



TECNOCONSULTA
INGENIEROS CONSULTORES



AUTOPISTAS DEL SOL S.A

**ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA DOBLE CALZADA DE LA VARIANTE DE
PALMAR DE VARELA INCLUYENDO EL DISEÑO DE CINCO (5)
INTERSECCIONES A NIVEL**

VOLUMEN VI

ESTUDIO DE GEOTECNIA PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

VERSIÓN 04

TC-2082-135



AUTOPISTAS DEL SOL

INFORME FINAL ESTUDIO DE GEOTECNIA PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

VERSIÓN 04

CONTROL DE MODIFICACIONES

Versión Nº	Fecha	Descripción de la Modificación	Elaboró
01	Diciembre 15 de 2010	Emisión Original	Ing. Andrea del Pilar Arias Ayala Esp. de Pavimentos
02	Marzo 06 de 2013	Revisión y ajuste a la estructura del pavimento	Ing. Maria del Pilar Galarza Msc. Geotecnia
03	Abril 11 de 2013	Modificación al diseño de pavimentos	Ing. David González Herrera Phd. Ingeniería de caminos, canales y puertos
03	Agosto 25 de 2013	Revisión y ajustes al informe	Ing. David González Herrera Phd. Ingeniería de caminos, canales y puertos

Revisó:	Aprobó:	Verificó:
Ing. Luis Carlos Sarralde Jefe de Proyectos	Ing. José Domingo Yances Director de Proyectos	Andrés Cárdenas Villamil Representante Legal

**AUTOPISTAS DEL SOL
TECNOCONSULTA S.A.S**

**ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA DOBLE CALZADA DE LA VARIANTE DE PALMAR DE
VARELA, INCLUYENDO EL DISEÑO DE CINCO (5) INTERSECCIONES A NIVEL**

I N D I C E

I. GENERALIDADES	I-1
I.1 Introducción	I-1
I.2 Antecedentes.....	I-1
I.3 Localización del Proyecto	I-2
II. OBJETIVOS	II-1
II.1 Objetivo General	II-1
II.2 Objetivos Específicos	II-1
III. ALCANCE Y METODOLOGÍA	III-1
III.1 Alcance del Proyecto	III-1
III.2 Metodología General	III-1
IV. PRONÓSTICO DE TRÁNSITO Y CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN EL PERÍODO DE DISEÑO	IV-1
IV.1 Estimación del número de ejes equivalentes	IV-1
IV.1.1 Tránsito Promedio Diario Projectado	IV-4
IV.1.2 Factores de equivalencia de carga.....	IV-6
IV.1.3 Distribución Direccional y por Carril	IV-7
IV.1.4 Nivel de Confianza.....	IV-7
IV.2 Proyección de ejes equivalentes para el período de diseño (NESE)	IV-7
IV.3 Categoría de Tránsito	IV-9
IV.4 Tránsito de Diseño	IV-10
V. IDENTIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL CORREDOR	V-1
V.1 Resultado del estudio geotécnico	V-1
V.1.1 Clasificación, Humedad y Plasticidad	V-3
V.1.2 Perfil Estratigráfico	V-6
V.1.3 Capacidad de Soporte de California, CBR	V-11

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

V.2	Sectorización para el diseño.....	V-15
V.3	Definición del CBR de diseño	V-15
VI.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	VI-1
VI.1	Materiales de Sub-base y Base Granular	VI-1
VI.1.1	Sub-base Granular.....	VI-1
VI.1.2	Base Granular	VI-1
VI.2	Materiales para bases estabilizadas con emulsión asfáltica.....	VI-2
VI.3	Materiales para bases estabilizadas con cemento	VI-2
VI.4	Materiales para terraplén y mejoramientos	VI-2
VI.4.1	Terraplén	VI-2
VI.4.2	Mejoramiento	VI-3
VI.4.3	Pedraplenes	VI-3
VI.5	Concreto Asfáltico.....	VI-3
VI.5.1	Agregados pétreos y Llenante Mineral	VI-3
VI.5.2	Especificaciones para la Mezcla.....	VI-4
VI.6	Características de la Fuente de Materiales	VI-5
VII.	DISEÑO DE PAVIMENTO	VII-1
VII.1	Selección de los periodos de análisis y de diseño estructural	VII-1
VII.1.1	Período de Análisis	VII-2
VII.1.2	Período de Diseño Estructural.....	VII-3
VII.2	Clasificación del Tránsito	VII-3
VII.3	Factores ambientales y climáticos	VII-4
VII.4	Módulo Resiliente de la Subrasante (Mejorada).....	VII-4
VII.4.1	Capacidad de soporte aportada por los materiales adicionados.....	VII-5
VII.4.2	Material de mejoramiento sobre suelos blandos (condiciones críticas)	VII-6
VII.5	Nivel de confianza	VII-11
VII.6	Diseño del Pavimento	VII-11
VII.6.1	Unidades Homogéneas	VII-11
VII.6.2	Parámetros de Diseño	VII-12
VII.6.3	Dimensionamiento de las estructuras	VII-13
VII.7	Cuarta (4) alternativa de diseño	VII-15
VII.8	Verificación por Métodos Racionales	VII-16
VII.8.1	Parámetros de Diseño	VII-17

