helios

Incluye la pavimentación de la vía al Municipio de Caparrapí (C) sobre una longitud aproximada de diez y seis (16) kilómetros, la construcción de las variantes e intersecciones a los Municipios de Villeta y Guaduas (C), tres (3) túneles y treinta y ocho (38) viaductos en doble calzada respectivamente (Ver Figura No. 4).

Dada la mayor complejidad del Tramo I, y al ser esta una vía nueva, por su misma construcción en zona montañosa y la mayor incertidumbre en las proyecciones de tránsito, se tomó por parte del Instituto Nacional de Concesiones INCO, la decisión de suprimir el riesgo de demanda del contrato de concesión.

En este sentido, se acordó un contrato a siete (7) años, contados desde la fecha ó acta de inicio del contrato de concesión, correspondientes a una etapa preoperativa de cuatro (4) años compuesta por la fase de pre-construcción de un (1) año, una fase de construcción de tres (3) años y una etapa de operación y mantenimiento que tendrá una duración de tres (3) años respectivamente.

ALCANCE			
Longitud vía	78.3 Km		
Villeta - Guaduoero	Velocidad de diseño:	80km/h	pendiente 7%
Guaduas- Variante a Guac	Velocidad de Longitud:	90km/h	pendiente 3%
3.3 km			
Variante a Caparrapí	Repavimentación:	16,4	Sin operación ni mantenimiento
Intersecciones	Cuatro a desnivel	Una a nivel	
Túneles	San Miguel	2180m Doble Calzada	pendiente - 1.50%
	La Cumbre	960 m Doble Calzada	pendiente - 2.50%
	Las Lajas	380 m Doble Calzada	pendiente - 2.50%
Longitud viaductos	12 km 38 viaductos en doble calzada. Luz promedio 375 metros		

Figura No. 4. Alcance General del Proyecto

Fuente: Instituto Nacional de Concesiones INCO – Consorcio Vial Helios

2.2. CLIMA

La temperatura ambiente promedio ponderada WMATT para la zona en donde se desarrollará el proyecto, oscila entre los 20 a 32°C, según los datos estadísticos reportados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Colombiano - IDEAM.

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS EN ESTUDIO

2.3.1. CAMPAMENTOS (PARQUEADEROS INTERNOS, VÍAS INDUSTRIALES Y ACCESOS VEHICULARES)

El propósito es el presentar una alternativa de intervención para la construcción de las vías internas en los campamentos operativos y habitacionales, haciendo uso de los asfaltos naturales y agregados pétreos según estudios previos pertinentes.

Los campamentos “Santa Ana y Guaduoero”, se encuentran localizados en el K62+000 y K32+000 del abscisado general del proyecto. En las Fotografías No. 1, 2, 3 y 4 se pueden ver los detalles de su respectiva localización y construcción.



Fotografía No. 1. Panorámica Campamento Santa Ana
Fuente: Consorcio Vial Helios



Fotografía No. 2. Panorámica Campamento Santa Ana
Fuente: Consorcio Vial Helios



Fotografía No. 3. Panorámica Campamento Guaduro
Fuente: Consorcio Vial Helios



Fotografía No. 4. Panorámica Campamento Guaduro
Fuente: Consorcio Vial Helios

2.3.2. TRAMO DE PRUEBA VÍA DINDAL - CAPARRAPÍ

El proyecto incluye dentro de su alcance básico, la pavimentación de la vía “Dindal – Caparrapí” en una longitud aproximada de diez y seis (16) kilómetros. Dentro de las opciones de materiales, se han considerado dentro de las alternativas de diseño y construcción, el uso y empleo de conglomerados asfálticos naturales presentes en algunos municipios adyacentes al corredor vial como lo son Armero en el Departamento del Tolima y La Dorada en el Departamento de Caldas (Ver Fotografías No. 5, 6, 7 y 8 respectivamente).

Dentro de la evaluación practicada y dentro del inicio sobre el desarrollo de la presente investigación, el pasado mes de Abril de 2012 se llevó a cabo un tramo de prueba con conglomerado asfáltico natural, cuyo propósito era el tratar de establecer las condiciones de manejabilidad del producto asfáltico y buscar los niveles de densificación adecuados, así como examinar su evolución en las condiciones superficiales y mecánicas, evaluado ésto mediante la obtención de sus módulos elásticos provenientes del retro-cálculo por medio del uso de un deflectómetro tipo FWD (Falling Weight Deflectometer) como el mostrado a continuación en las Fotografías No. 9 y 10, denominado particularmente LWD (Ligth Weight Deflectometer), adquiridos de manera exclusiva por el Consorcio Vial Helios – CVH respectivamente.

Con base en lo anterior, y reuniendo la valoración de los aspectos constructivos y de desempeño tanto funcional como mecánico para los usos particulares requeridos, se consideraron los materiales asfálticos examinados como aptos y buenos para su aplicación y circunspección en capas estructurales para pavimentos flexibles en frío ó en caliente.



Fotografía No. 5. Mina ASFALTITA - Municipio Armero
Fuente: Organización “San Pedro S.A.” – Ing. Jorge Javier Peña¹



Fotografía No. 6. Mina ASFALTITA - Municipio Armero
Fuente: Organización “San Pedro S.A.” – Ing. Jorge Javier Peña¹

¹Los Morteros Asfálticos Naturales, Una Alternativa Ecológica para el Mejoramiento de una Red Vial – De lo Empírico a lo Técnico, Ing. JORGE JAVIER PEÑA, Universidad del Cauca, 2010.



Fotografía No. 7. Mina MAPIA - Municipio La Dorada
Fuente: Organización "Colasfaltos S.A."



Fotografía No. 8. Mina MAPIA - Municipio La Dorada
Fuente: Organización "Colasfaltos S.A."



Fotografía No. 9. Medidor de Módulo Resiliente LWD
Fuente: Consorcio Vial Helios



Fotografía No. 10. Medidor de Módulo Resiliente LWD
Fuente: Consorcio Vial Helios

3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales estudiados y caracterizados en los laboratorios de control de calidad del Consorcio Vial Helios CVH, presentan las siguientes identificaciones básicas soportadas y complementadas con algunos estudios previos y análisis de literatura especializada y normativa particular adoptada en el tema:

3.1. LA ASFALTITA

3.1.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN²

Compuesto de hidrocarburos predominantemente aromático de alto peso molecular y estructura compleja, color negro brillante que actúa como agente reforzante interno para asfaltos que redundan en el mejoramiento en la medida de la estabilidad y resistencia de una mezcla asfáltica, reduciendo la susceptibilidad térmica y el descubrimiento por acción del agua; es decir un “Aditivo Natural” para mejorar el comportamiento del bitumen.

En sus fuentes de explotación se encuentran en forma de conglomerados con intercalaciones casi horizontales recubiertos de un residuo asfáltico tipo natural comúnmente llamado “ASFALTITA”. Éstas se clasifican como “Gilsonita”, “Grahamita y “Pez Lustrosa”, cuya diferencia reposa en la determinación de su punto de ablandamiento, coloración, peso específico y punto de fusión.

La “Gilsonita” es un hidrocarburo en polvo fácilmente unible al agua con un humectante tipo “Glicol”, utilizadas normalmente en lodos base-aceite cuyo uso es característico en la estabilización de cortes.

De otro lado la “Grahamita” posee un contenido más alto de carbono fijo presentando hinchamiento más no fundimiento cuando se calienta. Su coloración es la más negra de las tres (3) clasificaciones.

Finalmente la “Pez Lustrosa” es una ASFALTITA intermedia entre las dos (2) anteriores cuya principal característica es poseer un peso específico y punto de fusión más elevado; se funde con más dificultad, es menos soluble en la nafta del petróleo utilizándose comúnmente en la manufactura de barnices y lacas debido precisamente a su lustre e intenso color negro.

²Los Conglomerados Asfálticos de la Mina San Pedro – Un Recurso Natural para el Mejoramiento Vial - Ing. JORGE JAVIER PEÑA, Universidad del Cauca, 1998

3.1.2. UBICACIÓN PARTICULAR PARA EL PROYECTO

Una de sus principales minas a nivel nacional se encuentra ubicada a cuatro (4) kilómetros del antiguo Municipio de Armero en el Departamento del Tolima, zona adyacente al corredor constructivo del proyecto “Ruta del Sol Tramo 1”.

3.1.3. CARACTERIZACIÓN²

Sus contenidos de asfalto natural son variables, con una buena capacidad ligante, que permiten ser usadas en afirmados, capas de bases y sub-bases granulares presentando estabilidad en sus propiedades mecánicas y capacidad de soporte en pavimentos flexibles. Poseen buena adherencia con algunos ligantes bituminosos como lo son el “Crudo de Castilla” y las “Emulsiones Asfálticas”.

Dicha combinación llegan a ofrecer estabilidades y flujos Marshall dentro de algunos criterios normativos “Particulares” como los considerados por el “Instituto Norteamericano del Asfalto”, el “Reglamento Técnico IDU” y las “Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras INVÍAS” (Ver Anexo A).

La estratigrafía del subsuelo de una mina de “ASFALTITA”, puede estar conformado por capas de gravas areno limosas y arenas limosas con espesores variables definidos. Subyace sobre capas de material impregnado de un crudo de petróleo de la era “Cretácea Paleoceno”, el cual fluyó por presión originando el material anteriormente mencionado. Se pueden definir como una mezcla de asfalto natural, agua, azufre y agregados compuestos por cantos rodados de gradación densa. Sus contenidos del asfalto residual, varían entre un dos punto tres (2.3%) y un seis punto cinco (6.5%) por ciento referido al peso de los agregados². El análisis de la condición química de su asfalto residual después de la separación, ha permitido encontrar proporciones aproximadas de un quince (15%) de asfaltenos y un ochenta y cinco (85%) por ciento de maltenos, así como algunos contenidos de agua en intervalos comprendidos entre un tres (3%) y un ocho (8%) por ciento dependiendo del tipo de humedad y condición es climáticas particulares (Ver Figura No. 5).

Los agregados pétreos conformantes (Ver Figura No. 6), son cantos rodados y arenas cuarzosas en un alto porcentaje, que en ensayos de extracción-gradación después de lavada la “ASFALTITA” con ayuda del tricloroetileno ó algún disolvente como la gasolina, presenta gradaciones densas con tamaños comprendidos entre las cuatro (4”) pulgadas hasta un quince (15%) por ciento de finos pasa No. 200.

²Los Conglomerados Asfálticos de la Mina San Pedro – Un Recurso Natural para el Mejoramiento Vial - Ing. JORGE JAVIER PEÑA, Universidad del Cauca, 1998

CONTENIDO ASFALTICO NATURAL			
Contenido de Asfalto Natural	%	2.3 a 6.5	
Maltenos	%	84,60	
Asfáltenos	%	15,40	

Figura No. 5. Composición Química Asfalto Residual SARA
Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca / Corasfaltos

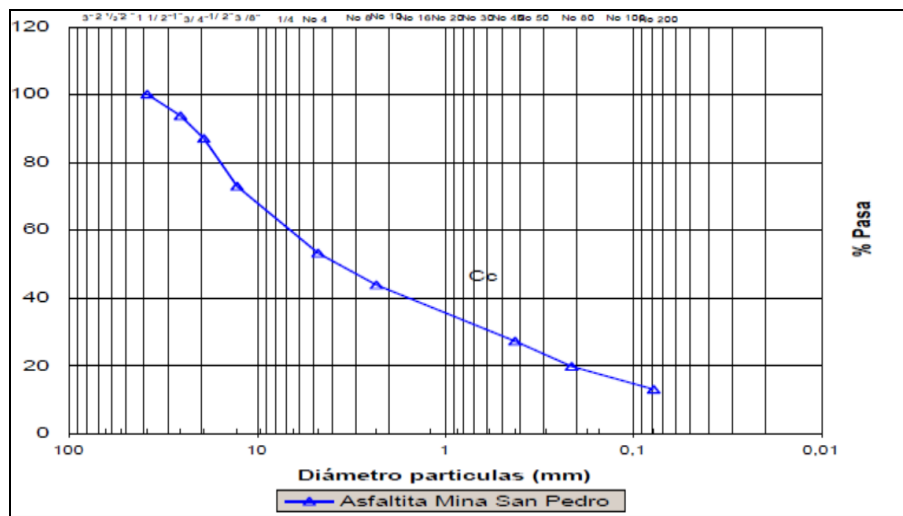


Figura No. 6. Ensayo Granulométrico Lavado y Tamizado
Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca / Corasfaltos

El comportamiento de los conglomerados asfálticos en la compactación depende del contenido de ligante natural y la humedad. Algunos ensayos de compactación “Próctor Modificado – PM”, indican una humedad óptima variable entre un cuatro (4%) y un ocho (8%) por ciento alcanzando densidades máximas secas cercanas a (1.913 grs/cm³) respectivamente.

Para este mismo valor, se han logrado alcanzar valores de capacidad de soporte CBR entre un veinte (20%) y un ochenta (80%) por ciento como se muestra igualmente en la Figura No. 7.

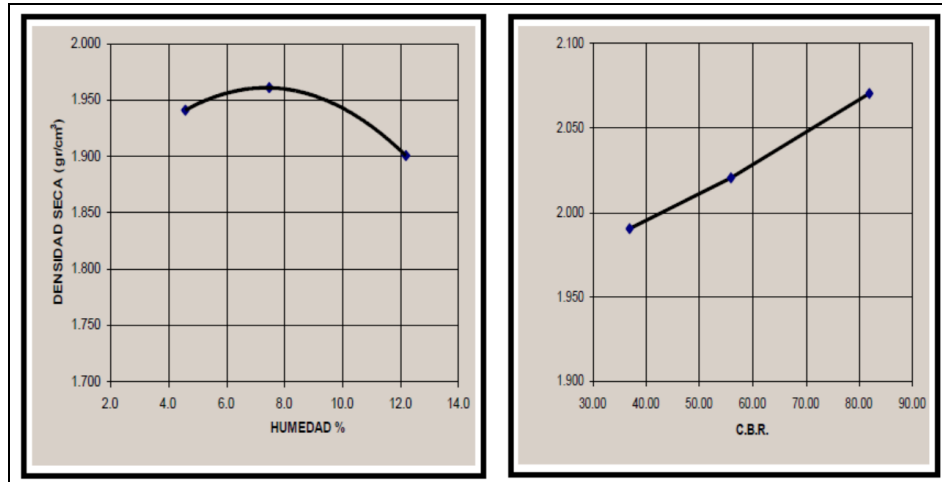


Figura No. 7. Ensayo Próctor y CBR

Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca / Corasfaltos

Finalmente, se han realizado diferentes ensayos de caracterización en laboratorio para calificar los agregados e intuir las posibilidades que presenta este material en la construcción de los pavimentos flexibles. Como se puede apreciar en la Tabla No. 1, los resultados consultados y revalidados por el “Laboratorio de Control de Calidad del Consorcio Vial Helios CVH” en donde se realizó la presente investigación, muestran un comportamiento estadístico similar a la luz de algunos criterios técnicos de aceptación a saber (Ver Anexo B):

CARÁCTERÍSTICA	ENSAYOS UNICAUCA ² (Año 1998)	ENSAYOS CVH (Anexo B) Año 2012
DMA (%)	29,30	30,50
Índice Aplanamiento (%)	9,00	11,00
Índice Alargamiento (%)	12,00	15,00
Equivalente de Arena (%)	91,80	87,00
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1470	1480
Gravedad Específica (g/cm ³)	2,248	2,127
Absorción (%)	3,56	4,01
Contenido Agua Natural (%)	[3,00 – 8,00]	3,60
Contenido Asfalto Natural (%)	[2,30 – 6,50]	5,60
Humedad Óptima (%)	[4,00 – 8,00]	6,0
Densidad Próctor Modificado (Grs/cm ³)	1920	2,069
CBR (Próctor Modificado) (100%)	81	82,4

Tabla No. 1. Ensayos Caracterización Literatura Base - CVH

Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca / Corasfaltos

3.1.4. EXPLOTACIÓN

Su aprovechamiento se divide en varias fases, comenzando por el retiro de la capa granular suprayacente con equipos tipo bulldozer ó excavadora. Luego y después de alcanzados los niveles ó capas del conglomerado asfáltico, se procede con su remoción con ayuda simplemente de una excavadora ó retro-excavadora, se tamizan con ayudas de cribas ó mallas que separan los sobretamaños para dar como resultado un producto con un uso granulométrico apto para la conformación de bases asfálticas ó carpetas de rodadura en una estructura definida de pavimento. El cribado puede ajustarse para conseguir los requisitos particulares ó generales de un diseño específico (Ver Fotografía No. 5).

Dependiendo de los resultados encontrados, este conglomerado puede incorporársele algunos ligantes líquidos que mejoren su cohesión como lo son las emulsiones asfálticas y el crudo de castilla ó una combinación de los dos. Sobre esta base y dependiendo de la necesidad ó no, se examina algunas propiedades básicas como lo son el contenido de humedad y asfalto natural y la granulometría.

3.1.5. DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO

De otro lado y obtenidas dichas materias primas, el conglomerado asfáltico posee un proceso de diseño para uso exclusivo en mezclas asfálticas en frío. Su valoración puede hacerse con ayuda del método de ensayo Marshall ó el de la Universidad de Illinois.

3.1.6. APLICACIONES

Su aplicación está concebida para ser incorporada en diferentes capas de una estructura de pavimento flexible, como lo son la construcción de afirmados (Mayor duración que un afirmado granular tradicional), capas de bases y sub-bases granulares estabilizadas. Normalmente cuando quedan expuestas durante mucho tiempo al tráfico y las inclemencias del tiempo, se recomienda protegerlas con sellos de emulsión u otro material bituminoso similar más arena.

Igualmente dicho conglomerado puede ser incorporado de manera simultánea como capas de sub-base en pavimentos rígidos y articulados, cuya ventaja es la conformar un manto impermeable que minimice la entrada de un flujo de agua a la sub-rasante de fundación de dicha estructura (Ver Figura No. 8).

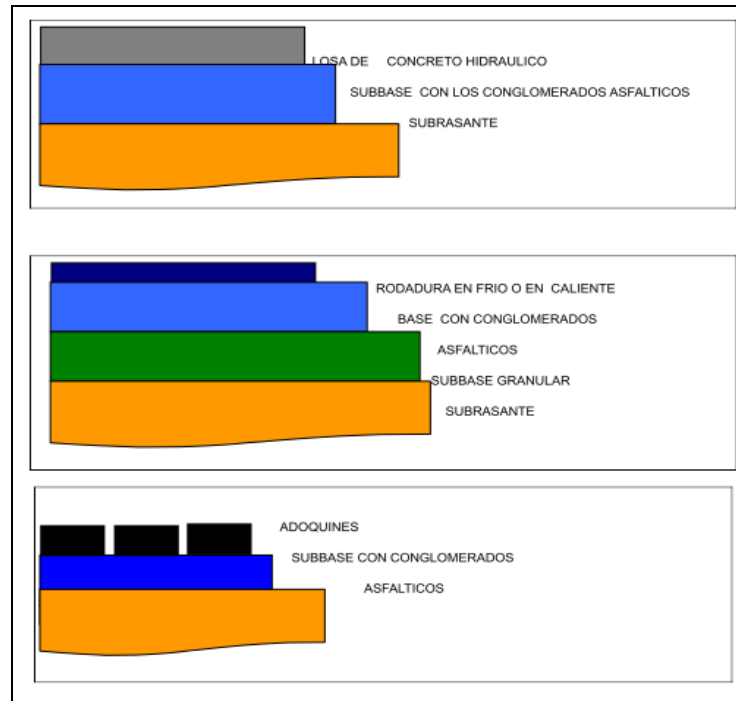


Figura No. 8. Alternativas de Uso en Pavimentos
Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca

Como procedimiento de construcción en capas de sub-base y base granular, el conglomerado asfáltico oscila con tamaños máximos (TM) en sus granulometrías entre dos y media (2-1/2") pulgadas, dos (2") pulgadas, una y media (1-1/2") pulgadas y una (1") pulgada, siempre y cuando que su tamaño máximo nominal (TMN) no debe sobrepasar un tercio (1/3) de la capa a compactar.