VII.8	Resumen estructuras obtenidas para la Variante Palmar de Varela.....	VII-40
VII.8.1	Sobre Terraplenes y/o cortes con rellenos con Subrasante Mejorada CBR $\geq 15\%$	VII-40
VII.9	Estructuras recomendadas para la pavimentación de la Variante Palmar de Varela	VII-41
VII.9.1	Estructuras sobre subrasante mejorada con rellenos en terraplén con CBR $\geq 15\%$	VII-42
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	VIII-1
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	IX-1

ANEXOS

ANEXO A.	REGISTRO DE EXPLORACIONES Y ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO B.	SECTORIZACIÓN SEGÚN DISEÑO GEOMÉTRICO
ANEXO C.	CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE MATERIALES
ANEXO D.	INFORME DE AJUSTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA IV-1. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL SENTIDO NORTE - SUR....	IV-2
TABLA IV-2. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL SENTIDO SUR - NORTE....	IV-2
TABLA IV-3. MODELOS DE REGRESIÓN	IV-3
TABLA IV-4. PROYECCIONES DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SENTIDO NORTE – SUR	IV-4
TABLA IV-5. PROYECCIÓN DE EJES EQUIVALENTES DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA SENTIDO SUR – NORTE.....	IV-5
TABLA IV-6. RESUMEN TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO CORREDOR DE CARGA ..	IV-6
TABLA IV-7. FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR TIPO DE VEHÍCULO OBTENIDOS A NIVEL NACIONAL EN EL AÑO DE 1996	IV-6
TABLA IV-8. FACTORES DE DAÑO	IV-7
TABLA IV-9. PROYECCIÓN DE EJES EQUIVALENTES DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA SENTIDO NORTE - SUR	IV-8
TABLA IV-10. PROYECCIÓN DE EJES EQUIVALENTES DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA SENTIDO SUR – NORTE.....	IV-9
TABLA IV-11. RANGOS DE TRÁNSITO CONSIDERADOS EN EL MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO DEL INVÍAS	IV-10
TABLA IV-12. EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS DE 8,2 TONELADAS DE DISEÑO	IV-10
TABLA V-1. RESUMEN RESULTADOS CLASIFICACIÓN, LÍMITE Y HUMEDAD	V-5
TABLA V-2. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN CADA ESTRATO V-7	
TABLA V-3. PROPIEDADES DEL SUELO	V-9
TABLA VII-1. TRANSITO PROMEDIO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS	VII-1
TABLA VII-2. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS SEGÚN EL INVÍAS	VII-2
TABLA VII-3. PERIODOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS POR EL INVÍAS.....	VII-2
TABLA VII-4. PERÍODOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL RECOMENDADOS POR EL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS	VII-3
TABLA VII-5. CLASIFICACIÓN DEL TRANSITO	VII-3
TABLA VII-6. RANGOS DE TRANSITO ACUMULADO POR CARRIL DE DISEÑO.....	VII-4
TABLA VII-7. ENTORNOS DE RESISTENCIA.....	VII-5
TABLA VII-8. ESPESORES DE MEJORAMIENTO UTILIZANDO FÓRMULA DE IVANOV PARA OBTENER $CBR \geq 15\%$	VII-6
TABLA VII-9. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA TERRAPLENES Y/O RELLENOS DE MEJORAMIENTO Ó SUELOS CON $CBR \geq 15\%$ ($MR \geq 1500 \text{ KG/CM}^2$).....	VII-12
TABLA VII-10. PARÁMETROS DE DISEÑO EN SECCIONES EN CORTE DONDE SE PRESENTAN SUELOS BLANDOS CONTEMPLANDO RELLENOS DE MEJORAMIENTO HASTA DE 0,40 M PARA OBTENER CBR ENTRE 5% Y 7%.....	VII-12
TABLA VII-11. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE ESPESORES PARA ESTRUCTURA CIMENTADA CON TERRAPLÉN Y/O CORTES O RELLENOS DE MEJORAMIENTO PARA UN CBR EQUIVALENTE DEL 15%.....	VII-13

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

TABLA VII-12. ESTRUCTURA SELECCIONADA CIMENTADA EN TERRAPLÉN Y/O SUELOS DE MEJORAMIENTO Ó SUELOS CON $CBR \geq 15\%$ PARA 20 AÑOS	VII-14
TABLA VII-13. ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ALTERNATIVA 1.....	VII-15
TABLA VII-14. ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ALTERNATIVA 2.....	VII-16
TABLA VII-13. ALTERNATIVA 1 SOBRE SUBRASANTE MEJORADA, UTILIZANDO SUBBASE, BASE GRANULAR Y CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO PARA INCORPORAR EN EL MODELO	VII-20
TABLA VII-14. ALTERNATIVA 2 SOBRE SUBRASANTE MEJORADA, UTILIZANDO SUBBASE GRANULAR, BASE ASFÁLTICA ESTABILIZADA CON EMULSIÓN Y CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO	VII-21
TABLA VII-15. ALTERNATIVA 3 SOBRE SUBRASANTE MEJORADA UTILIZANDO, BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO, BASE GRANULAR Y CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO	VII-21
TABLA VII-16. $CBR \geq 15\%$ ALTERNATIVA 1 BASE Y SUBBASE GRANULAR Y CARPETA CÁLCULO DE MÓDULOS DE CAPAS GRANULARES.....	VII-21
TABLA VII-17. $CBR \geq 15\%$ ALTERNATIVA 2 SUBBASE GRANULAR, BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN Y CARPETA CÁLCULO DE MÓDULOS DE CAPAS GRANULARES	VII-21
TABLA VII-18. RECOMENDACIONES DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SOBRE EL TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA ZONA Y EL TRÁNSITO	VII-24
TABLA VII-19. CALCULO DEL MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA (HOJA DE CÁLCULO)	VII-28
TABLA VII-20. MÓDULOS Y DATOS DE COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA PARA MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	VII-29
TABLA VII-21. MÓDULOS PARA MATERIALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO	VII-29
TABLA VII-22. RELACIONES DE POISSON DE LOS MATERIALES A UTILIZAR	VII-30
TABLA VII-23. DEFORMACIÓN ADMISIBLE CRITERIO SHELL (EZ ADMISIBLE) ...	VII-31
TABLA VII-24. Deformación admisible por compresión (ϵ_z)	VII-31
TABLA VII-25. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FACTOR DE CALAGE	VII-32
TABLA VII-26. ESTRUCTURA A VERIFICAR ALTERNATIVA 1.....	VII-35
TABLA VII-27. ESTRUCTURA A VERIFICAR ALTERNATIVA 2.....	VII-35
TABLA VII-28. ESTRUCTURA A VERIFICAR ALTERNATIVA 3 CAPA ESTABILIZADA CON CEMENTO, BASE GRANULAR Y CONCRETO ASFÁLTICO	VII-35
TABLA VII-29. DATOS DE ENTRADA ALTERNATIVA 1, $CBR \geq 15\%$	VII-36
TABLA VII-30. RESULTADOS VERIFICACIÓN METODOLOGÍA SHELL ALTERNATIVA 1, CAPAS GRANULARES Y CAPAS ASFÁLTICA	VII-36
TABLA VII-31. RESULTADOS PROGRAMA DEPAV ALTERNATIVA 1 $CBR \geq 15\%$..	VII-37
TABLA VII-32. RESULTADOS VERIFICACIÓN METODOLOGÍA SHELL ALTERNATIVA 2.....	VII-37
TABLA VII-33. DATOS DE ENTRADA PROGRAMA DEPAV ALTERNATIVA 2 $CBR \geq 15\%$	VII-38
TABLA VII-34. RESULTADOS PROGRAMA DEPAV ALTERNATIVA 2 $CBR \geq 15\%$..	VII-38
TABLA VII-35. CONTINUACIÓN ALTERNATIVA 2	VII-38
TABLA VII-36. RESULTADOS VERIFICACIÓN METODOLOGÍA SHELL ALTERNATIVA 3.....	VII-39

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

TABLA VII-37. DATOS DE ENTRADA ALTERNATIVA 3 $CBR \geq 15\%$	VII-39
TABLA VII-38. RESULTADOS PROGRAMA DEPAV ALTERNATIVA 3 $CBR \geq 15\%$...	VII-40
TABLA VII-39. CONTINUACIÓN ALTERNATIVA 3.....	VII-40
TABLA VII-40. ESTRUCTURAS OBTENIDAS POR EL MANUAL DEL INVÍAS Y VERIFICADAS POR MÉTODOS RACIONALES ($CBR \geq 15\%$)	VII-41
TABLA VII-41. ESTRUCTURA RECOMENDADA VARIANTE PALMAR DE VARELA ALTERNATIVA 1, SOBRE SUBRASANTE MEJORADA $CBR \geq 15\%$, CON CAPAS GRANULARES Y CONCRETO ASFÁLTICO	VII-42
TABLA VII-42. ESTRUCTURAS RECOMENDADAS VARIANTE PALMAR DE VARELA ALTERNATIVA 2 SOBRE SUBRASANTE MEJORADA CON $CBR \geq 15\%$ UTILIZANDO BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN, CAPAS GRANULARES Y CONCRETO ASFÁLTICO	VII-42
TABLA VII-43. ESTRUCTURAS RECOMENDADAS VARIANTE PALMAR DE VARELA ALTERNATIVA 3, SOBRE SUBRASANTE MEJORADA $CBR \geq 15\%$ UTILIZANDO BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO, CAPAS GRANULARES Y DE CONCRETO ASFÁLTICO	VII-42