Otra condición de diseño estructural para ser incluido en un pavimento, es que el mínimo espesor a considerar sea de quince (15) centímetros compactos en una sola capa; superiores a ésta, deberán compactarse de manera individual en espesores no mayores a los diez (10) centímetros. Se utilizan las motoniveladoras para extender y conformar el material cuidando que en esta operación se mantenga un rango de humedades óptimas (Ver Fotografías No. 11 - 12) tal que se trate de conseguir la densificación de servicio esperada (Normalmente en las sub-bases y bases serán del noventa (90%) y noventa y cinco (95%) por ciento del Próctor Modificado).

Extendido el material debidamente conformada la capa y logrando los espesores deseados, se finaliza con el proceso de compactación ayudados de equipos con rodillos lisos vibratorios, compactadores neumáticos ó una mezcla de los dos hasta alcanzar la densidad deseada cuidando de no dejar ahuellamientos.

Las mezclas asfálticas, bases, sub-bases granulares y afirmados logrados con este tipo de conglomerado asfáltico se constituyen en un material alternativo para el mantenimiento y construcción de pavimentos flexibles y rígidos, el cual se puede almacenar, ventaja muy especial para este tipo de trabajos en obras de infraestructura vial, adecuación de campamentos y obras generales de urbanismo.



Fotografías No. 11 - 12. Extendida Motoniveladora y Humectación
Fuente: Consorcio Vial Helios

El conglomerado asfáltico para ser concebido como una capa de rodadura debe ser complementado con otro producto asfáltico líquido (Normalmente emulsión asfáltica de rompimiento lento CRL ó con Látex y el Crudo de Castilla), siempre y cuando la cantidad a adicionar sea superior al uno y medio por ciento (1,5%) del peso de los agregados. Su mezclado se realiza en la vía ó en una planta, siendo esta última la de mejor utilidad ya que allí se garantiza una mejor homogeneidad y mayores rendimientos de producción.

El producto final se almacena en depósitos cónicos resguardándoles siempre de la acción del agua e intemperie, siendo la primera causante de daños prematuros debido a la pérdida del producto asfáltico incorporado por acción misma del lavado quien finalmente la desestabiliza. El tiempo de embalaje puede durar por el período en que la emulsión rompa y hasta por tres (3) meses para el caso particular del Crudo de Castilla. Para su transporte, éste se realiza en vehículos de carga convencional con volcos que deben estar lo más limpios posibles (Que no presente derrames de combustibles) y dotados de carpas de lona.

Al igual que las sub-bases y bases granulares, su extendido se puede realizar con ayuda de motoniveladoras y cuando las condiciones técnicas y de construcción así lo exigen, se deja implementar por medio del uso de terminadoras de pavimentos (Ver Fotografía No. 13).

De igual manera sucede con los equipos de compactación y sellado final para su puesta en servicio (Ver Fotografía No. 14). Finalmente el tamaño máximo granulométrico (TM) oscila entre una (1") y tres cuartos (3/4") de pulgada.



Fotografías No. 13 - 14. Extendida Finisher y Compactación

Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca / Consorcio Vial Helios

El espesor mínimo a considerar dentro del proceso constructivo oscila normalmente entre los diez (10) y doce (12) centímetros compactos. Su densidad de servicio, dependiendo de la normatividad acogida, debe entregar el noventa (90%) por ciento de la *densidad máxima teórica* de la mezcla tal que redondee en el acercamiento al valor de módulo dinámico considerado en el diseño estructural del pavimento. No es recomendable dejar mezclas de un día para otro extendidas ó cuando funda temor de lluvia, ya que la pérdida paulatina de agua ó solventes ponen en detrimento la condición dinámica del material.

Todas las densidades de servicio se pueden obtener con ayuda de instrumentos de inspección y ensayo en laboratorio como lo son los dispositivos nucleares, PQI y el cono y arena (Ver Fotografías No. 15 – 16).

Igualmente puede ser muy tolerable a mediciones complementarias como lo son la determinación de lisuras (Regla de tres (3) metros), resistencia al deslizamiento (Péndulo TRRL), deflectometría (FWD, LFWD) e índice de rugosidad internacional IRI entre otros.



Fotografías No. 15 - 16. Toma Densidades Cono y Arena - Densímetro
Fuente: Consorcio Vial Helios

Como mención final, todas las capas constituidas por el conglomerado asfáltico “ASFALTITA” deben ser protegidas antes de entrar en uso con el tránsito, por medio de la ayuda de sellos de arena-asfalto, slurry seal, emulsiones asfálticas de rompimiento rápido (CRR) ó un tratamiento superficial acorde.

3.2. LA MAPIA

3.2.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN³

Material Pétreo Impregnado de Asfalto, comúnmente denominado MAPIA ó “Mortero Asfáltico Natural (MOAN)”.

Precisamente, este material se diferencia de las “ASFALTITA” es porque éstas últimas son mezclas naturales de gravas arenosas y crudos del petróleo que salieron eyectadas por sub-presiones y contaminó las capas ó depósitos de conglomerados pétreos presentes en la superficie terrestre. A estos se les llaman “Conglomerados Asfálticos Naturales (COAN)”. Estos materiales pueden ser utilizados en procesos de infraestructura vial como lo son la construcción de capas de rodadura, mantenimientos preventivos (Parcheos, y bacheos) y la estabilización de capas granulares para bases, sub-bases y afirmados. Están compuestos principalmente por arenas, asfalto, solventes, agua y presencia de algunos minerales como el azufre. Las cantidades de los compuestos, son variables, dependiendo de la formación geológica intervenida por el crudo de petróleo y la posición de la capa. Se encuentran en capas relativamente superficiales de diferente profundidad, las cuales son explotadas con la ayuda de retroexcavadoras, buldócer u otro equipo similar (Ver Fotografías No. 17 - 18).



Fotografías No. 17 - 18. Explotación MAPIA

Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca / Colasfaltos S.A.

3.2.2. UBICACIÓN PARTICULAR PARA EL PROYECTO

Una de sus principales minas a nivel nacional se encuentra ubicada en el Municipio de La Victoria en el Departamento de Caldas en la vía La Dorada – Norcasia a la altura del kilómetro 28, zona adyacente al corredor constructivo del proyecto “Ruta del Sol Tramo 1”.

3.2.3. CARACTERIZACIÓN³

La MAPIA está compuesto principalmente por un noventa (90%) por ciento de arena fina, crudo de petróleo expresado en un asfalto con solventes livianos y pesados, agua y algunos minerales entre los que se destaca el azufre.

Sus contenidos de asfalto son variables dependiendo de la profundidad de las capas extraídas con equipos competentes, mostrando gradaciones constantes y regulares (Ver Figura No. 9). Normalmente los minerales formadores de roca encontrados en dicho mortero son de origen sedimentario y metamórfico.

Los contenidos de asfalto en la MAPIA son mucho mayores que los determinados en las ASFALTITA, oscilando promediadamente entre un diez (10%) y un (15%) por ciento. A nivel de estudios SARA (Saturados Aromáticos Resinas y Asfaltenos), dicha composición sobre evaluación cuantitativa en asfalto residual se han obtenido los resultados mostrados a continuación (Ver Figuras No. 10 - 11), que son muy similares a la de un asfalto convencional obtenido en refinería.

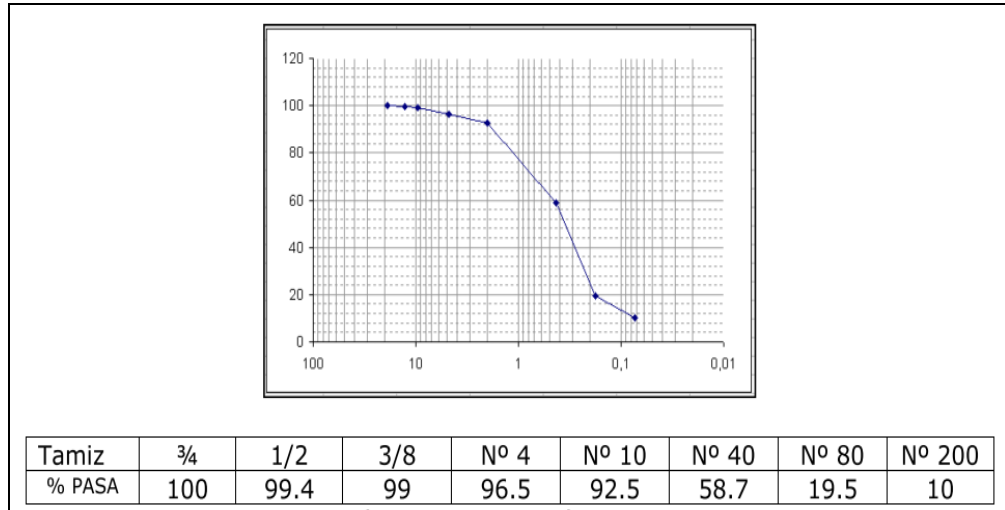


Figura No. 9. Ensayo Granulométrico Lavado y Tamizado
Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca

Fracción	Resultado % peso
Saturados	9.86
Aromáticos	29.71
Resinas	51.63
Asfáltenos	8.79
IC	0.23

Figura No. 10. Composición Química Asfalto Residual SARA
Fuente: Ing. Jorge Javier Peña – Universidad del Cauca

RESULTADOS UTILIZANDO LA CALIBRACION PARA ASFALTO	SATURADOS	AROMATICOS	RESINAS	ASFALTENOS	IC
	12,59	23,40	48,67	15,34	
INTERVALOS DE CONFIANZA	±0.89	±2.11	±1.08	±0.57	

Figura No. 11. Composición Química Asfalto Residual SARA
Fuente: Colasfaltos S.A.

Es de esperar que por tener un mayor contenido de asfalto residual, la MAPIA debe combinarse con un agregado pétreo (Diseminar) para tratar de minimizar a un porcentaje de trabajo el asfalto de diseño requerido.

De lo contrario, el solo material puede presentar problemas de ahuellamiento por excesos de deformabilidad representado en la medida de su flujo y en su propia disminución a la estabilidad, cuyas pruebas se ensayan a veinticinco grados centígrados (25°C) prediciendo su comportamiento en obra.

Precisamente algunos MOAN encontrados en el país (Departamentos del Caquetá, Tolima y Caldas), han mostrado valores de flujo superiores a las diez y seis centésimas de pulgada (16/100”), cuando normalmente sus umbrales máximos llegan a toques de catorce centésimas de pulgada (14/100”).

De otro lado, otra medida comparativa para verificar la calidad del MOAN es la determinación de su resistencia a la humedad, comúnmente valorada por el ensayo de inmersión – compresión para mezclas en frío en donde se evalúa el famoso Índice de Resistencia Conservada.

Finalmente y como se lleva una secuencia lógica de evaluación Marshall, el MOAN ó MAPIA, debe registrarse claramente por los parámetros de proporción con una arena, su densificación bulk (Preferiblemente mayor ó igual al noventa y cinco (95%) por ciento), estabilidad mínima (Seiscientos sesenta (660) Kilogramos a veinticinco grados centígrados (25°C)), flujo entre ocho y diez y seis (8-16) (1/100”) centésimas de pulgada) y vacíos totales mayores ó iguales a veinte (20%) por ciento para permitir salida de solventes y agua en el proceso de curado.

3.2.4. EXPLOTACIÓN

Por medio del uso de excavadoras ó retrocargadores como la(s) mostrada(s) en las Fotografías No. 17 – 18, se extraen capas cuyo objetivo es tratar de conservar su homogeneidad sobre diferentes depósitos los cuales deben ser analizados mediante la determinación inminente de ensayos y pruebas de laboratorio cotidianas como lo son la extracción y su contenido de humedad.

3.2.5. DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO

Basados en las gradaciones de los materiales a mezclar, se realiza un ajuste de las proporciones de tal forma que se compense en la mezcla los requerimientos de bitumen de cada agregado. Con dichas proporciones y elaboradas las mezclas, éstas se ensayarán utilizando el método Marshall, teniendo en cuenta que la mezcla se realiza a una temperatura tal que se pueda disgregar la MAPIA (Normalmente entre sesenta y cien (60 - 100°C) grados centígrados) buscando el cumplimiento normativo correspondiente.

³Los Morteros Asfálticos Naturales, Una Alternativa Ecológica para el Mejoramiento de la Red Vial de lo Empírico a lo Técnico - Ing. JORGE JAVIER PEÑA, Universidad del Cauca, 1998

Realizadas las mezclas son compactadas a la temperatura definida en el rango mencionado, procediendo a preparar las pruebas de estabilidad y flujo a veinticinco (25°C) grados centígrados, calentándose en horno en un período de media hora. Obligatoriamente es necesario llevar las briquetas a curado, consistente en someter los especímenes a una temperatura de sesenta (60°C) grados centígrados máximo a tres (3) días ó hasta el equilibrio en peso constante.

Sin embargo, las normatividades establecen que el curado de las mezclas se realice hasta cuando se pierda el veinticinco (25%) por ciento de solventes si la mezcla es para mantenimiento y hasta un cincuenta (50%) por ciento si la mezcla se destina para pavimentación. Finalmente y para ajustar la fórmula de trabajo, se recomienda implementar dos (2) de los procedimientos clásicos: En patio con ayuda de un cargador ó motoniveladora y lo que en infraestructura sencilla aporta una planta de manufactura en mezclas asfálticas.

En la primera, se tiene la dificultad que la MAPIA no se disgregue fácilmente lo que puede obligar al cambio del equipo (Disgregación de los terrones de MAPIA) mientras manualmente se recogen los sobretamaños (Ver Fotografías No. 19 – 20). Para la última, previa disgregación del material, el proceso aunque un poco más costoso, genera adecuada combinación para la obtención del producto final.



Fotografías No. 19 - 20. Disgregación y Adición MAPIA
Fuente: Consorcio Vial Helios

3.2.6. APLICACIONES

Al igual que en la “ASFALTITA”, su aplicación está concebida para ser incorporada en diferentes capas de una estructura de pavimento flexible, como lo son la construcción de afirmados (Mayor duración que un afirmado granular tradicional), capas de bases, sub-bases granulares estabilizadas y hasta en capas de rodadura.

La principal ventaja de este material granular es que está recubierto de otro material que posee propiedades ligantes. Esto lo hace multifuncional en las diferentes capas de un pavimento. Algunas aplicaciones, son las siguientes:

Capas de rodadura (Tipo “Slurry Seal” ó tratamientos superficiales, mezcla asfáltica en caliente con adición de agregados triturados y calentamiento. Mezcla asfáltica en frío con adición de agregados triturados – Ver Fotografías No. 21 - 22). Bases asfálticas (Bases asfálticas con adición de agregados triturados y calentamiento, incluido el RAP). Subbases y bases granulares estabilizadas (Subbases y bases granulares estabilizadas en frío incluido el RAP) y los afirmados como un material adicionado que actúa de ligante entre las partículas granulares y agente antipolvo.

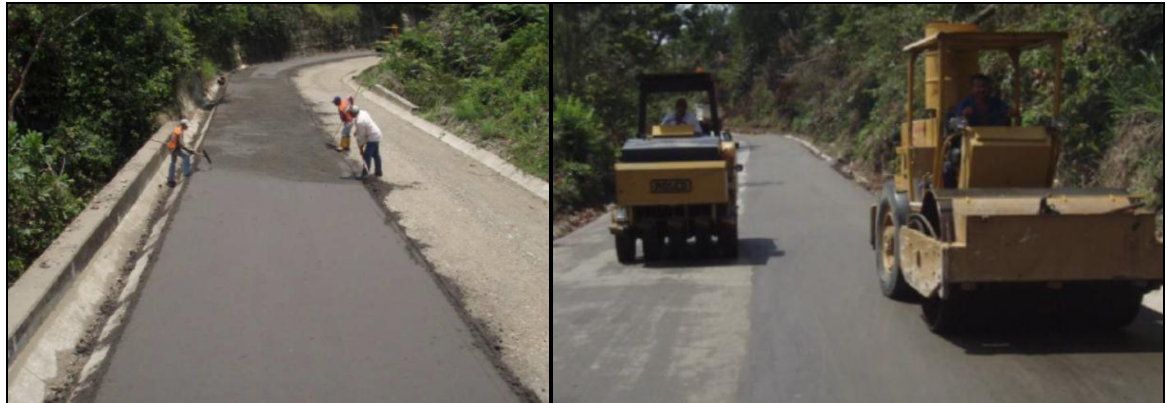
Finalmente se han utilizado en la construcción de parcheos, bateas, estabilización e impermeabilización de taludes y como material impermeabilizante en diferentes áreas (Lagunas, pozos y tanques), cunetas ó canales para manejo de aguas de escorrentía y diques perimetrales de contención de aguas debido a su ventajosa propiedad de su alta densidad suelta. Se puede reciclar. Al ser colocada en frío, puede levantarse, disgregarse, homogeneizarse y recomcompactarse nuevamente. La aplicación del producto no debe ser inmediata a su producción. Puede almacenarse durante tiempos prolongados sin afectar sus propiedades.

El material impregnado posee granulometría homogénea entre una arena media a fina. La heterogeneidad en su contenido de asfalto varía desde un cinco (5%) por ciento hasta un quince (15%) por ciento, con respecto al peso total. En la explotación se hace la clasificación en acopios de acuerdo al porcentaje de asfalto de la MAPIA. Sus altos porcentajes de maltenos del asfalto extraído, permiten adherirse a otros agregados nuevos (Alta cohesión).

De otro lado por ser un proceso natural de miles de años en formación, dan cubrimiento perfecto sobre el agregado impidiendo romper la unión (Alta adhesión). No necesita uso de explosivos. El espesor mínimo a considerar dentro del proceso constructivo oscila normalmente entre los diez (10) y quince (15) centímetros compactos. Su densidad de servicio, dependiendo de la normatividad acogida, debe entregar el noventa (90%) por ciento de la *densidad máxima teórica* de la mezcla tal que redunde en el acercamiento al valor de módulo dinámico considerado en el diseño estructural del pavimento.

Todas las densidades de servicio se pueden obtener con ayuda de instrumentos de inspección y ensayo en laboratorio como lo son los dispositivos nucleares, PQI y el cono y arena como las mostradas en las Fotografías No. 15 – 16.

Igualmente puede ser tolerable a mediciones complementarias como lo son la determinación de lisuras (Regla de tres (3) metros), resistencia al deslizamiento (Péndulo TRRL), deflectometría (FWD, LFWD) e índice de rugosidad internacional IRI entre otros.



Fotografías No. 21 - 22. Aplicaciones MAPIA
Fuente: Consorcio Vial Helios / Colasfaltos S.A.

4. DISEÑOS DE MEZCLAS

4.1. LA ASFALTITA

Como ya lo mencionamos, el conglomerado asfáltico posee un proceso de diseño para manufacturar exclusivamente mezclas asfálticas en frío. Su evaluación puede hacerse con ayuda del método de ensayo Marshall modificado (25°C) a veinticinco grados Celsius ó el de la Universidad de Illinois que para nuestro caso, será el primero de ellos.

De otro lado, en nuestro país se está normalizando el uso y aplicabilidad de estos materiales. Para ello, algunas entidades gubernamentales han adoptado de manera particular, el uso de especificaciones como lo son el Instituto Nacional de Vías – INVÍAS y el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá – IDU.

Se evaluarán dos (2) juegos de briquetas por cuatro (4) unidades (Ver Fotografía No. 23), cada una de cuatro pulgadas (4") de diámetro por contenido de asfalto hallado. Además, se completarán mil doscientos gramos (1.200 grs) de conglomerado asfáltico por cada briqueta tasada y ensayada en la prensa Marshall previo precalentamiento en el baño maría (Ver Fotografías No. 24 - 25).

Se trabajará con una energía de compactación de setenta y cinco (75) golpes por cara sobre el pedestal de castigo. El conglomerado asfáltico fue compactado con la utilización del martillo automático normalizado (Ver Fotografía No. 26) de diez (10 Lbs), con el objetivo de garantizar homogeneidad en la elaboración de las briquetas ó especímenes testigo.

Al mismo tiempo, se establece la densidad próctor del conglomerado, dato de vital importancia para la determinación de la densidad de servicio en campo, necesaria adicionalmente, para los procesos de liberación y obtención de módulos dinámicos que valorarán la puesta en servicio del material en la estructura de pavimento durante el proceso constructivo y exclusivo de los campamentos. De la misma manera se valoró el índice de resistencia conservada por el método de inmersión/compresión según norma de ensayo INVE-738 (Ver Fotografía No. 27).

Las características del tránsito de diseño, fueron tomadas para las condiciones de nivel NT-1 y NT-2 (<500.000 y entre 500.000 y 5×10^6 Ejes de camión de 80 KN) respectivamente. Como ya se mencionó, se determinaron los valores de densidad próctor y ahora el complemento en la determinación de su estabilidad, flujo, densidad seca al aire, superficie saturada seca y bulk, estableciendo el contenido de bitumen natural en donde se cumpla simultáneamente con los requisitos establecidos en las especificaciones y normas particulares, IDU e INVÍAS (Ver Figuras No. 12, 13 y 14 y el Anexo C).



Fotografía No. 23. Modelación Briquetas en Laboratorio
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	CAPA SUB-BASE SAN-1	CAPA BASE BAN-1	CAPA RODADURA RAN-1
RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS (MAQUINA DE LOS ANGELES)	INV E 218, INV E 219	35%	35%	30%
ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL A 25°C	INSTITUTO DEL ASFALTO	300	450	800
FLUJO A 25°C (MM)		2-3,5	2-3,5	2-3,5

Figura No. 12. Parámetros Normativos Particulares IDU
Fuente: IDU – Secretaria Infraestructura Municipio de Tenjo

CARACTERÍSTICA	Norma de Ensayo	MEZCLAS PREFABRICADAS Y ALMACENADAS
Compactación (golpes/cara)	INV E-748	75
Compactación giratoria (giros)		90
Estabilidad mínima – Marshall Modificado a 25°C (Kg) mínima		750
Flujo (mm)	INV E-748	2-4
Relación estabilidad / flujo		200 - 400

Figura No. 13. Parámetros Especificación IDU Res. 3649/2009
Fuente: IDU – Secretaria Infraestructura Municipio de Tenjo

Ensayo	Norma de Ensayo	Capa Subbase SAN -1	Capa Base BAN -1	Capa Rodadura RAN -1
Resistencia al Desgaste de los Agregados (Máquina de los Ángeles)	INV E 218 INV E 219	35%	35%	30%
Estabilidad a 25°C (kg)	Instituto del asfalto MS2	300	450	800
Flujo a 25°C (mm)		2-3.5	2-3.5	2-3.5

Figura No. 14. Parámetros Especificación IDU Ver.01/2006
Fuente: IDU – Secretaria Infraestructura Municipio de Tenjo



Fotografías No. 24 - 25. Prensa Marshall y Baño María
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores



Fotografía No. 26. Martillo Neumático Marshall
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores



Fotografía No. 27. Prensa Inmersión - Compresión
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

4.1.1. AGREGADOS PÉTREOS

El material pétreo presente en el conglomerado asfáltico natural (Agregado grueso y fino), debe cumplir algunos requisitos técnicos de valoración, dentro de los que podemos citar normativamente los ensayos de granulometría, plasticidad, contenido de materia orgánica, resistencia a la abrasión ó desgaste en máquina de los ángeles, sanidad de los agregados ó solidez, índices de forma (Alargamiento – aplanamiento), densidad próctor, equivalente de arena, absorción, peso unitario, gravedad específica, caras fracturadas, límite líquido, límite plástico y capacidad de soporte CBR entre otros.

Como se mencionó en el numeral 3.1.1.3. - Tabla No. 1. “Ensayos de Caracterización Literatura Base – CVH”, se procedió a caracterizar dicho material complementándolo con pruebas restantes y diferentes a las citadas en el párrafo inmediatamente anterior (Ver Anexo B).

4.1.2. MATERIAL BITUMINOSO

El contenido de asfalto natural obtenido sobre la muestra allegada al proyecto, se muestra en el Anexo B y para ello fue utilizado el método de centrifugación con solvente tricloroetileno corroborado con ayuda de última tecnología en el horno extractor (Ver Fotografías No. 28 - 29).

Por limitación del alcance en la investigación y por no disponer de equipos de alto nivel como el correspondiente a los análisis SARA (Saturados Aromáticos Resinas y Asfaltenos) en el proyecto, solo se reseñan los resultados base del estudio (Numeral 3.1.1.3. – Figura No. 5) “Los Conglomerados Asfálticos de la Mina San Pedro – Un Recurso Natural para el Mejoramiento Vial” - Ing. JORGE JAVIER PEÑA, Universidad del Cauca, 1998.



Fotografías No. 28 - 29. Centrífuga y Horno Extractor
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

4.1.3. FÓRMULA DE TRABAJO

4.1.3.1. INTERPRETACIÓN GRÁFICA Y DATOS FINALES DE DISEÑO

Con el análisis obtenido en los resultados de las briquetas Marshall, se determinan simultáneamente el cumplimiento ó nó de todos los requerimientos exigidos por la normatividad particular mencionada. El rango promedio encontrado fue del cinco punto seis (5.6%) por ciento (Ver Anexo B).

USO PARA BASE ASFÁLTICA NATURAL TIPO BAN-1 (CAMPAMENTOS)

Los valores definitivos de diseño serían:

Granulometría:	Según uso granulométrico
Contenido de asfalto natural:	5.6%
Densidad bulk briqueta:	2,233 Grs/cm ³
Estabilidad:	497 Kgs (1094 Lbs)
Fluencia:	3,1 mm – 12,4 (1/100”)
Relación estabilidad/flujo:	160
Inmersión/compresión:	82,5%

4.2. LA MAPIA

Al igual que la ASFALTITA, este mortero asfáltico natural se utiliza para manufacturar exclusivamente concretos asfálticos en frío y en algunas oportunidades como mezclas tibias. Su evaluación puede hacerse homológamente con ayuda del método de ensayo Marshall modificado a veinticinco grados Celsius (25°C) ó el de la Universidad de Illinois.

Como fue mencionado anteriormente, en nuestro país se está normalizando el uso y aplicabilidad de este tipo de materiales. Para ello, algunas entidades gubernamentales han adoptado de manera particular, el uso de especificaciones como lo son el Instituto Nacional de Vías – INVÍAS y el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá – IDU.

Se evaluarán dos (2) juegos de briquetas por cuatro (4) unidades como las mostradas en la Fotografía No. 23, cada una de cuatro pulgadas (4") de diámetro por contenido de asfalto hallado. Además, se completarán mil doscientos gramos (1.200 grs) de mortero asfáltico con agregado pétreo de la fuente “Río Negro” por cada briqueta tasada para dos (2) tipos de MAPIA natural: La tipo I y II respectivamente (Ver Fotografías No. 30 - 31).



Fotografías No. 30 - 31. Materiales Pétreos a Combinar con MAPIA
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

La diferencia entre la MAPIA tipo I y II, radica fundamentalmente en el porcentaje en peso de contenido de asfalto natural. Para la primera, se considera que dicha participación es alta (12% en peso) y para la segunda, su contribución es media (Entre un 5 - 8%). Para nuestro estudio, solo fue evaluada la categoría I ya que para la II, no se evidenció suficiente cohesión dentro de la medida perentoria de la estabilidad y el flujo Marshall.

Por ello también se consideró como una base granular estabilizada con MAPIA (BAN) y no como una capa de rodadura, dadas las características netamente necesarias para la construcción de los campamentos residenciales y operativos.

Se trabajará con una energía de compactación de setenta y cinco (75) golpes por cara sobre el pedestal de castigo. La MAPIA fue compactada con la utilización del martillo automático normalizado como el mostrado en la Fotografía No. 24 de diez (10 Lbs), con el objetivo de garantizar homogeneidad en la elaboración de las briquetas ó especímenes testigo. Al mismo tiempo, se establece la densidad próctor del conglomerado, dato de vital importancia para la determinación de la densidad de servicio en campo, necesaria adicionalmente, para los procesos de liberación y obtención de módulos dinámicos que valorarán la puesta en servicio del material en la estructura de pavimento durante el proceso constructivo.

Las características del tránsito de diseño, fueron tomadas para las condiciones de nivel NT-1 y NT-2 (<500.000 y entre 500.000 y 5×10^6 Ejes de camión de 80 KN) respectivamente. Como ya se mencionó, se determinaron los valores de densidad próctor y ahora el complemento en la determinación de su estabilidad, flujo, densidad seca al aire, superficie saturada seca y bulk, estableciendo el contenido de bitumen natural en donde se cumpla simultáneamente con los requisitos establecidos en las especificaciones y normas particulares, IDU e INVÍAS descritas en las Figuras No. 10, 11 y 12 y el Anexo C respectivamente.

4.2.1. AGREGADOS PÉTREOS

A diferencia de la ASFALTITA, la MAPIA debe incorporársele un agregado pétreo natural que puede ser un agregado grueso, fino y/o una combinación de los dos. Éstos simultáneamente, deben tratar de cumplir algunos requisitos técnicos de liberación, dentro de los que podemos citar normativamente los ensayos de granulometría, plasticidad, contenido de materia orgánica, resistencia a la abrasión ó desgaste en máquina de los ángeles, sanidad de los agregados ó solidez, índices de forma (Alargamiento – aplanamiento), densidad próctor, equivalente de arena, absorción, peso unitario, gravedad específica, caras fracturadas, límite líquido, límite plástico y capacidad de soporte CBR (Si aplica) entre otros.

Como se mencionó en el numeral inmediatamente anterior, se procedió a caracterizar las fuentes de materiales “Río Negro” (Grava 1-1/2” y arena) ubicada en la abscisa K51+000 del corredor principal del proyecto. Las pruebas restantes y complementarias son descritas en el Anexo C respectivamente.

4.2.2. MATERIAL BITUMINOSO

El contenido de asfalto natural obtenido sobre la muestra allegada al proyecto, se muestra en el Anexo C y para ello fue utilizado el método de centrifugación con solvente tricloroetileno corroborado con ayuda de última tecnología en el horno extractor como los mostrados en las Fotografías No. 28 – 29 respectivamente.

Por limitación del alcance en la investigación y por no disponer de equipos de alto nivel como el correspondiente a los análisis SARA (Saturados Aromáticos Resinas y Asfaltenos) en el proyecto, solo se reseñan los resultados base del estudio (Numeral 3.1.2.3. – Figuras No. 10 – 11) “Los Morteros Asfálticos Naturales, Una Alternativa Ecológica para el Mejoramiento de la Red Vial de lo Empírico a lo Técnico”, elaborado por el Ingeniero JORGE JAVIER PEÑA de la Universidad del Cauca en 1998.

4.2.3. FÓRMULA DE TRABAJO

4.2.3.1. INTERPRETACIÓN GRÁFICA Y DATOS FINALES DE DISEÑO

Con el análisis obtenido en los resultados de las briquetas Marshall, se determinan simultáneamente el cumplimiento ó nó de todos los requerimientos exigidos por la normatividad particular mencionada. El rango promedio encontrado fue del diez punto seis (10.6%) por ciento (Ver Anexo B).

USO PARA BASE ASFÁLTICA NATURAL TIPO BAN-1 (CAMPAMENTOS)

Los valores definitivos de diseño serían:

Granulometría:	Según uso granulométrico
Contenido de asfalto natural:	10,6%
Densidad bulk briqueta:	2,245 Grs/cm ³
Estabilidad:	593 Kgs (1305 Lbs)
Fluencia:	2,9 mm – 11,6 (1/100”)
Desgaste máquina los ángeles (B.M.):	22,9
Inmersión/compresión:	81%

5. EQUIPO DE LABORATORIO

5.1. CERTIFICACIONES Y CALIBRACIÓN EQUIPOS

Como complemento y seguridad en la toma de datos sobre la ejecución de los ensayos de laboratorio, realizamos las correcciones que por incertidumbre interpretativa arrojan los instrumentos en las tomas de lecturas de precisión.

Dichos resultados fueron corregidos con ayuda de los certificados de calibración de los equipos de laboratorio patronables más críticos, como lo fueron en el área de masas, fuerza y longitud respectivamente (Ver Anexo D). Para ello, se solicitó muy amablemente la colaboración a la organización Consorcio Vial Helios - CVH, en donde uno de los integrantes del presente estudio pertenece a la empresa como Coordinador Técnico, el hacernos entrega de una (1) copia correspondiente a los certificados sobre patrones trazables por parte de organizaciones acreditadas por la SIC (Superintendencia de Industria y Comercio) y la ONAC (Organismo Nacional de Acreditación) de Colombia.

Finalmente, la organización abrió esta gran oportunidad aprovechando coyunturalmente su implementación en los procesos de auditoría bajo enfoques normativos ISO-17025, ISO-9001, ISO-14000 e ISO-18000 respectivamente.

6. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCIÓN PAVIMENTO FLEXIBLE

El propósito es el presentar una propuesta de intervención vial para la conformación y construcción de los parqueaderos, las vías industriales y accesos vehiculares internos de los campamentos habitaciones y operativos del proyecto, así como la optimización y alternativa del diseño en la vía “Dindal – Caparrapí” considerando el uso de los asfaltos naturales. El aprovechamiento definitivo para la selección del tipo de asfalto natural, dependerá de los costos económicos planificados que la organización CVH fijó para el desarrollo definitivo de sus obras.

6.1. CAMPAMENTOS “SANTA ANA” Y “GUADUERO”

Bajo la premisa anterior, se estableció claramente que el uso de la “MAPIA” se destinará exclusivamente para la construcción de las obras de infraestructura vial en todos los campamentos del proyecto.

Para tal fin se adelantó una exploración geotecnia mediante la realización de cinco (5) apiques. De esta exploración se analizaron el perfil estratigráfico y la resistencia de los materiales conformantes, y adicionalmente se estableció un CBR de diseño a fin de conocer la capacidad de soporte del suelo de fundación de la estructura de pavimento a postular.

6.1.1. LOCALIZACIÓN

Ésta corresponde a la misma referenciada en el numeral 2.3.1. y la Figura No. 3 del presente documento.

6.1.2. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Ejecutados los cinco (5) apiques, cuyas profundidades de auscultación oscilaron entre los ochenta centímetros (0.80 cms) y un metro veinte (1,20 mts) de profundidad y resultados son adjuntados en el Anexo E, fué posible establecer una secuencia estratigráfica para las zonas donde se piensa instalar la estructura de pavimento de los campamentos a saber (Ver Fotografías No. 32 – 33):

- Desde la superficie actual del terreno y hasta una profundidad promedio de cuarenta (0.40 cms) centímetros, se reporta la presencia de un suelo soportado con una composición matricial arcillosa, color hábano de consistencia muy firme, humedad baja y con patrones moteados de tonalidades blancuzcas y otras un poco más oscuras, adicionalmente se evidencia la presencia de arena en un porcentaje aproximado del veinte (20%) por ciento.
- A partir del material anterior y hasta la máxima profundidad de exploración que fue de un metro veinte (1.20 mts), se detectó un limo color café oscuro, consistencia y humedad media con presencia de bioturbaciones con vetas de oxidación blanca.

Todo el trabajo de auscultación y medición en laboratorio, se realizó bajo la supervisión de los interesados y el apoyo del área técnica del CVH.



Fotografías No. 32 - 33. Exploración del Subsuelo
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

6.1.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Todas las muestras obtenidas fueron identificadas visualmente en el laboratorio, y se ejecutaron los ensayos de caracterización como lo son la determinación de su humedad natural, límites de Atterberg (Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), peso unitario, granulometría, densidad (Próctor) y capacidad de soporte CBR resumidos de la siguiente manera (Ver Tabla No. 2 y Anexo E):

ENSAYO	APIQUES REALIZADOS					PROM
	1	2	3	4	5	
Plasticidad						
Límite Líquido (%)	29	30	32	28	32	30
Límite Plástico (%)	13	16	16	16	16	15
Índice de Plasticidad (%)	16	14	16	12	16	15
Pasa Tamiz 200 (%)	72	39	71	64	25	54
Gradación						
Gravas (%)	2	32.3	0.9	11	44.8	18
Arenas (%)	25.8	29	28.3	25.2	30.1	27
Finos (%)	72	72	70.9	63.8	25.1	61
Resultados Compactación						
Densidad Máxima (g/cm ³)	1.918	1.997	1.952	2.033	1.952	1.954
Humedad Óptima (%)	8	9.8	10	9.5	11.5	9
CBR						
CBR Corregido (0,1")	4	2.7	4.1	3.2	3.1	3.5
CBR Corregido (0,2")	2	1.3	2	1.5	1.5	1.7
Capacidad Soporte (AI 95%)	10.2	4.1	4.5	3.2	0.9	4.6
Expansión (%)	0.14	0.12	0.10	0.09	0.09	0.11

Tabla No. 2. Resumen Ensayos Subsuelo
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

6.1.4. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Con base en la información derivada de la exploración del subsuelo y los resultados de los ensayos de laboratorio, se ha adelantó una zonificación del área destinada para la construcción de las vías, estableciendo la existencia de una zona geotécnica definida pero con (2) porciones diferentes de intervención en función de las cargas que cada uno de estos sectores va a soportar, la capacidad de soporte y la resistencia del material que se dispondrá como capa intermedia entre la rasante y la capa final de rodamiento.

De acuerdo con los resultados geotécnicos obtenidos (Anexo E), se encuentra que, para las vías internas de los campamentos se estima un CBR del cuatro (4%) por ciento, como se demuestra en los registros y el resumen de laboratorio mencionado en la Tabla No. 2.

El valor de resistencia de fundación para diseño, en términos de módulo resiliente, equivalen a aproximadamente cuarenta y un (41 MPa) Mega-pascales correlacionado por medio de la siguiente ecuación (Ver Ecuación No. 1):

$$M_r = 17.6 \times CBR^{0.64} \text{ (MPa)}$$

Ecuación No. 1 – Correlación CBR Vs. Módulo Resiliente
 Fuente: National Cooperative Highway Research Program Project 1 - 37A

Este valor aritmético de módulo resiliente a nivel de subrasante de fundación, representa una capacidad portante de regular a buena.

6.1.5. TRÁNSITO

El tránsito de diseño para las zonas en estudio, se calculó teniendo en cuenta el volumen de materiales que se transportarán para la construcción del proyecto en los subtramos 2 y 3 (Ver Figura No. 3) que es de aproximadamente un millón cuatrocientos mil (1'400.000 M³) metros cúbicos hacia y desde los campamentos. El vehículo típico tasado para transportar materiales es el camión C3 (Ver Figura No. 15), por lo cual éste será el usado en la estimación del tránsito de diseño. En el cálculo del número de ejes equivalentes de ocho punto dos (8,2 Ton) toneladas, se empleará un factor daño de tres punto setenta y seis (3,76) según recomendación de la Universidad del Cauca (Ver Figura No. 16 – Tomado Libro Ingeniería de Pavimentos para Carreteras Ing. Alfonso Montejo 3^a. Edición 2008). Empleando este factor daño, se obtiene un número de ejes equivalentes cercano a los setecientos veinticinco mil (725.000) ejes respectivamente (Ver Anexo F).