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA I-1. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA VARIANTE PALMAR DE VARELA.....	I-3
FIGURA I-2. LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DE LA VARIANTE PALMAR DE VARELA ..	I-3
FIGURA IV-1. PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO.....	IV-3
FIGURA V-1. LIMITES DE CONSISTENCIA.....	V-4
FIGURA V-2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO APROXIMADO DE LOS SUELOS.....	V-6
FIGURA V-3. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CALIFORNIA ALCANZADOS EN TRAYECTO No. 10: VARIANTE DE PALMAR DE VARELA	V-12
FIGURA V-4. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CALIFORNIA ALCANZADOS EN TRAYECTO No. 10: VARIANTE DE PALMAR DE VARELA	V-13
FIGURA V-5. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CALIFORNIA ALCANZADOS EN TRAYECTO No. 10: VARIANTE DE PALMAR DE VARELA	V-14
FIGURA VII-1. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS.....	VII-14
FIGURA VII-2. CARTA RT CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	VII-23
FIGURA VII-3. PROGRAMA BANDS, CÁLCULO DEL STIFFNESS DEL ASFALTO (SHELL)	VII-25
FIGURA VII-4. NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DE MÓDULOS DINÁMICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (BONNAURE Y OTROS)	VII-26
FIGURA VII-5. APLICACIÓN DEL PROGRAMA BANDS CALCULO DEL MÓDULO DINÁMICO	VII-27

CAPITULO I

I. GENERALIDADES

I.1 Introducción

Los proyectos viales a través del sistema de concesión, tienen como propósito principal impulsar la competitividad interna y externa del país, mediante dotación de estructuras viales estratégicamente ubicadas, capaces de atender las demandas presentadas por el desarrollo de las actividades económicas y sociales del país.

Como parte del Programa para el Desarrollo de Concesiones de Autopistas 2006 – 2014, se ha incluido uno de los tramos progresivos proyectados a la concesión consistente en un proyecto encaminado a ejecución de la Doble Calzada de la Variante de Palmar de Varela; la cual incluye el diseño de cinco (5) intersecciones a nivel (Glorietas).

TECNOCONSULTA S.A.S., suscribió con **AUTOPISTAS DEL SOL S.A.** el contrato cuyo objeto es: “ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE LOS ESTUDIOS DEFINITIVOS DE LA DOBLE CALZADA DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA”. En el presente informe se presentarán las características generales de la zona del proyecto, los resultados y análisis de resultados de las exploraciones al subsuelo, ensayos de laboratorio, el análisis de tránsito para diseño de pavimentos, la determinación de parámetros geotécnicos para el diseño de pavimentos y el diseño de estructuras de pavimento.

I.2 Antecedentes

La región costera norte del país, se proyecta como un polo estratégico de desarrollo sobre el Caribe Colombiano. Su excelente ubicación geográfica, atractivos turísticos, recursos naturales y las extraordinarias zonas portuarias, resultan ser fortalezas que proyectan su despegue económico. Hechos como los tratados de libre comercio y el proyecto de la Ruta de las Américas que permitirá conectar por vía terrestre a Panamá con Colombia y Venezuela, se constituyen en extraordinarias oportunidades para potenciar la conectividad del tránsito terrestre automotor de esta zona con el centro del País y cumplir el viejo sueño de unir por medio de una ruta terrestre las tres Américas.

Consciente de esta situación, el Ministerio de Transporte de la República de Colombia, a través del Instituto Nacional de Concesiones (INCO), hoy en día ANI – AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA, en una primera etapa otorgó el Contrato de Concesión vial Ruta Caribe a **LA SOCIEDAD AUTOPISTAS DEL SOL.**, el cual hace

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

parte del Programa para el Desarrollo de Concesiones de Autopistas 2006 – 2014. El alcance de esta primera etapa comprende los siguientes tramos:

- TRAYECTO No. 1: Cartagena – Turbaco – Arjona
- TRAYECTO No. 2: Cartagena – Bayunca
- TRAYECTO No. 3: Palmar de Varela – Malambo
- TRAYECTO No. 4: Sabanalarga – Palmar de Varela
- TRAYECTO No. 5: Bayunca – Sabanalarga
- TRAYECTO No. 6: Arjona – El Viso
- TRAYECTO No. 7: Malambo - Barranquilla

Como tramos progresivos a la Concesión se han proyectado los siguientes:

- Puente Vehicular Gambote
- Ampliación de la Calle 30 en Barranquilla desde el puente Simón Bolívar hasta la entrada al Aeropuerto Ernesto Cortizos
- Segunda calzada y diseño de la rehabilitación del tramo existente de Gambote - Variante – Mamonal (30 km) y de la variante de Cartagena (10 Km)
- Doble Calzada de la variante de Palmar de Varela incluyendo el diseño de cinco (5) intersecciones a nivel (Glorietas).