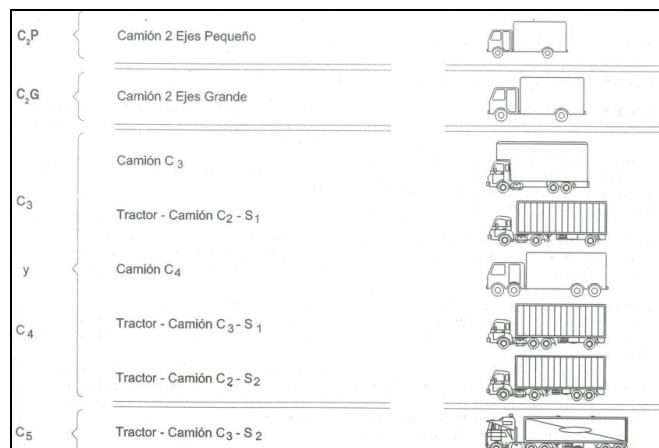


Figura No. 15. Clasificación Ejes por Tipo de Vehículo
 Fuente: Universidad del Cauca – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Tipo de vehículo	Factores de equivalencia	
	Mopt-Ingeroute	Universidad del Cauca (1996)
C-2 pequeño		1.14
	1.4 (prom.)	
C-2 grande		3.44
C-3	2.4	3.76
C2 - S1		3.37
C4	3.67	6.73
C3 - S1		2.22
C2- S2		3.42
C3 - S2	4.67	4.40
C3- S3	5.0	4.72
Bus P-600		0.40
	0.2 (prom.)	
Bus P-900		1.0
Buseta		0.05

Figura No. 16. Factor Camión
Fuente: Universidad del Cauca – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

6.1.6. ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN

Dada la naturaleza temporal de la infraestructura vial a construir (Periodo de desarrollo del proyecto cuatro (4) años < diez (10) años que es lo convencional), y ante la incertidumbre en el cálculo del tránsito, se recomendó combinar el asfalto natural con materiales de la fuente más cercana y competente denominada “Bocamonte” ubicada a la altura de la abscisa K57+000 del corredor principal del proyecto.

Igualmente el asfalto natural seleccionado con base en la justificación presentada en el numeral 6, fue la “MAPIA” en una proporción depurada (3/1/1 – Ver Anexo G) con arena y triturado de tamaño máximo tres cuartos de pulgada (TM = 3/4”) para garantizar una superficie de rodamiento con aceptable esqueleto granular.

6.1.7. PREDIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO POR LA METODOLOGÍA EMPÍRICA AASHTO 1993

De acuerdo con esta metodología, la capacidad estructural del pavimento se define en términos de número estructural (SN). La ecuación básica para determinar el (SN) es la siguiente:

$$\log W_{18} = Z_R - S_o + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.2-2.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Ecuación No. 2 – Formulación AASHTO-1993

Fuente: Universidad Católica de Colombia – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Dónde,

- W_{18} : Número de ejes equivalentes (Tránsito de diseño).
 Z_R : Desviación normal estándar. Se asumió un valor de nivel de confiabilidad del ochenta (R=80%) por ciento, parámetro que se define exclusivamente por el tipo y uso de la carretera a construir. La confiabilidad pretende incorporar algún grado de certidumbre al procedimiento de diseño, para asegurar que la(s) alternativa(s) postulada(s) se mantenga(n) en confianza durante el período de diseño. El valor del error estándar (Z_r) entonces se asumirá en menos punto ocho cuarenta y uno (-0.841). Deberán considerarse posibles reparaciones y restituciones, habida cuenta de las condiciones expuestas en el proyecto y la zona misma de estudio.
- S_o : Error estándar combinado ó desviación estándar total. Se recomienda (Para el caso de los pavimentos flexibles) valores aritméticos de punto cuarenta y cinco (0,45) en una construcción nueva y de punto cincuenta (0,50) para sobre-carpetas.
- ΔPSI : Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final. También llamada pérdida del nivel de servicio, se presenta con un valor inicial de serviciabilidad de tres punto ocho ($P_o=3,8$) para un pavimento flexible, y en su serviciabilidad final se asumen normalmente valores cercanos a dos ($P_t=2,0$). Por lo tanto el índice de servicio final se asumió en uno punto ocho ($\Delta PSI=1,8$).
- M_R : Módulo resiliente de la subrasante, en unidades de PSI.
 SN : Número estructural requerido – Adimensional.

El procedimiento para determinar que la estructura que supla las solicitaciones del tránsito, consiste en igualar el número estructural requerido con el obtenido al resolver la siguiente expresión (Ver Ecuación No. 3):

$$SN = \sum (a_i \cdot m_i \cdot D_i)$$

Ecuación No. 3 – Número Estructural SN AASHTO-1993

Fuente: Universidad Católica de Colombia – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Donde, para cada material, i , se tiene la siguiente formulación:

- a_i : Coeficiente de aporte.
- m_i : Coeficiente de drenaje.
- D_i : Espesor en (Pulgadas).

El número estructural requerido calculado en función del tránsito y la resistencia de la subrasante es de tres punto veintisiete (3,27), obtenido de la Ecuación No. 2. Para satisfacer estos requerimientos estructurales se tendrá que contar con una estructura bastante robusta, la cual supera con creces el alcance de la intervención presupuestada por el CVH. Por esta razón, se recomienda el uso de estructuras menores, aclarando que éstas no alcanzarán el periodo total de diseño, y por lo cual tendrá que en un determinado tiempo ser objeto de un mantenimiento mayor ó rehabilitación como se mencionó en párrafos anteriores (Reconformación del material y conformación de nueva capa de rodamiento).

A continuación se describen los parámetros que intervienen en el dimensionamiento:

Constantes de Estadísticas y Serviciabilidad

Se ha empleado una desviación estándar (S_o) de punto cuarenta y dos (0,42) y niveles de servicio inicial y final de tres punto ocho ($P_o=3,8$) y de dos ($P_t=2,0$) respectivamente para una confiabilidad del diseño del ochenta (80%) por ciento. Como se mencionó, el valor del error estándar (Z_r) entonces se asumirá en menos punto ocho cuarenta y uno (-0.841) (Ver Figura No. 17):

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z_r
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80 ✓	-0,841 ✓
85	-1,037
90 ✓	<u>-1,282</u>
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95 ✓	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Figura No. 17. Confiabilidad y Desviación Estándar
Fuente: Universidad Católica de Colombia – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Coeficiente de Aporte

Las expresiones para la determinación de los coeficientes de aporte estructural de cada una de las capas, son las siguientes sobre los materiales seleccionados:

MAPIA

El coeficiente estructural de la capa en MAPIA, ha sido obtenido de la evaluación realizada en un tramo de prueba construido en el “Campamento Piloto Guaduro (Ver Numeral 6.2.3)” con ayuda inicial del equipo LWD y posteriormente con el equipo FWD como los mostrados en las Fotografías No. 9, 10 y 35.

Este campamento se encuentra localizado en el K32+000 del corredor principal del proyecto desde el Municipio de Guaduas (Cundinamarca) (Ver Fotografías Nos. 3 y 4). Ésta ubicación específica corresponde a la misma referenciada en el numeral 2.3.1. – Figura No. 3 del presente documento.

Los resultados de la evaluación a la MAPIA se encuentran resumidos en el Anexo H. Se estimó que al usar este material como capa de rodamiento se puede obtener un aporte de punto dos (0,2) respectivamente.



Fotografía No. 34. Campamento Piloto “Casa Blanca” K30+000
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Afirmado Bocamonte K57+000

La expresión para determinar los coeficientes estructurales de los materiales granulares, se encuentran en función de los módulos resilientes del material (Ver Ecuación No. 4):

$$a_i = 0.227 \times \log_{10}(E_{\text{subbase}}) - 0.839$$

Ecuación No. 4 – Coeficiente Estructural AASHTO-1993
 Fuente: Universidad Católica de Colombia – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Donde, para cada material, i , se tiene la siguiente formulación:

- a_i : Aporte estructural del material granular.
 E : Módulo resiliente del material granular en (PSI).

Según la caracterización realizada, éste cuenta con una buena gradación, bajo porcentaje de material fino y clasifica como un material no plástico (NP). Dadas estas características, se asumirá un módulo para esta capa de (105) MPa el cual corresponde a la rigidez de una subbase granular (Ver Anexo I).

Coeficiente de Drenaje

Como lo muestra la Figura No. 18, se ha empleado un factor de drenaje de punto nueve (0,9) para el material granular de “Bocamonte”. Para la MAPIA se usó un factor de drenaje de uno (1,0).

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

Figura No. 18. Coeficiente de Drenaje
 Fuente: Universidad Católica de Colombia – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Determinación de Espesores

El procedimiento para determinar la estructura que supla las solicitaciones del tránsito, consiste en igualar el número estructural requerido con el obtenido al resolver la siguiente expresión (Ver Ecuación No. 5):

$$SN = a_1 \cdot m_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3 + \dots + a_i \cdot m_i \cdot D_i$$

Ecuación No. 5 – Número Estructural Requerido AASHTO-1993
Fuente: Universidad Católica de Colombia – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Donde, para cada material, i , se tiene la siguiente formulación:

- a_i : Coeficiente de aporte.
- m_i : Coeficiente de drenaje.
- D_i : Espesor en (Pulgadas).

A continuación (Ver Tabla No. 3), se presenta una síntesis de los cálculos realizados por el método AASHTO 1993 teniendo en cuenta los parámetros descritos y discriminados por estructuras en función del tiempo en el que requerirán mayor mantenimiento (El tiempo para mantenimiento obedece a un cálculo teórico):

CBR (%)	ESPESORES (cms)			APORTES ESTRUCT.		COEF. DRENAJE		SN DISEÑO			MESES EN LOS QUE SE DARÁ MTTO. MAYOR
	MAPIA	AFIR	Total	MAPIA	AFIR	MAPIA	AFIR	MDC	BG	SN	
4,0	15	30	45	0,2	0,11	1	0,90	1,18	1,17	2,35	10 - 15
4,0	20	35	55	0,2	0,11	1	0,90	1,57	1,36	2,94	22 - 30
4,0	20	45	65	0,2	0,11	1	0,90	1,57	1,75	3,33	40 - 50

Tabla No. 3. Dimensionamiento Estructuras Tiempo Mayor
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

6.2. VÍA “DINDAL – CAPARRAPÍ”

Los presentes autores con ayuda del Consorcio Vial Helios – CVH, efectuaron la revisión y ajustes finales a los diseños estructurales de pavimento para este sector de vía correspondiente al proyecto “Ruta del Sol Tramo 1”, considerados por la firma consultora HMV Ingenieros en el informe “Estudio Geotécnico para Diseño del Pavimento e Informe Final Acceso Vía Caparrapí K0+000 a K16+767”.

En dicho informe se presentaron dos (2) alternativas para la construcción de la estructura: Una mediante el empleo de capas granulares no tratadas y la otra con capas granulares tratadas. En ambos casos con cubrimiento de un concreto asfáltico en caliente como superficie de rodadura. Con el fin de realizar el ajuste final a estas alternativas, se presenta el diseño optimizado de la estructura de pavimento, considerando para el dimensionamiento cuatro (4) alternativas: La inicial considerada en concreto asfáltico, base estabilizada con emulsión, base granular y base con asfaltos naturales.

6.2.1. LOCALIZACIÓN

Es la misma del numeral 2.3.2. y la Figura No. 3 del presente documento.

6.2.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

El Consorcio Vial Helios – CVH suministró dicho informe, del cual se extrajo la siguiente información empleada en el desarrollo de la presente investigación:

Precipitación

Estaciones para determinación de precipitación media mensual (Ver Tabla No. 4):

ESTACIÓN	NOMBRE	MUNICIPIO	ELEVACIÓN	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL
IDEAM 2306016	San Pablo	Caparrapí	1.200 msnm	2369.9 mm
IDEAM 2306011	Caparrapí	Caparrapí	1.270 msnm	1645.7 mm

Tabla No. 4. Precipitación Media Mensual y Elevación HMV
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros

Temperatura

Su medida en el Municipio de Caparrapí es ventitres (23°C) grados centígrados.

Caracterización Geotécnica

Se llevó a cabo la investigación geotécnica mediante sesenta y seis (66) apiques de uno con cincuenta (1.50 m) metros de profundidad, separados cada doscientos cincuenta (250 m) metros lineales. Sobre las muestras recuperadas se hicieron ensayos de humedad natural, límites de consistencia, granulometría, contenido de materia orgánica, potencial de expansión, CBR en muestras inalteradas, CBR método I, proctor modificado y cono de arena.

El análisis de esta información se presenta en el numeral 6.2.3., mientras que las tablas resumen del informe de HMV Ingenieros se presentan en el Anexo J.

Fuentes de Materiales

Del Capítulo 5, página 67 correspondiente al informe de HMV Ingenieros “Estudio de Fuentes de Materiales”, se extrae lo siguiente:

“...Desde la fase de preingeniería se ha anunciado que la obtención de fuentes de materiales de buena calidad y próximas al proyecto son escasas (En especial en el tramo Villeta – Guaduro), para los agregados grueso y finos de concreto y asfaltos. Esta circunstancia es agravada por el hecho de que aproximadamente un 90% del área susceptible y de interés a pedir como solicitudes temporales ya está solicitada, esto es explicable por la antigüedad y renombre del proyecto...”

No obstante lo anterior, dicho informe presenta una buena evaluación de las posibles fuentes de materiales, cuyo resumen se presenta en la Tabla No. 5:

FUENTE	USO	LL	IP	% FINOS
K62+760 a K65+420 (Cambrás - POLÍGONO LCJ-15311)	Material de conformación de terraplenes	25,5	10,2	19,8
Entrada Túnel III	Conformación de terraplenes – suelo tipo adecuado	30,4	12,6	21,4
Salida Tunel III	Conformación de terraplenes – suelo tipo adecuado	29,7	10,2	37,9
K66+200	Conformación de terraplenes – suelo tipo adecuado	NL	NP	16,9

Tabla No. 5. Evaluación Fuentes de Materiales HMV
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros

Teniendo en cuenta lo anterior, el informe concluye que:

“...A partir del estudio efectuado y considerando la caracterización física de las posibles fuentes de materiales definidas a partir de los polígonos LCU-08551, LCN 14071, LCJ -15161X, LCJ-15162 X y LCJ-15311 y los materiales de corte, se concluye que no existen fuentes de materiales para explotación dentro del corredor vial, razón por la cual se recomienda la compra de materiales aptos para la conformación de las diferentes capas de pavimento en fuentes y/o canteras ya licenciadas...”

Complementariamente se menciona que:

“...Reconociendo los resultados del estudio de fuentes de materiales, en donde se concluye la baja calidad de los materiales encontrados dentro del corredor, es necesario el estudio de fuentes alternas que puedan suplir las necesidades del proyecto. Es así que como se presenta a continuación la caracterización de la fuente de material localizada en el Municipio de Armero – Guayabal y la cual provee entre otros tipos de materiales, un conglomerado asfáltico, conocido de manera general como ASFALTITA. Esta fuente cuenta con los permisos ambientales de explotación, bajo la licencia minera No. 16727; el administrador de esta fuente es la empresa INGEMIN S.A. de propiedad de la Ing. Luz Ángela Rodríguez...”

Bajo el anterior contexto, se presentan en Tabla No. 6, las propiedades de la ASFALTITA proveniente de la “Mina San Pedro”, que están contenidas en el informe de HMV Ingenieros tomado de la página 90 y bajo la premisa de ensayos de caracterización de la Universidad de Los Andes:

PROPIEDAD	VALOR
Contenido de Asfalto	5,40%
Desgaste Máquina de Los Ángeles	28%
Desgaste Micro -Deval	8,90%
Carga 10 % Finos (kN)	291
Módulo Resiliente (Kg/cm ²)	4245-5688
Densidad Seca Máxima (kg/m ³)	1964
Humedad Óptima para Compactación	5,70%

Tabla No. 6. Caracterización ASFALTITA Mina San Pedro HMV
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros

En conclusión, las alternativas de intervención tuvieron en cuenta la deficiencia de fuentes cercanas a la zona del proyecto para material de base y subbase granular, y contempló el empleo de los materiales que se encontraron en la vía, correspondientes a material granular tipo adecuado según la clasificación presentada en la Tabla No. 5 como también para la ASFALTITA.

Tránsito

El número de ejes simples equivalentes – NESE extractado del informe se muestra en la Tabla No. 7:

PERÍODO DE DISEÑO	NESE
5 Años	560.609
10 Años	1.229.166
20 Años	3.322.441

Tabla No. 7. Tránsito de Diseño HMV
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros

Sobre estos valores, se menciona que no se contempló el tránsito atraído de obra.

Caracterización Geotécnica HMV

Se realizó la evaluación interpretación mencionada y resumida en el Anexo J.

Diseño de Pavimentos

Se contempló un solo sector de diseño, obteniendo los siguientes espesores por la metodología AASHTO, verificada con metodología mecanicista (Ver Tabla No. 8):

ALTERNATIVA	MDC (cms)	BG (cms)	BEA (cms)	SBG (cms)	MEJORAMIENTO (cms)	TOTAL (cms)
No. 1	11	25	-	40	30	106
No. 2	9	-	20	35	30	94

Tabla No. 8. Alternativas de Diseño HMV
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros

6.2.3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Con base en la exploración geotécnica realizada por la firma HMV Ingenieros, se estableció el perfil estratigráfico ilustrado en la Figura No. 19.

El soporte de dicha información se presenta en el Anexo J.

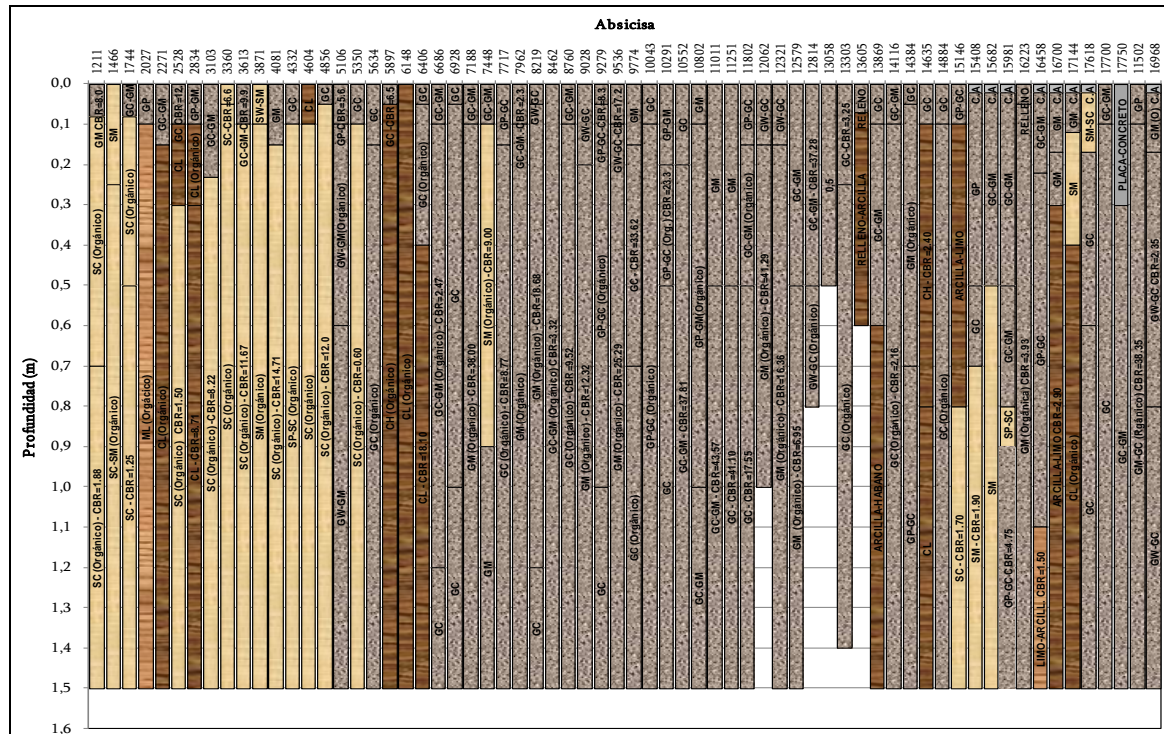


Figura No. 19. Perfiles Estratigráficos
Fuente: Consorcio Vial Helios – HVM Ingenieros

En la Figura No. 18 se aprecia que la vía se dividió inicialmente en tres grandes sectores geotécnicos, de acuerdo con la tipología de material, así:

- Sector Geotécnico 1: Desde K1+211 hasta el K6+500 se encuentra un afirmado de espesor promedio de diez (10 cm) centímetros, apoyado sobre una subrasante que se caracteriza por estar conformada esencialmente por arenas, aunque hay subsectores en donde en superficie ó muy cerca de ella se encuentra material más fino, del tipo arcillas y limos de baja plasticidad. El sector realmente inicia en el K0+000 de acuerdo con el abscisa referencia del Consorcio Vial Helios – CVH (Ver Figura No. 3).
- Sector Geotécnico 2: Desde el K6+500 hasta el K13+600, en la parte inicial se aprecia un aparente afirmado de diez (10 cm) centímetros de espesor en promedio, aunque puede ser confundido con el material de subrasante, que se caracteriza por estar conformado por gravas limo arcillosas. Al final de este sector entre el K12+000 y el K13+600, las gravas están apoyadas sobre roca, razón por la cual los apiques no alcanzaron mayor profundidad.