Dentro de este contexto, en el presente documento se sintetizan los resultados del estudio de geotecnia para el diseño del pavimento para el Proyecto “Estudios y diseños de la doble calzada de la variante de Palmar de Varela, incluyendo el diseño de cinco (5) intersecciones a nivel”.

I.3 Localización del Proyecto

El proyecto se encuentra localizado al norte del país, paralelo a la Carretera Oriental, en el Departamento de Atlántico en zona aledaña a los municipios de Palmar de Varela, Santo Tomás y Sabanagrande, que se ubican en la margen izquierda del Río Magdalena; esta zona geográfica posee recursos pesqueros y es considerada como una despensa agrícola. La vía Oriental mejora la conectividad terrestre de estos municipios con la ciudad de Barranquilla, considerada como uno de los mayores centros de desarrollo regional del Caribe Colombiano. Los cuerpos de agua están representados por las ciénagas: Luisa, Larga, Manatí y Paraíso.

En la FIGURA I-1 se observa la localización del proyecto a nivel nacional y departamental y en la FIGURA I-2 se presenta la localización del tramo en estudio a nivel regional.

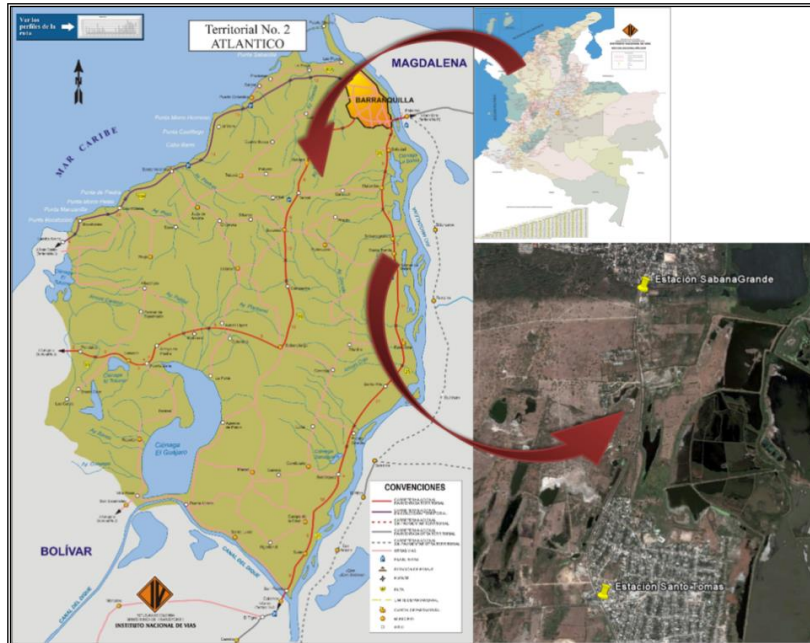
La Variante Palmar de Varela – Sabanagrande comienza en el K18+800 del Proyecto de la Segunda Calzada Sabanalarga – Palmar de Varela en el Departamento del Atlántico, avanza en dirección Sur – Norte definiéndose el límite del proyecto a la salida del

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

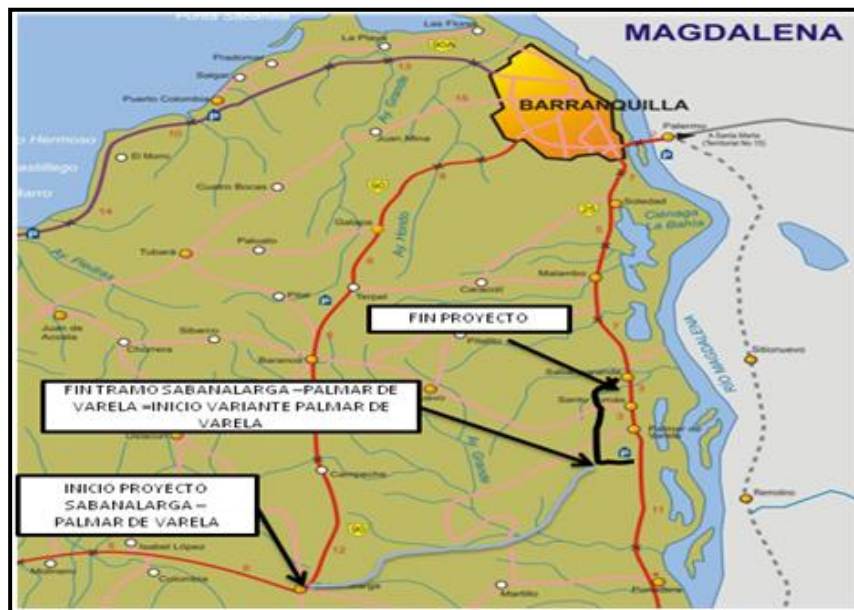
municipio de Sabanagrande, en el PR64+500 de la vía Oriental, aproximadamente a 300 metros al sur del peaje existente.