En algunos sectores de la vía la roca está expuesta en superficie, sin embargo como se pudo hacer el muestreo del material, se trabajará con los resultados de su respectiva caracterización.

- Sector Geotécnico 3: Desde el K13+600 hasta el K16+300, se aprecia que este sector es algo heterogéneo, porque se encuentra un afirmado de diez (10 cm) centímetros de espesor desde el inicio hasta el K15+200, apoyado sobre gravas que parecen ser el suelo natural, pero también hay sitios donde se apoya sobre arcillas de baja plasticidad que también hacen parte de la subrasante. Posteriormente y hasta el K16+300, se encuentra en superficie un tratamiento superficial apoyado sobre gravas que superan los treinta (30 cm) centímetros de profundidad, bajo las cuales se encuentran arenas limo-arcillosas y arcillas de baja plasticidad. Por último, el sector termina con gravas en superficie que alcanzan la profundidad del apique.

Los perfiles estratigráficos de estos sectores se presentan con mayor detalle en las Figuras 20 – 21 y 22, en donde se puede apreciar además, los valores de CBR en condición sumergida, cuyo soporte se encuentra en el Anexo K – “Resultados de Laboratorio Informe HMV Ingenieros (Ver Anexo J)”.

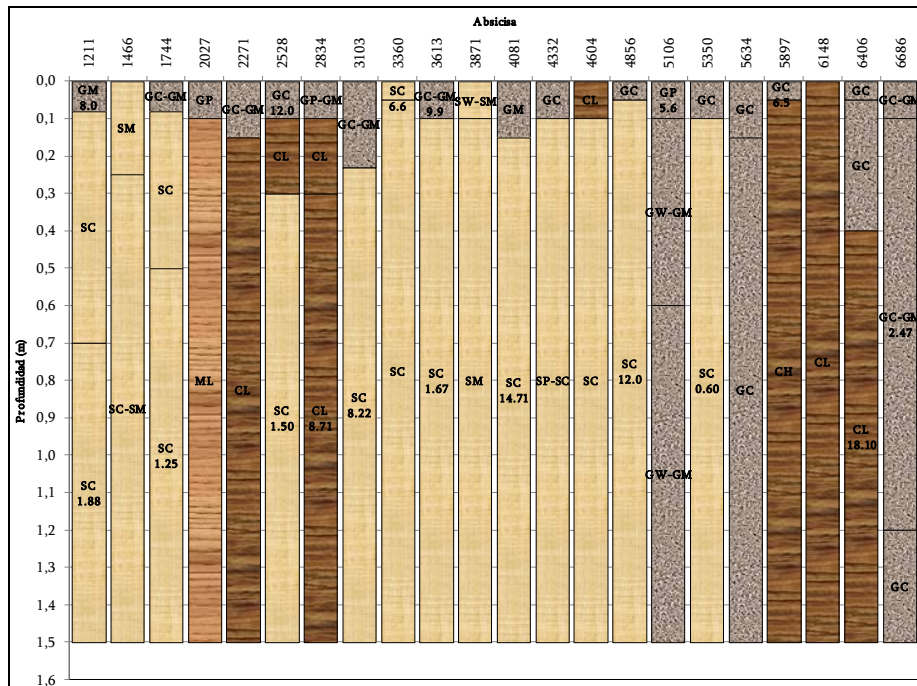


Figura No. 20. Perfil Estratigráfico Sector Geotécnico 1
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros

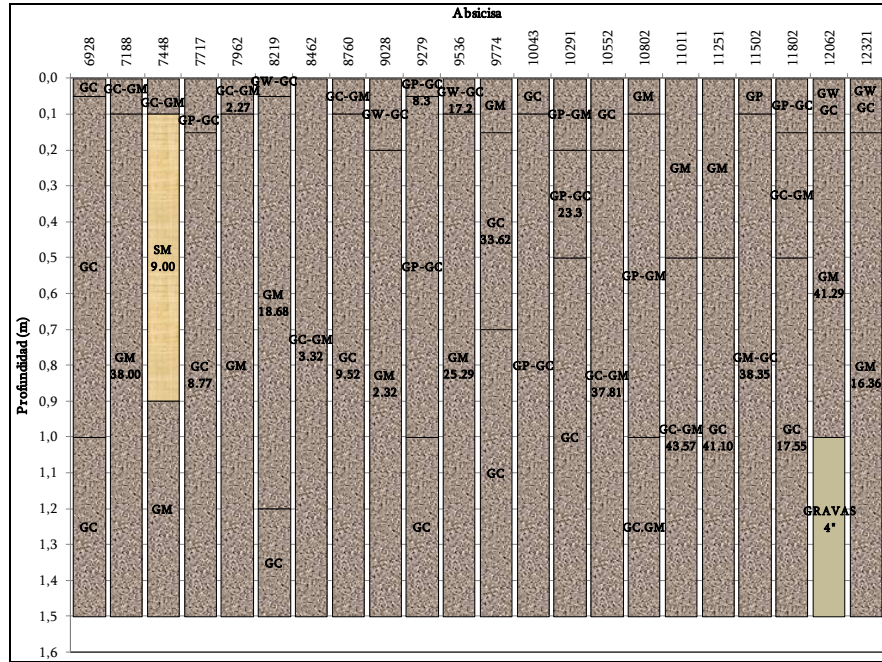


Figura No. 21. Perfil Estratigráfico Sector Geotécnico 2
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros

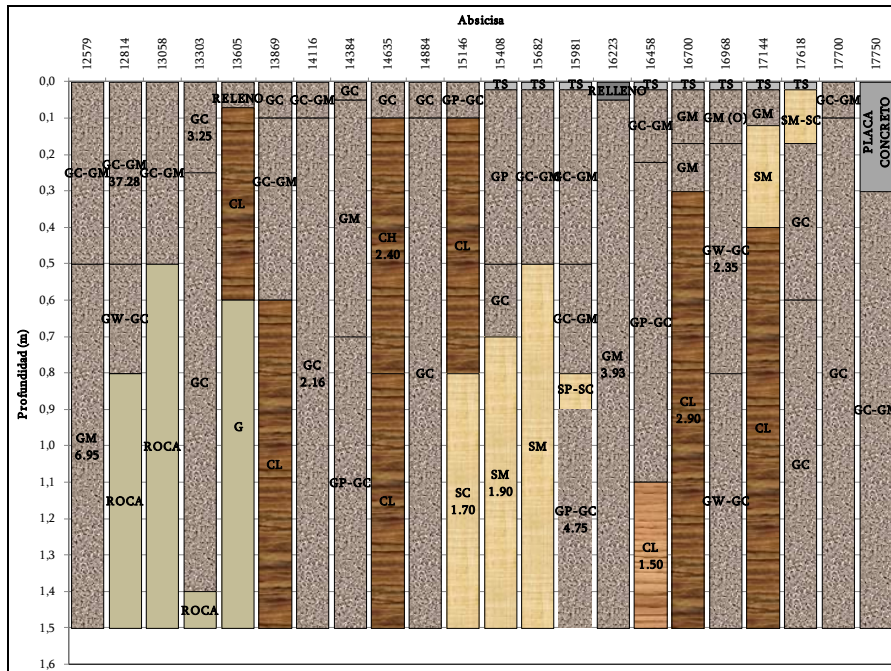


Figura No. 22. Perfil Estratigráfico Sector Geotécnico 3
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros

6.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Hallazgo de Materia Orgánica

Como antecedente importante del informe de la firma HMV Ingenieros, se enfatiza sobre el contenido de materia orgánica presente sobre los materiales en la vía, el cual puede asociarse al origen aluvial del suelo natural. El porcentaje de materia orgánica en cada uno de los sectores geotécnicos identificados, se presenta en las Figuras No. 23 – 24 y 25 elaboradas por los presentes autores:

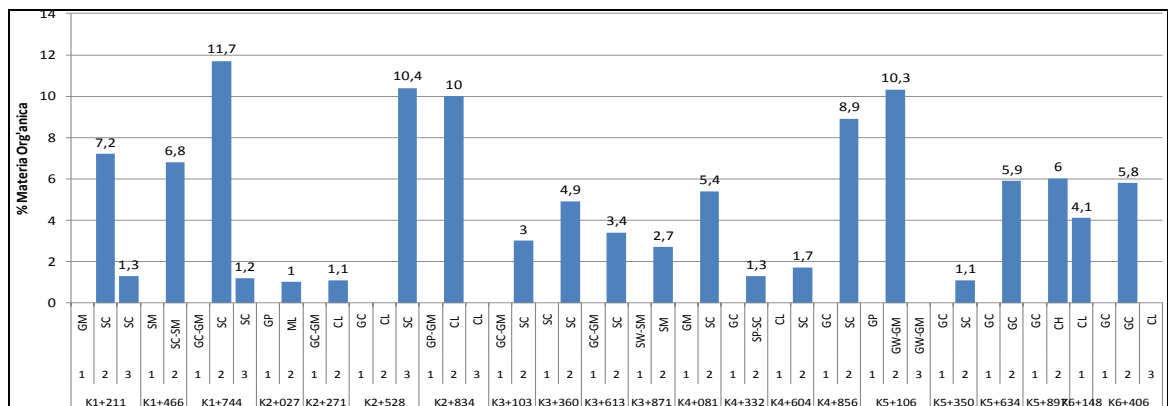


Figura No. 23. Porcentaje Materia Orgánica Sector Geotécnico 1
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

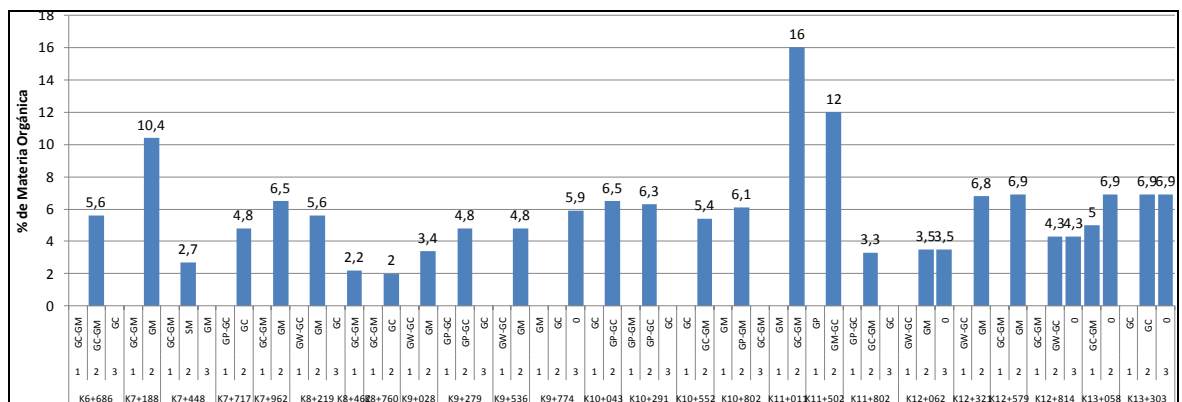


Figura No. 24. Porcentaje Materia Orgánica Sector Geotécnico 2
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

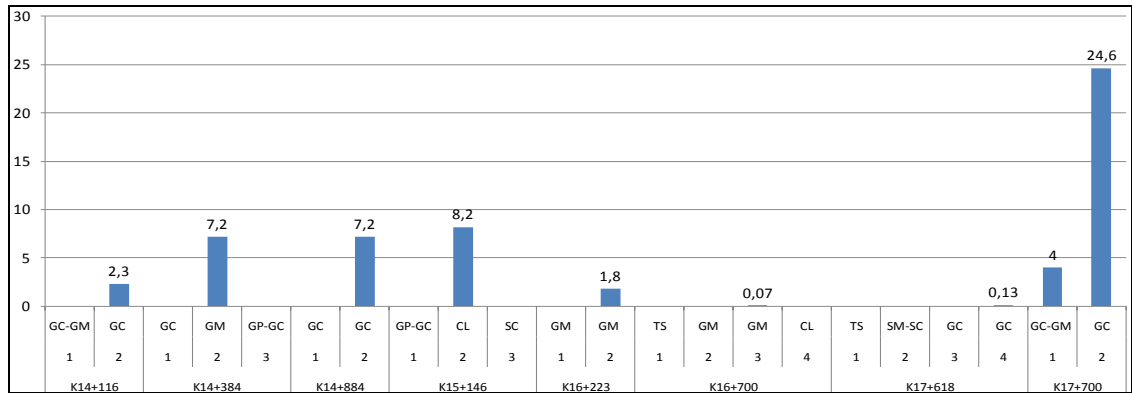


Figura No. 25. Porcentaje Materia Orgánica Sector Geotécnico 3
Fuente: Consorcio Vial Helios – HVM Ingenieros – Los Autores

Como se puede evidenciar, el contenido de materia orgánica se midió en su mayoría en la capa de subrasante y no en la capa de afirmado (Capa identificada en las gráficas con el No. 1), que es donde se tiene planeado emplazar la estructura de pavimento. No obstante lo anterior, y teniendo en cuenta el bajo espesor de granulares, en especial en el primer sector geotécnico definido a partir del perfil estratigráfico, se analizaron los resultados obtenidos mediante el ensayo de pérdida de masa por ignición, encontrando que son heterogéneos, pero que en su mayoría no superan el ocho (8%) por ciento, lo que equivale a un porcentaje de oxidación cuantitativa de los materiales contaminados, relativamente alto, teniendo en cuenta que los suelos marginales que pueden ser empleados como rellenos, pueden tener un contenido de materia orgánica máximo de hasta del dos (2%) por ciento – Artículo 220, Tabla 220.1 Especificaciones INVÍAS/2007.

En tal sentido, se recomienda para el sector geotécnico comprendido entre el K0+000 al K0+500 realizar el mejoramiento de los treinta (30 cm) centímetros superiores, con un aporte del uno punto cinco (1.5%) por ciento de cemento pòrtland (No para estabilizar, sino para oxidar ó calcinar la presencia de material orgánico) y un cincuenta (50%) por ciento de material de subbase granular nueva.

Es necesario resaltar, que a partir del K2+800, una vez efectuados los cortes de ampliación sobre la sección vial, se empezó a evidenciar que el material natural corresponde a suelos de origen aluvial, con porcentajes importantes de gravas finas y en algunos sitios hay afloraciones de roca. Esto permite que el efecto del contenido de materia orgánica, no sea tan nocivo. En tal sentido se considera, que los mejoramientos propuestos son apropiados para mitigarlo, teniendo en cuenta que es completamente indispensable mantener un adecuado sistema de drenaje a todo lo largo de la vía.

Por último, en obra se deberá verificar durante el proceso constructivo que la condición del corte se mantenga en el afirmado, con lo cual se podría a partir del K2+800 contemplar el mejoramiento de los sectores 2 y 3.

Análisis Sensibilidad al Agua

Se analizaron los resultados de límite líquido e índice plástico, contenidos en los resultados de laboratorio del informe de la firma HMV Ingenieros (Ver Anexo J), como indicativo del carácter plástico de las partículas finas, que pueden sufrir cambios volumétricos importantes al estar en contacto con agua y generar deformaciones plásticas. Este análisis se efectuó considerando los siguientes intervalos de clasificación de expansividad del suelo según literatura especializada³ (Ver Tabla No. 9):

GRADO	EXPANSIVIDAD	LL	ÍNDICE LAMBE KPa
I	Baja	<30	< 80
II	Baja a Media	30 – 60	80 – 150
III	Media a Alta	50 – 65	150 - 230
IV	Muy Alta	> 65	> 230

Tabla No. 9. Clasificación Expansividad del Suelo
Fuente: Ingeniería Geológica - Luis González De Vallejo³

Los resultados interpretatorios se presentan en las Figuras No. 26, 27 y 28:

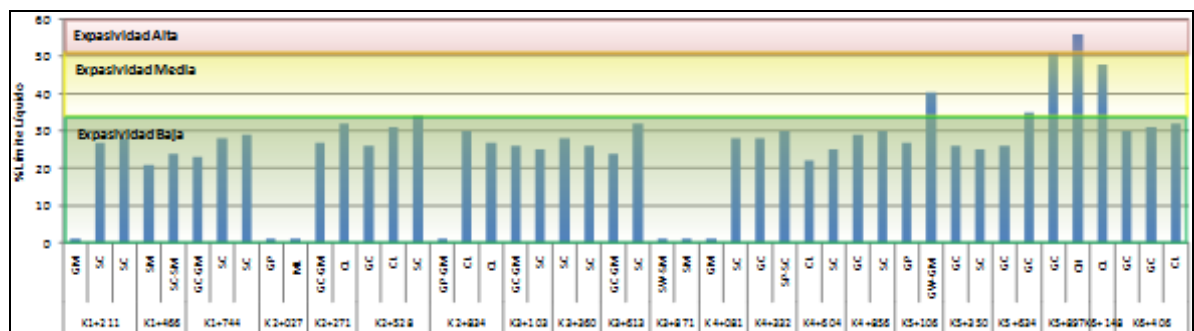


Figura No. 26. Límite Líquido Sector Geotécnico 1
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

³Ingeniería Geológica, Ing. LUIS GONZÁLEZ DE VALLEJO, Ediciones Universidad Nacional de Colombia, 2005.

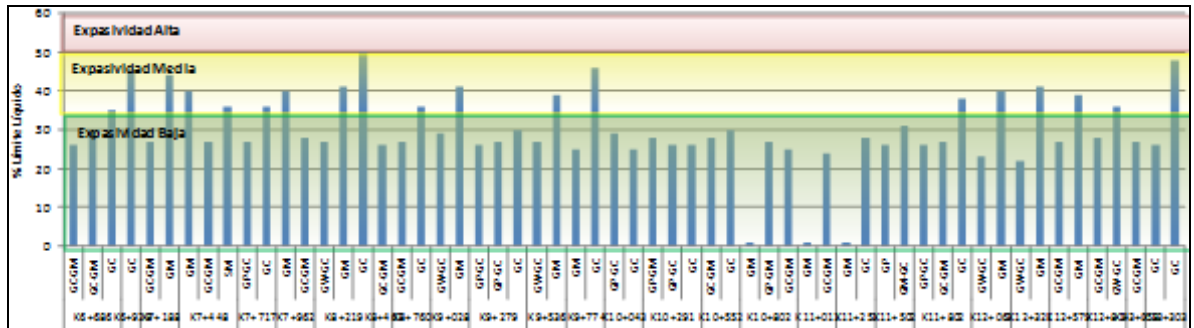


Figura No. 27. Límite Líquido Sector Geotécnico 2
 Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

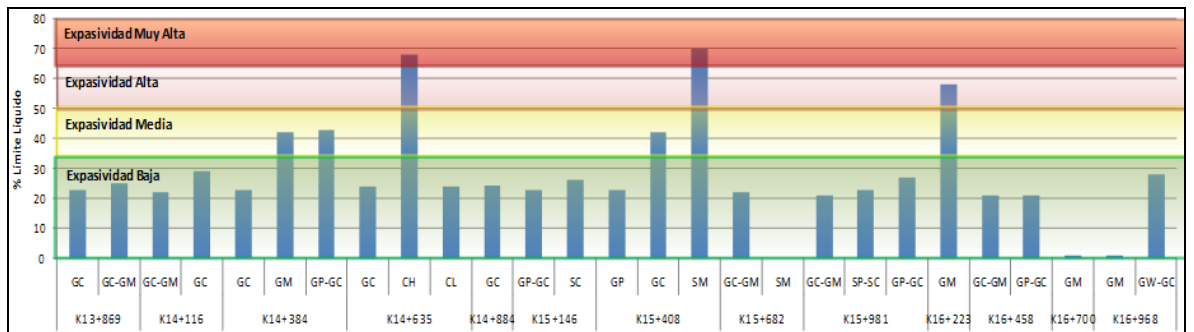


Figura No. 28. Límite Líquido Sector Geotécnico 3
 Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

Los sitios, donde el límite líquido supera el cuarenta (40%) por ciento, coinciden con los sitios definidos como “Potencial Alto al Cambio Volumétrico” medida ésta con el aparato de Lambe, cuyos resultados se agruparon en las Figuras No. 29, 30 y 31 respectivamente:



Figura No. 29. Índice Lambe Sector Geotécnico 1
 Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

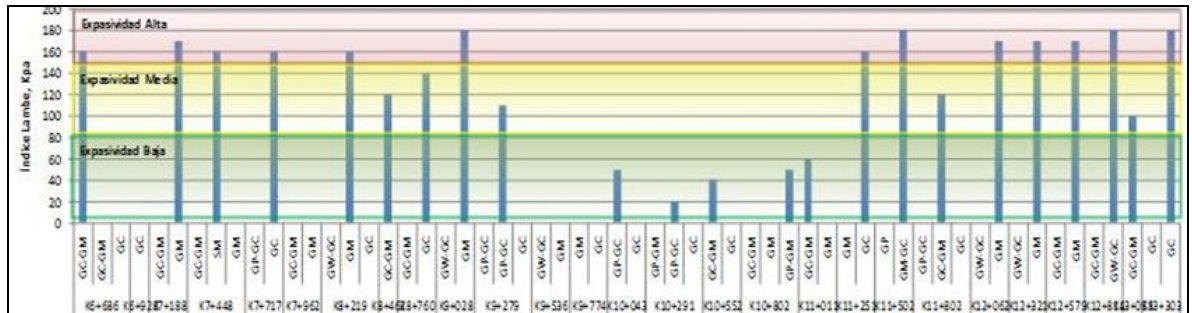


Figura No. 30. Índice Lambe Sector Geotécnico 2
 Fuente: Consorcio Vial Helios – HVM Ingenieros – Los Autores

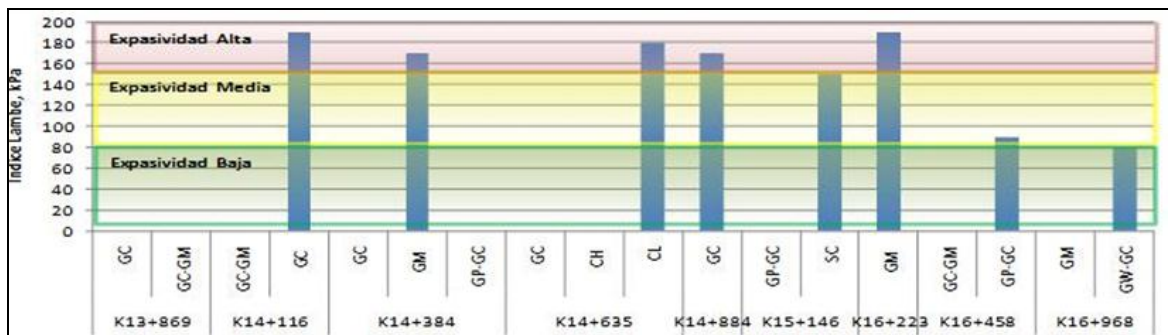


Figura No. 31. Índice Lambe Sector Geotécnico 3
 Fuente: Consorcio Vial Helios – HVM Ingenieros – Los Autores

De acuerdo con lo anterior, los sectores de alta expansividad fueron entre el K5+000 al K9+000 y del K11+251 hasta el final del sector (K16+300).

Al respecto es conveniente resaltar que la expansividad se midió sobre el material de subrasante, y no sobre el afirmado, que es donde realmente se apoyará la nueva estructura de pavimento. No obstante, el mejoramiento planteado para mitigar el efecto nocivo del contenido de materia orgánica, permitirá también mitigar el efecto expansivo de los materiales plásticos, que se encuentran en superficie. Resaltando nuevamente, que es indispensable garantizar un adecuado sistema de drenaje.

Capacidad de Soporte de la Subrasante

La capacidad de soporte de la subrasante se analizó a partir del ensayo de CBR, el cual es una medida indirecta del módulo de resiliencia, parámetro esencial en el diseño de una estructura de pavimentos.

En las Figuras No. 32, 33 y 34 se muestra el valor del CBR luego de inmersión, presentado en los resultados de laboratorio del informe de la firma consultora HMV Ingenieros, discriminado en cada uno de los sectores identificados mediante el perfil estratigráfico mencionado anteriormente (Dentro de nuestro análisis, el color azul claro representan los valores de auscultación en superficie):

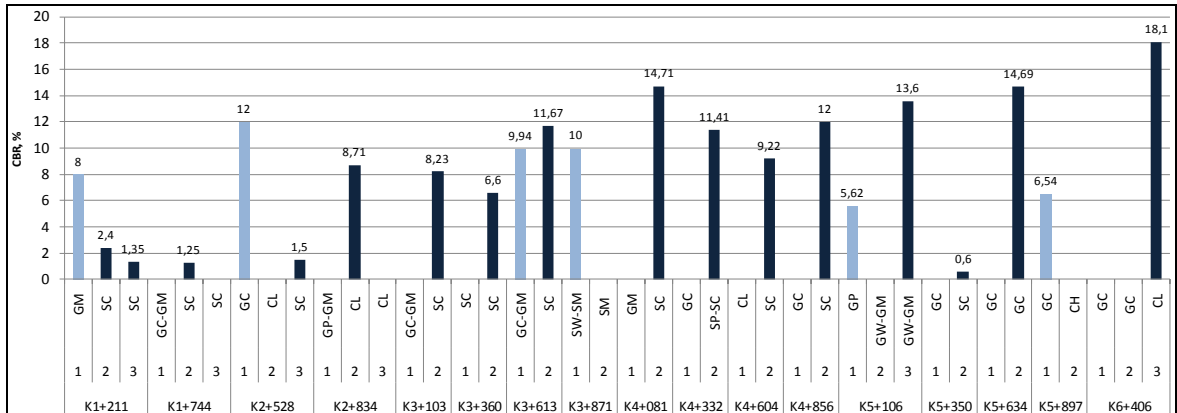


Figura No. 32. CBR Sector Geotécnico 1
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

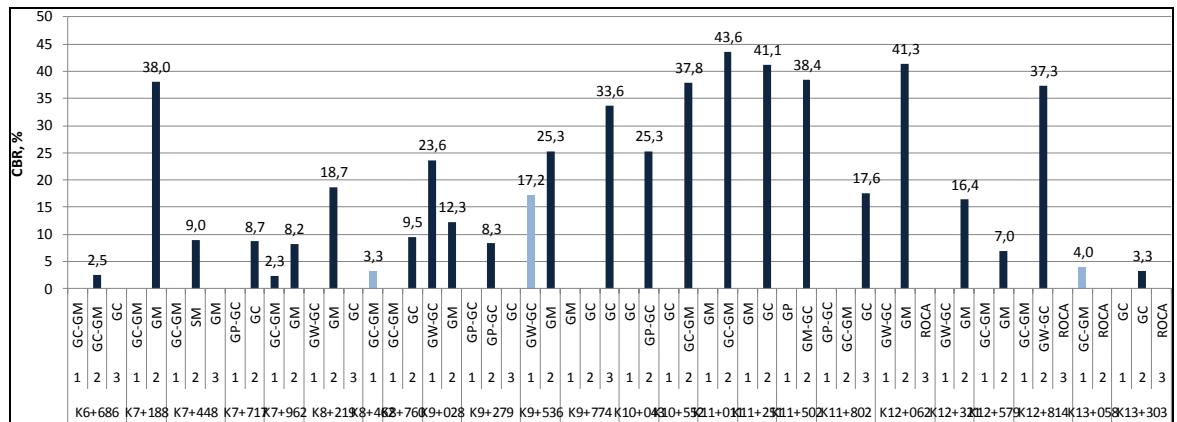


Figura No. 33. CBR Sector Geotécnico 2
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

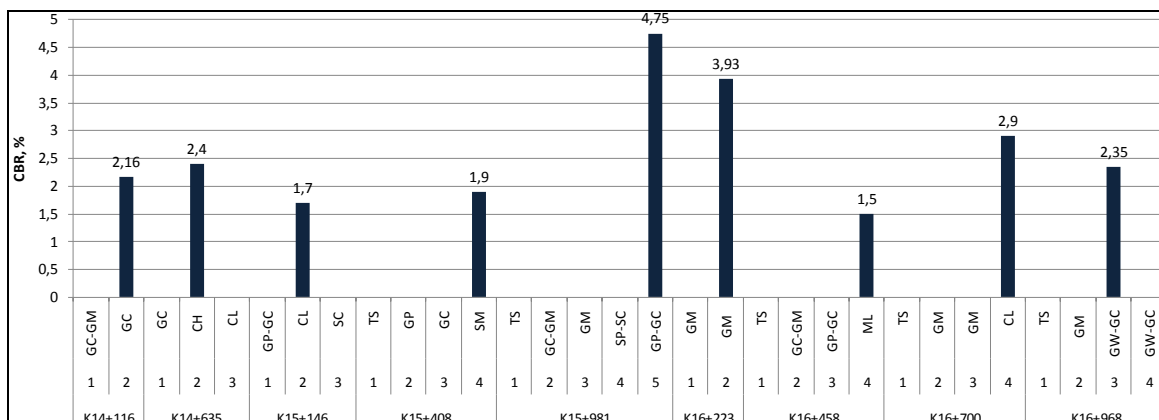


Figura No. 34. CBR Sector Geotécnico 3
Fuente: Consorcio Vial Helios – HMV Ingenieros – Los Autores

Como se aprecia, son muy pocos los valores que se tienen para la evaluación del material en superficie (Barras en azul claro) que es el que soportará la estructura de pavimento. Por esta razón, se hizo necesario realizar ensayos complementarios de laboratorio (Granulometría, CBR Método I, densidad de campo y toma de módulos con Light Weight Deflectometer – LWD) en los sitios donde mayor incertidumbre existía. Los reportes de laboratorio pueden consultarse en el Anexo L.

De esta exploración complementaria, se obtuvo la siguiente descripción del material de afirmado, en donde se resalta el material conformante. Esta descripción, estuvo enfocada a la evaluación del tipo de material del sector geotécnico 1, que es donde el afirmado es de muy poco espesor apoyado sobre materiales plásticos (Ver Tabla No. 10). Adicionalmente, para el sector geotécnico 1, se midieron los siguientes parámetros de caracterización del afirmado y de subrasante (Ver Tabla No. 11).

Con base en los resultados, se determinó el CBR para cada uno de los sectores geotécnicos definidos a partir del perfil estratigráfico, siendo necesario subsectorizar en función de los resultados:

- Sector Geotécnico 1 dividido de la siguiente manera:

Subsector 1: K0+000 a K0+500, CBR = (6,5%).
 Subsector 2: K0+500 a K2+800, CBR = (1,8%).
 Subsector 3: K2+800 a K3+600, CBR = (8,7%).
 Subsector 4: K3+600 a K6+500, CBR = (13,4%).

Para el subsector comprendido entre el K0+000 al K0+500, es necesario contemplar un mejoramiento como medida de mitigación del alto contenido de materia orgánica y a la expansividad del material, consistente en la incorporación de material de subbase granular con un valor de CBR de treinta (30%) por ciento, mezclado con el material de la vía para conformar una capa de espesor promedio de treinta (30 cm) centímetros, adicionando un uno y medio (1,5%) por ciento de cemento pórtland convencional. La proporción de material granular en la capa mejorada se contempla en un cincuenta (50%) por ciento.

Por lo anterior y utilizando la teoría de Ivanov (Ver Ecuación No. 6) para diseño de pavimentos, se obtiene para el subsector 2, un CBR de diseño de seis punto cuatro (6,4%) por ciento. Este valor a medir en obra, debe corroborarse por cuanto la condición real es la mezcla de material existente en la vía con el material granular nuevo a incorporar. En caso de no lograrse el valor de CBR, se deberán hacer los ajustes pertinentes al diseño considerado.

$$E_{1-2} = \frac{E_2}{1 - \left[\frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right) \arctg \left(n \times \frac{h_1}{2a} \right) \right]}$$

Ecuación No. 6 – Formulación Ivanov

Fuente: Universidad Católica de Colombia – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Donde:

CBR: Material de subbase granular	30%
E1: Módulo subbase granular (Figura No. 29 AASHTO-93)	1.000 Kg/cm ²
h1: Espesor material de relleno adecuado	30 cm
CBR: Subrasante	1,8%
E2: Módulo subrasante E = 180*CBR ^{0,64} (Kg/cm ²)	262 Kg/cm ²
2a: Adimensional	30,44 cm
E1-2: Módulo equivalente	593 Kg/cm ²
CBR Diseño, CBR = (E/180) ^{1/0,64}	6,4%

- Sector Geotécnico 2 dividido de la siguiente manera:

Subsector 1: K6+500 a K9+300, Gravas finas con contenidos de arcilla. CBR = (9,3%).

Subsector 2: K9+300 a K13+600, Gravas con CBR's bajas gruesas, con predominio de tamaños superiores a 4", razón por la que se omiten del promedio, obteniéndose finalmente un CBR = (31,2%).

ABSCISA	DESCRIPCIÓN	GRANULOMETRÍA		
		% GRAVAS	% ARENAS	% 200
K0+050	Material granular gris, posible SBG	63	29	8
K0+050	Material limo-arcilloso marrón	17	25	58
K0+290	Material limo-arcilloso marrón claro	32	24	44
K0+540	Material granular grueso gris	63	26	11
K0+540	Material limo-arcilloso beige	6	45	49
K0+790	Material limo-arcilloso marrón claro	19	44	37
K1+080	Material limoso marrón claro	13	19	69
K1+500	Material limo-arcilloso marrón claro	3	11	86
K1+900	Material limo-arcilloso marrón claro	21	36	43
K2+380	Material limo-arcilloso marrón claro	12	69	19
K4+250	Material limo-arcilloso marrón claro	14	72	15
K4+650	Material limo-arcilloso rojo	16	15	69
K5+400	Material granular limoso	54	23	23
K5+650	Grava arcillosa marrón	56	20	24
K6+000	Grava arcillo-limosa marrón	59	22	19
K6+000	Grava fina arcillo-limosa marrón	37	24	39
K6+500	Grava limosa marrón	64	24	12
K6+750	Grava limosa marrón	63	28	9
K7+080	Grava arcillosa beige oscuro	44	36	20
K7+310	Arena arcillosa beige	27	47	26
K7+650	Grava arcillosa marrón oscuro	57	29	14
K7+950	Grava arcillosa marrón claro	51	28	21
K8+200	Arcilla orgánica de mediana plasticidad	5	21	74
K8+680	Grava arcillosa marrón	45	34	21

Tabla No. 10. Clasificación Granulométrica Afirmado
Fuente: Ingeniería Geológica - Luís González De Vallejo³

- Sector Geotécnico 3: K13+600 hasta el final del tramo (K16+300). Este sector no cuenta con caracterización detallada de las gravas del afirmado en cuanto a su CBR, siendo que ellas superan en su mayoría los treinta (30 cm) centímetros. El CBR de diseño calculado fué de tres punto uno (3,1%) por ciento, en el cual se omitieron los valores de subrasante inferiores a dos (2,0%) por ciento, por cuanto están a más de cincuenta (50 cm) centímetros de profundidad. No obstante el CBR así obtenido se considera bajo para la condición real de la vía, por lo que se opta por trabajar con un CBR de diez (10%) por ciento. En caso de no lograrse el valor de CBR, se deberán hacer los ajustes pertinentes al diseño considerado. Los sectores definidos por CBR se sintetizan en la Tabla No. 12.

³Ingeniería Geológica, Ing. LUIS GONZÁLEZ DE VALLEJO, Ediciones Universidad Nacional de Colombia, 2005.

PR	Costado	Prof. (m)	Descripción	Clasificación			Granulometría				Wn (%)	Límites de Consistencia			CBR 95% $\gamma_{T\text{Máx.}}$	$\gamma_{T\text{Máx.}}$ ₃ (Kca/m ³) Laboratorio
				USCS	AASHTO	Índice de Grupo	% Gravas	% Pasa No. 4	% Arenas	% 200		LL	LP	IP		
K0+050	I	0,00 - 1,10	Grava arcillo limosa	GM-GC	A-1-b	0	47	53	32	21	8,00	22	16	6		2068
K0+080	I	0,40 - 0,70	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad	CL	A-6	3	0	100	44	56	6,00	28	16	12	6,1	1851
K0+200	D	0,10 - 0,75	Arena arcillosa	SC	A-6	0	2	98	59	39	8,00	30	18	12	12,6	2013
K0+390	D	0,10 - 0,70	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad	CL	A-6	5	17	83	22	61	6,00	31	17	14	11,0	2112
K0+600	I	0,00 - 0,85	Grava arcillosa	GC	A-6	0	38	62	26	36	6,00	29	16	13		2093
K0+800	D	0,00 - 0,80	Arena arcillosa	SC	A-6	3	10	90	44	46	6,00	31	16	15		2093
K1+000	D	0,00 - 0,90	Grava arcillosa	GC	A-6	2	31	69	19	50	6,00	28	17	11		2107
K1+200	D	0,00 - 0,95	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad	CL	A-6	11	1	99	6	93	4,00	31	17	14		2192
K1+400	D	0,00 - 0,50	Grava arcillosa	GC	A-2-4	0	47	53	22	31		27	17	10		
K1+400	D	0,50 - 0,95	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad	CL	A-6	11	1	99	6	93	3,00	31	17	14		
K1+600	I	0,00 - 0,90	Arena arcillosa	SC	A-6	1	26	74	27	47	5,00	27	16	11		2165
K1+800	D	0,00 - 0,95	Grava arcillosa	GC	A-4	1	28	72	27	45	5,00	24	14	10		2165

Tabla No. 11. Caracterización Afirmado y Subrasante Subsector 1
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

SECTOR	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CBR
K0+000 a K0+500	Afirmado de espesor heterogéneo, apoyado sobre arcillas de baja plasticidad. En superficie se aprecia gran contenido de gravas.	6,5%
K0+500 a K2+800	Afirmado de (10 cm), apoyado sobre arenas limo-arcillosas. En superficie se aprecia gran contenido de material fino. Se requiere mejoramiento para lograr el CBR indicado.	6,4%
K2+800 a K3+600	Sector en donde en superficie se aprecia afloramientos rocosos.	8,7%
K3+600 a K6+500	Sector en donde en superficie se aprecia afloramientos rocosos, y el suelo natural está conformado por un conglomerado de gravas muy pequeñas, con aparente buen grado de compactación.	13,4%
K6+500 a K9+300	Sector de gravas que alcanzan la profundidad del apique, es decir (1,5 m)	9,3%
K9+300 a K13+600	Sector de gravas que alcanzan profundidad del apique, es decir (1,5 m). El este sector reporta roca a profundidad variable entre (0,50) y (1,00 m).	31,2%
K13+600 a K16+300	Sector de gravas de espesor variable, donde la subrasante se aprecia en algunos apiques a profundidad variable entre (0,10 y 0,80 m). En este sector se considera que al evaluar las gravas mediante ensayos de CBR método I, se puede obtener mayor valor de resistencia que el reportado, por lo que se trabajó con (10%).	10%

Tabla No. 12. Sectorización CBR
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Módulos del Afirmado

Como parte del plan complementario de exploración del suelo, se realizaron medidas con el equipo Light Weight Deflectometer – LWD como el mostrado en las Fotografías No. 10 y 37, el cual permitió obtener el valor del módulo de la capa granular donde se realiza la medición. Las lecturas se llevaron a cabo cada cien (100 m) metros, intercalando el costado de la calzada (Método “Tres bolillos”), y haciendo en promedio nueve (9) mediciones por sitio. El reporte de la medición se adjunta en el Anexo L.