FIGURA I-1. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA VARIANTE PALMAR DE VARELA



Fuente: www.invias.gov.co

FIGURA I-2. LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DE LA VARIANTE PALMAR DE VARELA



TC-2082-135
Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

CAPITULO II

II. OBJETIVOS

II.1 Objetivo General

Determinar una estructura de pavimento balanceada que garantice el adecuado comportamiento bajo las diferentes condiciones previstas para el proyecto en el período de diseño analizando, aplicando los más altos estándares y durabilidad y los requerimientos establecidos para el corredor vial. Lo anterior, fundamentado principalmente por la influencia del medio geotécnico sobre el cual se cimentarán cada una de las capas de la estructura del pavimento.

II.2 Objetivos Específicos

- Efectuar toma de muestras, por medio de apiques manuales a lo largo del corredor vial VARIANTE DE PALMAR DE VARELA (K18+736 -K28+328).
- Caracterizar físicamente los materiales extraídos de cada uno de los estratos hallados en la exploración del suelo y determinar los parámetros geotécnicos básicos para el diseño de la alternativa de intervención.
- Determinar las condiciones y comportamiento del terreno con base en la exploración geotécnica realizada.
- Calcular los espesores de las diferentes capas estructurales a construir, empleando distintas metodologías de diseño en términos del tipo de pavimento según lo establecen los requerimientos del contrato.
- Describir las características físicas y mecánicas de los materiales requeridos para el proyecto.
- Evaluar los factores y las observaciones planteadas en las demás áreas que afectan el desarrollo del proyecto.
- Analizar todas las componentes del proyecto que permitan obtener, en condiciones óptimas, las estructuras del pavimento durante su tiempo de servicio.
- Diseñar la estructura del pavimento para cada tramo homogéneo, determinando las dimensiones de cada capa que la conforma.
- Presentar diferentes alternativas de diseño de la estructura de pavimento.
- Indicar las recomendaciones para la construcción de las alternativas planteadas.

CAPITULO III

III. ALCANCE Y METODOLOGÍA

III.1 Alcance del Proyecto

El alcance del proyecto, de forma general, comprende la revisión y análisis de documentos e información existente, la investigación del subsuelo, la caracterización geotécnica del corredor y los análisis correspondientes para el dimensionamiento de la estructura del pavimento; y recomendaciones para el proceso constructivo conforme lo establece el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medianos y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS.

La variante en estudio corresponde a un corredor que desviará el tránsito que actualmente circula por la vía que comunica a Malambo con Ponedera y se desarrolla sobre una topografía ondulada en su mayoría. El tipo de sección transversal predominante corresponde a terraplén; sin embargo, también se presentan sectores con sección en corte, aunque en menor proporción.

Para el respectivo diseño de la estructura del pavimento se tomarán como referencia los criterios y metodologías planteadas en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS; basado principalmente en el Método AASHTO y las respectivas verificaciones se realizarán por el método SHELL.

En general, el alcance de las investigaciones cubrirá la totalidad de los aspectos solicitados en los Términos de Referencia correspondientes al diseño de la estructura del pavimento del corredor proyectado.

III.2 Metodología General

La metodología utilizada en el desarrollo técnico del presente informe se presenta a continuación:

- Inspección de campo a nivel preliminar, para determinar las características generales del corredor proyectado.
- Revisión de la información existente para la zona del proyecto, considerando los aspectos más relevantes, información climatológica, aspectos culturales y económicos, entre otros, que sirven como apoyo para determinar las condiciones generales a las cuales estará sometido el corredor en estudio.

- Análisis de tránsito, sectorización y determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas previsto para los periodos de diseño a analizar.
- Análisis de la Investigación de campo - apiques, ensayos in situ y laboratorio
- Procesamiento y análisis de la información geotécnica para identificar las condiciones y comportamiento del terreno sobre el cual se cimentará la estructura del pavimento.
- Definición de sectores homogéneos a partir de la estratigrafía encontrada en el corredor, estableciendo las características geomecánicas de la plataforma, sobre la cual se cimentará la estructura del pavimento.
- Selección del CBR de diseño, basados en las diferentes sectorizaciones realizadas según el clima, tránsito y geotecnia.
- Determinación de las variables de entrada empleadas en el dimensionamiento del pavimento.
- Diseño de alternativas de estructura de pavimento
- Conclusiones del estudio y recomendaciones generales a seguir para la construcción de la estructura de pavimento.

CAPITULO IV

IV. PRONÓSTICO DE TRÁNSITO Y CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN EL PERÍODO DE DISEÑO

El tránsito es uno de los parámetros de diseño fundamentales y aunque se pueden permitir ciertas imprecisiones en la determinación de esta variable, siempre será necesario conocerla para poder determinar los espesores de las capas que constituirán el pavimento.

Como parte del procesamiento de los datos relacionados con el tránsito, es necesario distinguir aspectos como el tránsito promedio diario, clasificación de vehículos, factores de equivalencia de carga para cada tipo de vehículo, distribución direccional, distribución por carril y la proyección de las variables en la vida de diseño.