Estos resultados se procesaron, sacando el valor promedio en cada sitio y restando la desviación estándar, obteniendo así el valor del módulo en cada una de las abscisas en donde se efectuó dicha medición. Los datos así obtenidos se graficaron para determinar los sectores homogéneos, sin embargo no se obtuvieron diferencias evidentes según se aprecia en la Figura No. 35:

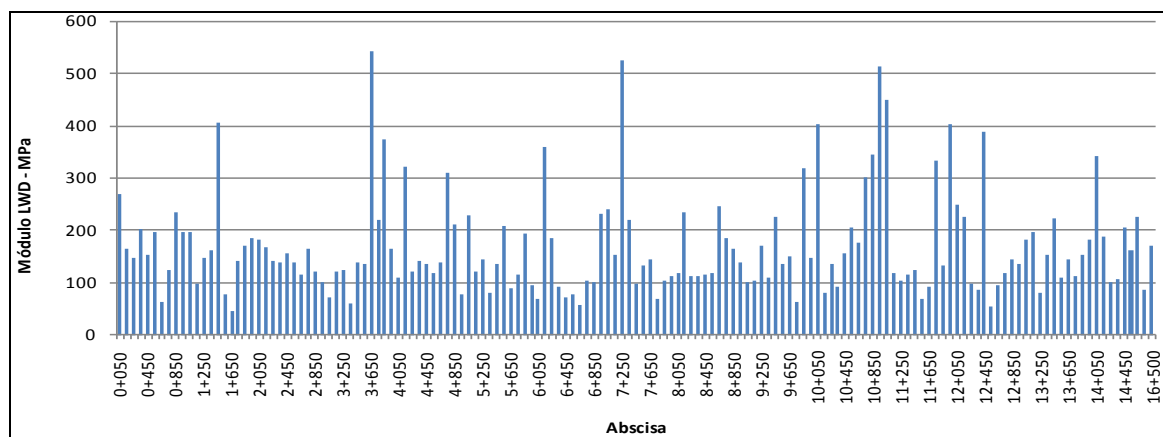


Figura No. 35. Módulo LWD Medido
Fuente: Consorcio Vial Helios – HVM Ingenieros – Los Autores

En la definición de los sectores homogéneos para este parámetro, se empleó el método de las diferencias acumuladas. Para tal efecto se limitaron los valores obtenidos de módulos para que no sobrepasaran los doscientos (200 MPa) megapascales.

Lo anterior para tener mayor confiabilidad en el manejo de los datos estadísticos. Con los datos así obtenidos y una vez aplicada la metodología en mención, se obtuvieron los siguientes sectores homogéneos descritos en la Tabla No. 13 (El procedimiento de cálculo puede ser consultado en el Anexo N):

SECTOR	ABSC. INICIAL	ABSC. FINAL	PROMEDIO MÓDULO MPa	DESVIACIÓN MÓDULO	PROMEDIO MÓDULO MPa
1	K0+000	K3+050	147,17	44,19	102,97
2	K3+050	K6+550	138,68	47,34	91,35
3	K6+550	K8+050	133,00	48,49	84,50
4	K8+050	K9+050	145,22	38,79	106,43
5	K9+050	K10+550	142,78	46,23	96,55
6	K10+550	K13+050	145,69	49,79	95,90
7	K13+050	K16+500	152,59	41,93	110,66

Tabla No. 13. Sectorización por Medición LWD
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

6.2.5. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Obtenidos los sectores geotécnicos de diseño y por la capacidad de resistencia del material de apoyo medida ésta a partir del CBR y módulos con el equipo LWD mencionado anteriormente, se establecieron los siguientes cinco (5) sectores homogéneos para el diseño de la estructura de pavimento (Ver Figura No. 36):

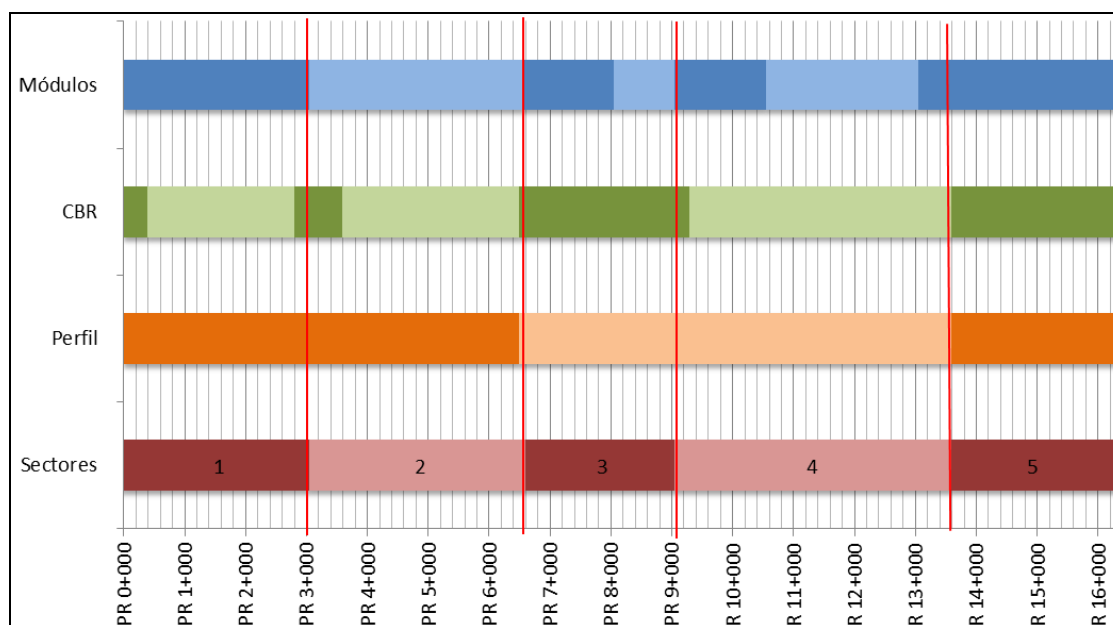


Figura No. 36. Sectores Homogéneos para Diseño
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Para estos sectores se determinó el valor promedio de CBR, con el fin de obtener por correlación el valor del módulo de la subrasante mediante las expresiones presentadas en la Tabla No. 14, basados en las recomendaciones de la Transport and Road Research Laboratory – TRL para los valores entre dos (2%) y doce (12%) por ciento y de la AASHTO para los valores entre doce (12%) y ochenta (80%) por ciento, comparándolos con el valor del módulo obtenido a partir de las mediciones con el equipo LWD. Este último se obtuvo como el valor promedio menos una vez la desviación estándar, limitando los máximos valores a doscientos (200 MPa) megapascales. Los resultados se presentan en la Tabla No. 15.

CBR %	RELACIÓN Kg/cm ²
2 a 12	180*CBR^{0.64}
12 a 80	225*CBR^{0.55}

Tabla No. 14. Expresiones para Cálculo MR a partir del CBR
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

SECTOR	ABSC. INICIAL	ABSC. FINAL	CBR	MÓDULO POR CORRELACIÓN Kg/cm ²	MÓDULO POR CORRELACIÓN PSI	PROMEDIO MÓDULO LWD Mpa	DESVIACIÓN ESTÁNDAR MÓDULO LWD	MÓDULO LWD (Promedio - Desviación) Mpa	MÓDULO LWD Kg/cm ²	MÓDULO LWD PSI
1	K0+000	K3+050	7,5	654	9.302	147	44	103	1472	20.932
2	K3+050	K6+600	12,6	907	12.901	136	49	88	1364	19.405
3	K6+600	K9+050	9,6	765	10.881	141	42	99	1412	20.087
4	K9+050	K13+600	31,2	1493	21.235	145	47	98	1449	20.606
5	K13+600	K16+300	3,1	371	5.277	157	40	116	1565	22.262

Tabla No. 15. Resultados Módulo LWD
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Como se pudo observar, hay una diferencia significativa entre los módulos obtenidos por correlación y por LWD, razón por la cual de acuerdo con las condiciones de los materiales observados en obra, se seleccionaron los módulos que mejor representan su condición, obteniendo los resultados de la Tabla No. 16:

SECTOR	ABSC. INICIAL	ABSC. FINAL	MÓDULO POR CORRELACIÓN Kg/cm ²	MÓDULO POR CORRELACIÓN PSI	MÓDULO LWD Kg/cm ²	MÓDULO LWD PSI
1	K0+000	K3+050	654	9.302	-	-
2	K3+050	K6+600	907	12.901	-	-
3	K6+600	K9+050	765	10.881		
4	K9+050	K13+600	-	-	1449	20.606
5	K13+600	K16+300	-	-	1565	22.262

Tabla No. 16. Módulo de Diseño Subrasante
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

6.2.6. TRÁNSITO

Dado que no se contempla el tránsito atraído de la obra mientras duran su proceso constructivo, se realizó nuevamente la determinación del Número de Ejes Simples Equivalentes (NESE), a partir del TPD presentado en los informes originales de la firma consultora del proyecto – HMV Ingenieros. Con estos datos, y trabajando con los factores daño del Instituto Nacional de Vías - INVIAS e incorporando cinco mil trescientos trece (5.313 veh) vehículos de obra tipo C3 como los mostrados en la Figura No. 15, que corresponden al transporte de material para una estructura de cincuenta (50 cm) centímetros de espesor, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla No. 17.

Como condicionantes del cálculo se tienen que el año de puesta en servicio se planteó en el 2012 y el factor de distribución direccional fue de punto nuevo (0,9) por ser una vía muy angosta, donde es difícil garantizar la ocupación exclusiva del carril por los vehículos pesados.

PERIODO DE DISEÑO	AÑO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3	C4	C5	>C5	TOTAL
-	2.010	-	12.155	7.490	37.291	3.705	2.247	2.891	3.101	68.900
-	2.011	-	12.812	7.864	39.551	3.705	2.247	2.891	3.101	72.200
1	2.012	-	13.469	8.239	41.811	3.705	2.247	2.891	3.101	75.500
2	2.013	-	14.126	8.613	42.942	23.680	2.247	2.891	3.101	97.600
3	2.014	-	14.783	9.362	46.332	4.941	2.247	2.891	3.101	83.700
4	2.015	-	16.425	10.111	50.852	4.941	3.370	4.336	4.652	94.700
5	2.016	-	18.068	11.235	55.372	4.941	3.370	4.336	4.652	102.000
6	2.017	-	19.053	11.984	58.762	6.176	3.370	4.336	4.652	108.300
7	2.018	-	20.039	12.358	62.152	6.176	3.370	4.336	4.652	113.100
8	2.019	-	21.353	13.107	65.542	6.176	3.370	4.336	4.652	118.500
9	2.020	-	22.338	13.856	68.932	7.411	4.494	5.782	6.202	129.000
10	2.021	-	23.652	14.605	72.323	7.411	4.494	5.782	6.202	134.500
TOTAL NESE										1.056.900

Tabla No. 17. Tránsito de Diseño NESE
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

6.2.7. ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTO POR LA METODOLOGÍA EMPÍRICA AASHTO 1993

Para el diseño de la estructura de pavimento se establecieron cuatro (4) alternativas para la intervención del tramo en estudio que fueron:

- Alternativa 1: Colocación de un mínimo espesor de mezcla asfáltica sobre base granular y esta a su vez apoyada en una subbase granular.

- Alternativa 2: Colocación de una mezcla asfáltica sobre base granular estabilizada con emulsión asfáltica y esta a su vez apoyada en una subbase granular que sirva de nivelación.
- Alternativa 3: Colocación de una mezcla asfáltica sobre una capa de base tipo ASFALTITA y esta a su vez apoyada en una subbase granular, que sirva de nivelación. Esta ASFALTITA no requiere tratamiento alguno para su colocación dado que ya ha clasificado en la mina proveedora.
- Alternativa 4: Colocación de MAPIA sobre una capa de base de conglomerado asfáltico natural y esta a su vez apoyada en una subbase granular, que sirva de nivelación. La MAPIA, consiste esencialmente en una arena asfalto natural a la cual es necesario adicionarle un porcentaje de gravas, cuya proporción depende de la capa estructural. Es así que como rodadura, se contempló en una proporción en volumen tres uno uno (3:1:1), siendo tres (3) la cantidad de MAPIA y como base granular estabilizada con emulsión se contempló con una proporción uno uno (1:1).

En la Tabla No. 18 se presentan algunas de las ventajas y desventajas de las alternativas contempladas:

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Base granular	Material de uso común, y ampliamente conocido. Requiere controles sencillos durante su colocación.	Mayor espesor. Mayor efecto de daño por intemperie, por lo que para evitarlo puede requerir hacer riegos de imprimación de manera repetida, hasta su cubrimiento de la capa asfáltica.
Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	Soporta algún nivel de tracción. Es hidrófoba, se comporta bien con el agua. Aporta mayor módulo que la convencional.	Controles más exhaustivos durante la colocación. No se puede poner capa asfáltica de inmediato. Trabajo de campo más cuidadoso, porque requiere garantizar la homogeneidad de la mezcla.
Base de conglomerado asfáltico natural	Soporta algún nivel de tracción. Es hidrófoba, se comporta bien con el agua. Aporta mayor módulo que la convencional. Requiere controles de densidad y humedad durante su colocación. El control de calidad es en la mina.	Requiere un procesamiento en fuente para homogenizar y trasladar en la obra, en condiciones de solo instalación.

Tabla No. 18. Ventajas y Desventajas Alternativas Bases
Fuente: Universidad Católica de Colombia – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

Las estructuras indicadas para cada una de las alternativas, se calcularon por la metodología de diseño AASHTO siguiendo el procedimiento descrito en la Figura No. 31 del documento "AASHTO-93 Guide for Design of Pavement Structures*", empleando para la ecuación general que se presenta (Ecuación No. 7) los parámetros de la Tabla No. 19 y los descritos a continuación de la misma:

PARÁMETRO DISEÑO	VALOR	REFERENCIA*
Nivel de Confiabilidad	85%	Tabla 2.2 – Página II-9
Zr	-1.037	Tabla 4.1 – Página I-62
Desviación Estándar	0.45	Página I-6
Serviciabilidad Inicial	4.2	Numeral 2.2.1 - Página II-10
Serviciabilidad Final	2.2	Numeral 2.2.1 - Página II-10

Tabla No. 19. Parámetros Diseño Estructura Nueva AASHTO
Fuente: *AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures – 1993

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ecuación No. 7 – Formulación AASHTO-1993 Correlacionada con Ecuación No. 2
Fuente: AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures – 1993

Coefficientes Hidráulicos ó de Drenaje

Estos coeficientes se adoptan bajo la suposición de que la capa puede permanecer en condición aceptable bajo humedades cercanas a la saturación entre el cinco (5%) y el venticinco (25%) por ciento del tiempo (Ver Figura No. 18).

Lo anterior se asume pese a que dentro del diseño deben contemplar la construcción de un sistema de drenaje superficial y subsuperficial, pero el cual en algún momento puede llegar a presentar problemas que induzcan la acumulación de agua en la estructura.

El valor acogido para las bases granulares estabilizadas con emulsión ó de conglomerados asfálticos naturales, es de uno (1.0) y para la subbase granular es de punto nueve (0.9) según lo indicado en la guía AASHTO.

Coeficientes Estructurales

La capacidad mecánica, manifestada en el coeficiente estructural de cada uno de los materiales, se establece de acuerdo con los requisitos que deben cumplir los mismos en función de las descripciones técnicas actuales, las cuales son impartidas por las “Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras INVÍAS-2007”. De este modo se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para la capa asfáltica se tomó un valor $a_1 =$ punto treinta y tres (0.33), el cual se determinó con la Ecuación No. 8, teniendo en cuenta que la temperatura promedio para la zona del proyecto es de veinticinco (23°C) grados centígrados. Con este coeficiente se espera contar con una mezcla de módulo doscientos cincuenta mil (250.000 PSI) libras pulgada cuadrada ó diez y siete mil (17.000 Kg/cm^2) kilogramos centímetro cuadrado.

$$a_1 = 0,7304 - (0,1271 * \text{Ln}(T(^{\circ}\text{C})))$$

Ecuación No. 8 – Coeficiente Estructural Mezcla Asfáltica
Fuente: AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures – 1993

- Para la capa de base granular se planteó trabajar con una base granular tipo BG-1 (Tabla 300.1 – Tránsito NT2 - Artículo 300 y Tabla 330.1 Artículo 330 INVÍAS-2007), con CBR de cien (100%) por ciento para el cien (100%) de compactación del ensayo próctor modificado. Para estas condiciones el coeficiente estructural a_2 y el módulo resiliente, se obtienen empleando la guía AASHTO-93 (Ver Figura No. 37), la cual arroja valores de punto catorce (0.14) y de treinta mil (30.000 PSI) libras pulgada cuadrada ó dos mil cien (2.100 Kg/cm^2), kilogramos centímetro cuadrado respectivamente.

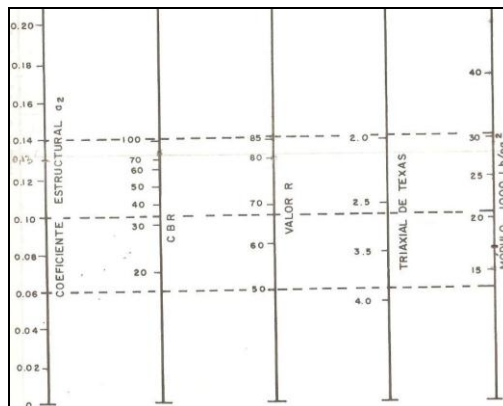


Figura No. 37. Valor a_2 y Módulo Resiliente Base Granular
Fuente: AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures – 1993

- Para la capa de base granular estabilizada tipo BGE-1 (Tabla 340.1 Artículo 340 INVÍAS-2007) con emulsión, se trabajó con un coeficiente de punto diez y seis (0.16) y un módulo de ciento trece mil (113.000 PSI) libras pulgada cuadrada u ocho mil (8.000 Kg/cm²) kilogramos centímetro cuadrado, se obtienen empleando la guía AASHTO-93 (Ver Figura No. 38).