A continuación se describen las fuentes de información y el procesamiento tomado como base para realizar la cuantificación del número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas que circularán por el carril de diseño durante un determinado periodo de diseño, que para el caso particular deberá ser contemplado para 3, 5, 7, 10 y 15 años, según la categoría de la vía.

Para realizar el pronóstico del número de ejes equivalentes acumulados en el periodo de diseño se realizará una expansión del número de ejes equivalentes en el año base, mediante formulación; para lo cual se requiere conocer el tránsito promedio diario, el porcentaje de vehículos comerciales, el factor de equivalencia de carga global para el año de inicial del proyecto únicamente y la definición de la tasa de crecimiento; esta información será extractada del Volumen I: “Estudio de tránsito, capacidad y niveles de servicio”, teniendo en cuenta la actualización realizada en su Versión 2, debido a que se toma como año base para el diseño el año 2012; igualmente se deben tener en cuenta los análisis y recomendaciones realizadas, para luego realizar las respectivas proyecciones.

IV.1 Estimación del número de ejes equivalentes

Con el objeto de estimar el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas acumulado durante el periodo de servicio, se debe obtener inicialmente el tránsito equivalente al año base, que corresponde al año de habilitación de la vía al tránsito, previa corrección por el tránsito durante la construcción y el crecimiento propio desde el momento del diseño hasta el momento de la habilitación.

Los valores se calculan de acuerdo con los resultados del análisis de la serie histórica y de los conteos ejecutados; los cuales se estudian en el Volumen I - Estudio de Tránsito, Capacidad y Niveles de Servicio. Aunque la serie histórica del INVIAS resulta representativa para la proyección de tránsito de diseño y proporciona un orden de magnitud de los volúmenes vehiculares que circulan sobre el corredor, se ha determinado que los análisis efectuados en el estudio de tránsito (volumen I) y basados en los conteos

realizados, simulan de una mejor manera las condiciones del proyecto; por lo tanto, se han tomado como base para realizar las proyecciones el tráfico que transita por el tramo que hace parte de la Variante Palmar de Varela, permitiendo de esta manera la optimización de recursos, al adoptar valores reales y actuales de los vehículos que circulan en el corredor.

En razón a que en el análisis realizado al corredor, no se presentan cambios en el nivel de demanda; se asume que las condiciones de operación a lo largo del sector evaluado no presentan variaciones en la distribución de las solicitudes de tránsito; por lo cual se analiza un solo sector.

Los datos base para realizar las proyecciones son los presentados en el numeral V.1 del Estudio de Tránsito denominado “Asignación de Tránsito Promedio Diario”.

TABLA IV-1. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL SENTIDO NORTE - SUR

AÑO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-4	C5	C6	TOTAL MIXTOS
2012	1581	704	274	624	123	99	132	3537

TABLA IV-2. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL SENTIDO SUR - NORTE

AÑO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-4	C5	C6	TOTAL MIXTOS
2012	1018	826	229	500	119	68	128	2888

Para la estimación del tráfico de diseño se asumieron periodos de diseño de 3, 5, 7, 10 y 15 y 20 años, partiendo del año de inicio de la construcción por parte de la Concesión, que se consideró el año 2012. Se tomaron los volúmenes de tráfico de los respectivos años de proyección, los que se multiplicaron por el factor daño para cada tipo de vehículo y así se obtuvo un tráfico total de diseño.

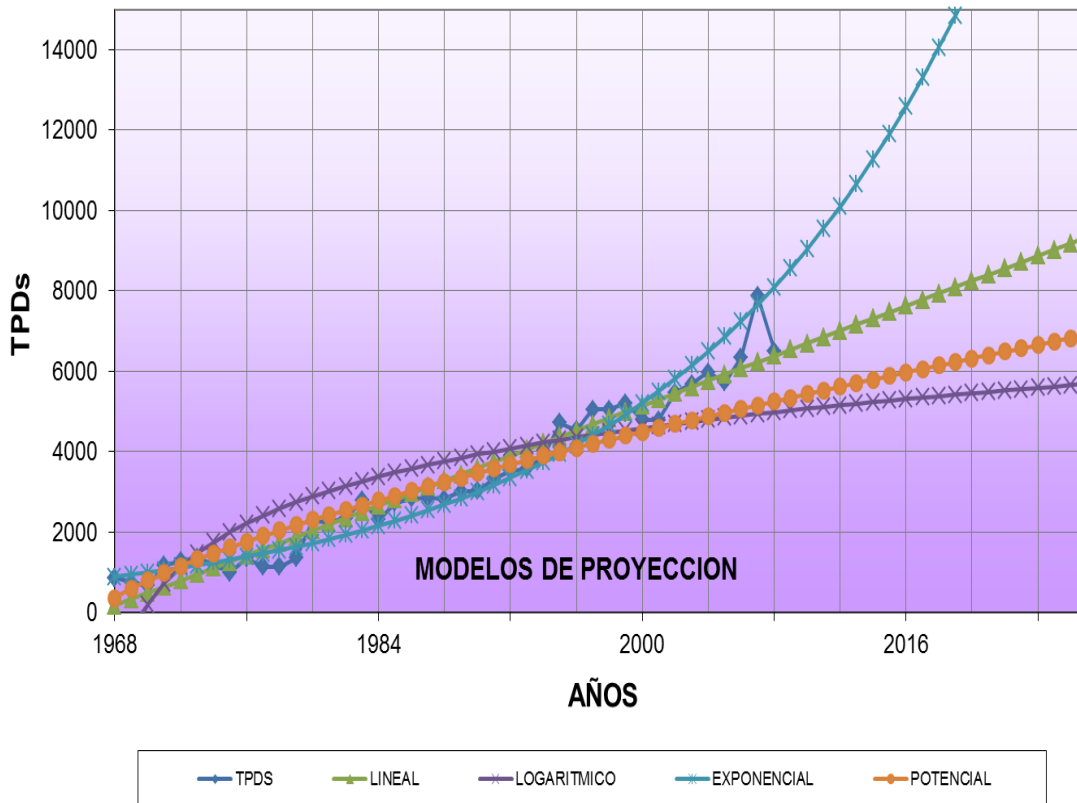
Como resultado del análisis de la serie histórica de TPDS y mediante el ajuste por el método de los mínimos cuadrados, además de tener en cuenta los análisis realizados para el tramo TRAYECTO No. 10: VARIANTE DE PALMAR DE VARELA, se obtienen los siguientes modelos de crecimiento.