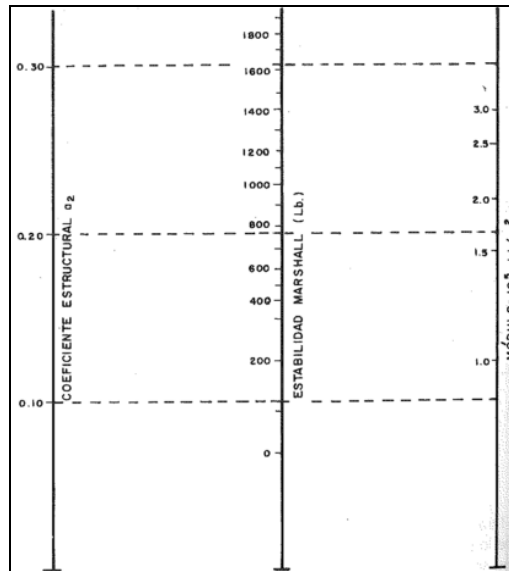


Figura No. 38. Valor a_2 y Módulo Resiliente Base Emulsión
Fuente: AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures – 1993

- Para la capa de subbase se planteó trabajar con una tipo SBG-1 (Tabla 300.1 – Tránsito NT2 - Artículo 300 y Tabla 320.1 Artículo 320 INVÍAS-2007), con CBR mínimo de treinta (30%) por ciento, para el cien (100%) por ciento de compactación medida por el ensayo próctor modificado.

Para estas condiciones el coeficiente estructural a_2 y el módulo resiliente se obtienen empleando la guía AASHTO-93 (Ver Figura No. 39), la cual arroja valores de punto once (0.11) y de quince mil (15.000 PSI) libras pulgada cuadrada ó mil (1.000 Kg/cm²) kilogramos centímetro cuadrado respectivamente.

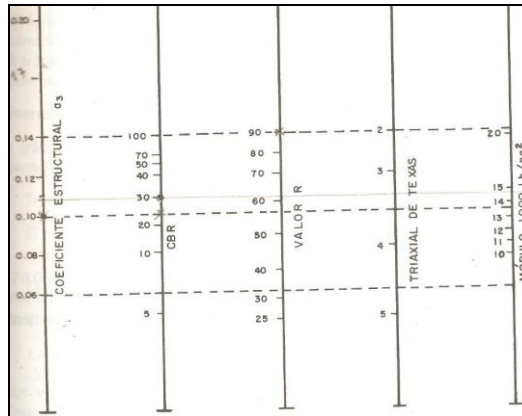


Figura No. 39. Valor a_2 y Módulo Resiliente Subbase
 Fuente: AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures – 1993

- Para los asfaltos naturales ASFALTITA y la MAPIA, se trabajó con los módulos obtenidos por medición con un equipo Falling Weight Deflectometer – FWD contratado por el Consorcio Vial Helios a la firma Intineris – Gestión de Infraestructura S.A.S. (Ver Fotografía No. 35), sobre los tramos de prueba realizados (Ver resultados Anexo M).



Fotografía No. 35. Equipo FWD
 Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

A estos materiales se le asignó el coeficiente estructural, como el valor promedio entre el coeficiente estructural de una base granular convencional y el coeficiente estructural de una mezcla asfáltica empleando por la guía AASHTO-93.

No se empleó el coeficiente de la base estabilizada con emulsión, por cuanto los valores obtenidos son menores a los de una base granular convencional, siendo el comportamiento del conglomerado asfáltico natural muy superior a este. Los resultados se presentan en la Tabla No. 20:

CAPA	MÓDULO FWD Mpa	MÓDULO SELECCIONADO Mpa	MÓDUO SELECCIONADO Kg/cm ²	MÓDULO SELECCIONADO PSI	a2	a1	ai PROMEDIO
Conglomerado Asfáltico Natural	481 - 581	530	5.300	75.384	0,24	0,14	0,19
MAPIA Rodadura	556	550	5.500	78.228	0,24	0,15	0,20
MAPIA Base	300	300	3.000	42.670	0,18	0,09	0,14

Tabla No. 20. Coeficiente Estructurales Asfaltos Naturales
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

En las alternativas de diseño no se contempló trabajar con la MAPIA como base estabilizada, por su bajo aporte modular, respecto a la ASFALTITA.

No obstante, se considera que el módulo de la MAPIA como base, puede ser incrementando aumentando la proporción de grava.

- En cuanto a la subrasante, se estableció los valores de módulos de diseño presentados en la Tabla No. 16. Es de resaltar que estos módulos representan la condición de resistencia del afirmado actual, que es donde se colocará la estructura de pavimento, previo mejoramiento para mitigar los efectos nocivos de la materia orgánica y las posibles expansiones del material plástico.

El aporte estructural de este mejoramiento, contribuirá fuertemente en los sectores donde se aprecia en superficie materiales plásticos (K0+000 a K2+800). Aunque en la mayor parte del tramo (K2+800 a K16+300) puede no modificarse sustancialmente la condición actual de resistencia, por cuanto el mejoramiento contempla trabajar con los mismos granulares del afirmado sin adición de otro tipo de granulares. En tal sentido, el aporte estructural del mejoramiento no se contempla en el tramo comprendido entre el K2+800 al K16+300 lo que se traduce en un factor de seguridad al diseño ajustado.

Con la aplicación de los anteriores parámetros de diseño y siguiendo las instrucciones del documento AASHTO-93, se presentan los siguientes resultados para la alternativa seleccionada (Ver Tabla No. 21). La memoria de cálculo puede ser consultada en el Anexo M:

DESDE	HASTA	MÓDULO DE DISEÑO	ALTERNATIVA SELECCIONADA			
			CARPETA ASFÁLTICA	BASE GRANULAR	SUBBASE GRANULAR	ESPESOR TOTAL
K0+000	K3+050	654	7.5 cms*	29 cms	15 cms	51 cms
K3+050	K6+600	907	7.5 cms*	23 cms	15 cms	45 cms
K6+600	K9+050	765	7.5 cms*	26 cms	15 cms	48 cms
K9+050	K13+600	1,449	7.5 cms*	15 cms	15 cms	37 cms
K13+600	K16+300	1,565	7.5 cms*	15 cms	15 cms	37 cms

Tabla No. 21. Espesores Estructura Pavimento (* Mínimo Exigido AASHTO)
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

6.2.8. REFERENCIA DE UN TRAMO DE PRUEBA (NUMERAL 2.3.2.)

Metodología

- Seleccionar el sitio de la prueba

El lugar para realizar la prueba se seleccionó con base en los siguientes criterios:

- a) Facilidad de seguimiento.
- b) Que el material quedara expuesto a la acción de la intemperie y de las cargas de vehículos pesados, en el mayor número posible.
- c) Que no se requiriera hacer un mejoramiento del apoyo, si no que éste ya estuviese bien conformado.

Una vez consideradas estas características, se seleccionó por parte del CVH, el campamento “Guaduro” ubicado en el K32+000 del corredor vial principal.

- Caracterización de la superficie de apoyo

Se midió el módulo del estrato de apoyo, mediante el uso del equipo LWD como el mostrado en las Fotografías No. 9 – 10 respectivamente.

- Instalación del tramo de prueba

Se considerarán los siguientes procesos constructivos:

- a) Extensión.
- b) Compactación.

- Seguimiento

Desarrollo del Ejercicio

Se postuló el uso de la ASFALTITA proveniente de la “Mina de San Pedro”. El tramo se construyó con una longitud de cien (100) metros aproximadamente (Un hectómetro), en las instalaciones del campamento “Guaduro” K32+000.

El propósito fundamental era el establecer las condiciones de manejabilidad del producto asfáltico natural y buscar los niveles de densificación adecuados, así como examinar su evolución en las condiciones superficiales y mecánicas, evaluado esto mediante la obtención de los módulos elásticos deducidos del retrocálculo con deflectómetro LWD.

El procedimiento de construcción consistió en:

- a) El tramo de prueba estará debidamente abscisado. En este sitio ha sido colocado un material granular del tipo subbase, en el que se tomaron módulos con el equipo LWD (Ver Fotografía No. 36).



Fotografía No. 36. Campamento Piloto Gaudero
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

- b) Evaluación con el deflectómetro LWD de las condiciones del suelo de apoyo, el cual está constituido por una capa de material granular grueso tipo subbase granular (Existente en el campamento). Se tomaron los módulos de esta capa, obteniéndose valores entre doscientos setenta (270 MPa) y trescientos veintiún (321 MPa) Megapascales (Ver Fotografía No. 37).



Fotografía No. 37. Medición Módulos LWD
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Se realizó el ajuste a las cotas mediante el procedimiento de “Cereo” del material de apoyo, que corresponde a una capa de material granular grueso tipo subbase granular. Este procedimiento se realizó con la ayuda de una motoniveladora (Ver Fotografía No. 38).



Fotografía No. 38. Proceso Cereo
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Posteriormente se procedió a compactar mediante el paso de un vibrocompactador mixto de catorce (14 Ton) toneladas, con dos (2) pasos completos (Marcha y contramarcha) (Ver Fotografía No. 39).



Fotografía No. 39. Proceso de Vibrocompactación
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Se transportó en cargador la ASFALTITA del acopio, cuya humedad natural superficial nunca superó el cinco (5%) por ciento aproximadamente y que no había estado muy expuesta (Uso del plástico de polipropileno) a las condiciones ambientales existentes (Ver Fotografía No. 40).



Fotografía No. 40. Acopio Resguardado ASFALTITA
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Posteriormente se colocó la ASFALTITA empleando el uso de un cargador sobre el tramo vial a conformar (Ver Fotografías No. 41 - 42).



Fotografías No. 41 - 42. Proceso Instalación ASFALTITA
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Consecutivamente se procedió a nivelar el material con la motoniveladora. Una vez se consiguió el nivel, se escarificó con la misma motoniveladora y se procedió a humedecer para alcanzar un valor óptimo de humedad del siete (7%) por ciento que fue el obtenido de las pruebas de laboratorio descritas anteriormente.

Este proceso se realizó dos (2) veces hasta lograr un buen espesor y regularidad procediéndose a compactar posteriormente (Ver Fotografías No. 43 a 46).

En el proceso de compactación y como se mencionó anteriormente, se empleó un equipo mixto de catorce (14 Ton) toneladas, con una secuencia de diez (10) pasadas que consistieron en la siguiente rutina:

- Compactación sin vibración (Un (1) ciclo, es decir un paso por sentido).
- Compactación vibrando con amplitud larga y frecuencia baja (Dos (2) ciclos, es decir dos (2) pasos por sentido).
- Compactación vibrando con amplitud corta y frecuencia alta (Dos (2) ciclos, es decir dos (2) pasos por sentido).

El espesor instalado fue de aproximadamente veintitrés (23 cms) centímetros compactos. En las Fotografías No. 47 – 48, se muestran el aspecto superficial de la mezcla así como su aspecto interior, que se aprecia en el sitio donde se midió la densidad con el equipo de “Cono de Arena”, siendo observable su aspecto totalmente compacto.



Fotografías No. 43 a 46. Proceso Constructivo ASFALTITA
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores



Fotografías No. 47 - 48. Proceso Constructivo
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

Una vez que la mezcla se densificó, se procedió a medir el módulo empleando el equipo LWD.

Los valores obtenidos variaron entre setenta (70 MPa) y ciento veintiséis (126 MPa) Megapascales, los cuales son inferiores que los medidos sobre la capa de apoyo. Lo anterior resulta claramente del hecho de que esta técnica está concebida para control de materiales granulares y no para materiales aglutinados, por lo que en el análisis final no se tiene en cuenta, razón por la cual se evidencia tal incongruencia. En tal sentido, es claro que en obra no es posible controlar los módulos del conglomerado natural con el equipo LWD.

No obstante lo anterior, y dado que se pudo apreciar que el módulo se incrementaba a medida que se producía el curado del material, se realizaron nuevas mediciones con el equipo LWD, pasados unos días, sin embargo esto sirvió para reiterar la inutilidad de esta técnica en este tipo de materiales. Por lo anterior, se optó por realizar la deflectometría con FWD, siendo así como se hizo la evaluación y el análisis de módulos por cálculo inverso. El proceso llevado a cabo, indican que los módulos obtenidos fluctúan entre cuatrocientos ochenta (480 MPa) y quinientos ochenta (580 Mpa) Megapascales, que están en correspondencia con los obtenidos en un ensayo triaxial dinámico como el considerado por la metodología AASHTO.

Luego de más de veinticinco (25) días de realizado el tramo de prueba, se pudo apreciar que el estado superficial reflejaba un buen desempeño no siendo observadas patologías como fisuración, desprendimientos ó deformaciones que indiquen deficiencias en la naturaleza del material. Lo anterior, es una evidencia de la buena calidad de bases que poseen ligantes, en cuanto a su alta resistencia a los agentes de intemperismo y ante la misma acción del tránsito, siendo en este caso agresiva, por cuanto transitan la mayor parte de los vehículos pesados de obra, sin protección ó tratamiento alguno.

CONCLUSIONES

CAMPAMENTOS

- Se ha planteado una única alternativa compuesta por material de la fuente “Bocamonte” del K57+000 correspondiente al corredor principal como base granular y MAPIA en proporción (3/1/1) con arena y agregado con tamaño máximo de tres cuartos de pulgada (TM=3/4”).
- La elección de esta alternativa obedece a la naturaleza de la vía y a la facilidad de consecución de los materiales por parte del CVH.
- El cálculo del tránsito se realizó estimando el volumen de materiales requeridos para la obra en los subtramos 2 y 3, que van a procesarse y transportarse desde los campamentos; el tránsito resultante de esta estimación se aproxima a los setecientos cincuenta mil (750.000) ESALs.
- Se han planteado tres (3) estructuras que aunque contemplan materiales con las mismas características, presenta variación en los espesores. Esto obedece a que cada una de las estructuras fue propuesta para diferentes periodos en los que se desarrolla un tránsito determinado.
- Debido a que el presupuesto inicial contemplaba estructuras menores a las requeridas para llegar al final del periodo de diseño, se han presentado alternativas adicionales de menor espesor; aclarando que además del mantenimiento rutinario que se deba dar a la estructura, se darán sostenimientos mayores en un corto plazo ante la escasez de la estructura para cubrir los requerimientos impuestos por el tránsito considerado.
- Sin embargo es factible esta propuesta, pues los materiales planteados pueden ser reciclados y en una “Segunda Fase de Construcción” se puede añadir una capa adicional que ayude a llevar a un buen término la estructura del pavimento al final del periodo para el cual está proyectada.

VÍA DINDAL - CAPARRAPÍ

- Con base en la evaluación geotécnica, se estableció el perfil estratigráfico de la vía, el cual en esencia se dividió en tres sectores:

Sector 1: K0+000 a K6+500, Afirmado de espesor promedio de diez (10 cm) centímetros, apoyado sobre una subrasante que se caracteriza por estar conformada esencialmente por arenas finas limo arcillosas.

Sector 2: K6+500 a K13+600: Afirmado de diez (10 cm) centímetros de espesor en promedio, apoyado sobre subrasante que se caracteriza por estar conformada por gravas limo arcillosas. Entre el K12+000 y el K13+600, las gravas están apoyadas sobre roca.

Sector 3: K13+600 a K16+300: Sector heterogéneo, con afirmado de diez (10 cm) centímetros de espesor desde el inicio hasta el K15+200, apoyado sobre gravas que parecen ser el suelo natural, pero también hay sitios donde se apoya sobre arcillas de baja plasticidad que también hacen parte de la subrasante. Posteriormente y hasta el K16+300, se encuentra en superficie un tratamiento superficial apoyado sobre gravas que superan los treinta (30 cm) centímetros de profundidad, bajo las cuales se encuentra arenas limo-arcillosas y arcillas de baja plasticidad. Por último, el sector termina con gravas en superficie que alcanzan la profundidad total del apique (Un metro con cincuenta (1.50 cm) centímetros).

- Así mismo, con base en la exploración geotécnica se estableció la capacidad de resistencia de los materiales, medida ésta por el CBR bajo condición crítica.
- Complementariamente, las mediciones de los módulos del afirmado con el equipo Light Weight Deflectometer – LWD, permitieron definir los sectores homogéneos de diseño, a los cuales se les calculó los parámetros de resistencia requeridos los cuales fueron (Ver Tabla No. 22):

SECTOR DISEÑO	ABSC. INICIAL	ABSC. FINAL	MÓDULO Kg/cm ²	MÓDULO PSI
1	K0+000	K3+050	654	9.302
2	K3+050	K6+600	907	12.901
3	K6+600	K9+050	765	10.881
4	K9+050	K13+600	1449	20.606
5	K13+600	K16+300	1565	22.262

Tabla No. 22. Sectores Diseño y Módulo Diseño Subrasante
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

- Para cada uno de los sectores de diseño, se dimensionó las estructuras con la alternativa propuesta, los resultados ajustados se muestran en la Tabla No. 23:

SECTORES DE DISEÑO	K0+000 – K0+500	K0+500 - K3+050	K3+050 - K6+600	K6+600 - K9+050	K9+050 - K13+600	K13+600 - K16+300
MÓDULO DE DISEÑO SUBRASANTE Kg/cm ²	654	654	907	765	1449	1565
Carpeta Asfáltica	7.5*	7.5*	7.5*	7.5*	7.5*	7.5*
Base Granular	29	29	23	26	15	15
Subbase Granular	15	15	15	15	15	15
Mejoramiento	30	-	-	-	-	-
Espesor Total (cms)	81	51	75	78	67	67

Tabla No. 23. Espesores Ajustados
Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

- Dentro de los requisitos exigidos por la metodología AASHTO, se establece un mínimo espesor para la instalación de los concreto asfálticos (Ver Figura No. 34). Por ello el valor requerido mínimo es de tres (3") pulgadas, es decir, siete punto cinco (7.5 cms) centímetros compactos*.

No. de ejes equivalente (millones)	Concreto asfáltico	Base granular
<0.05	1.0 o TSD	4
0.05 - 0.15	2.0	4
0.15 - 0.50	2.5	4
0.50 - 2.00	3.0	6
2.00 - 7.00	3.5	6
> 7.00	4.0	6

Figura No. 40. Espesores Mínimos AASHTO

Fuente: AASHTO Guide For Design Of Pavement Structures – 1993

- En los sectores del K9+050 a K16+300, el espesor de diseño fue de cinco (5 cm) centímetros, sin embargo se debe colocar el espesor mínimo exigido por la guía AASHTO-93 que es de tres (3") pulgadas ó (7.5 cm) centímetros de mezcla asfáltica, en función del tránsito esperado.
- El número estructural requerido versus el de diseño, se presenta en la Tabla No. 24:

DESDE	HASTA	SN REQUERIDO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
K0+000	K3+050	3,03	3,06	3,04	3,07	3,03
K3+050	K6+600	2,69	2,71	2,69	2,72	2,73
K6+600	K9+050	2,86	2,91	2,89	2,87	2,88
K9+050	K13+600	2,26	2,26	2,30	2,28	2,29
K13+600	K16+300	2,19	2,21	2,20	2,23	2,24

Tabla No. 24. Comparación SN Requerido Vs. SN Diseño

Fuente: Consorcio Vial Helios – Los Autores

BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Bogotá D.C., INVÍAS 2007.

------. Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras Tomos I, II, III. Bogotá D.C., INVÍAS 2007.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO DE BOGOTÁ D.C., Especificaciones Generales y Particulares. Bogotá D.C., 2005.

MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Tomo I. 3 ed. Bogotá D.C., Universidad Católica de Colombia, 2008. 612p.

SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando. Laboratorio de Pavimentos: Guía para La Ejecución e Interpretación de los Resultados. Bogotá D.C., 1990. 100p.

BOWLES, Joseph E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial Mac Graw Hill. México D.F., 1982. 216p.

CONSORCIO VIAL HELIOS. Especificaciones Particulares de Construcción de Vías Versión 01, 2012. 83p.

ARENAS LOZANO, Hugo León. Asfaltos Naturales la Formula MD NC, Popayán, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca. El Poirá S.A., 2003. 96p.

PEÑA CAICEDO, Jorge Javier. Los Morteros Asfálticos Naturales, Una Alternativa Ecológica para el Mejoramiento de una Red Vial: De lo Empírico a lo Técnico Popayán, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, 2010. 23p.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis. Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Ediciones Universidad Nacional de Colombia, 2005.

AASHTO, Guide For Design Of Pavement Structures – 1993.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH, Program Project 1 - 37A.

HMV INGENIEROS, Informe de Pavimentos Ruta del Sol Sector 1, 2011.