TABLA IV-3. MODELOS DE REGRESIÓN

INDICADORES DE LOS MODELOS	LINEAL $Y=A+B*X$	LOGARITMICO $Y=A+B*LN(X)$	EXPONENCIAL $Y=A*e^{(B*X)}$	POTENCIAL $Y=A*X^B$
TASA DE CRECIMIENTO %	2,06	0,84	5,70	1,80
CONSTANTE A	-118,752	-3374,455	806,159	204,411
CONSTANTE B	152,128	2262,255	0,055	0,888
COEFICIENTE DE CORRELACION R^2	0,970	0,810	0,958	0,931

Las distintas proyecciones permiten obtener la FIGURA IV-1 donde es evidente que el crecimiento tiene un comportamiento gráfico entre lineal y exponencial, a pesar de que los resultados presentan un mejor ajuste para el modelo potencial (Tasa de Crecimiento 1.80%).

FIGURA IV-1. PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO



IV.1.1 Tránsito Promedio Diario Proyectado

La proyección de tránsito promedio diario se establece considerando el crecimiento anual según la regresión recomendada para la Variante Palmar de Varela, que se estableció a partir del análisis del modelo potencial que es el más aproximado al considerado como factor definitivo de crecimiento según lo establecido en el estudio elaborado para la concesión en el año 2008, el cual determino una tasa de crecimiento del 1,87%.

Teniendo en cuenta el Volumen I, numeral V.2 “Proyecciones de Tránsito de los conteos realizados”, se realizaron las proyecciones del tránsito desde el año cero (2012) hasta el año veinte (2033); las cuales serán la base para el cálculo de ejes equivalentes de 8.2 ton y que se muestran en las TABLAS IV-4 y IV-5.

TABLA IV-4. PROYECCIONES DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SENTIDO NORTE – SUR

AÑO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-4	C5	C6	TOTAL MIXTOS
2.010	1.524	678	264	602	119	95	128	3.410
2.011	1.552	691	269	613	121	97	130	3.473
2.012	1.581	704	274	624	123	99	132	3.537
2.013	1.611	717	279	636	125	101	134	3.603
2.014	1.641	730	284	648	127	103	137	3.670
2.015	1.672	744	289	660	129	105	140	3.739
2.016	1.703	758	294	672	131	107	143	3.808
2.017	1.735	772	299	685	133	109	146	3.879
2.018	1.767	786	305	698	135	111	149	3.951
2.019	1.800	801	311	711	138	113	152	4.026
2.020	1.834	816	317	724	141	115	155	4.102
2.021	1.868	831	323	738	144	117	158	4.179
2.022	1.903	847	329	752	147	119	161	4.258
2.023	1.939	863	335	766	150	121	164	4.338
2.024	1.975	879	341	780	153	123	167	4.418
2.025	2.012	895	347	795	156	125	170	4.500
2.026	2.050	912	353	810	159	127	173	4.584
2.027	2.088	929	360	825	162	129	176	4.669
2.028	2.127	946	367	840	165	131	179	4.755
2.029	2.167	964	374	856	168	133	182	4.844
2.030	2.208	982	381	872	171	135	185	4.934
2.031	2.249	1.000	388	888	174	138	188	5.025
2.032	2.291	1.019	395	905	177	141	192	5.120

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

TABLA IV-5. PROYECCIÓN DE EJES EQUIVALENTES DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA SENTIDO SUR – NORTE

AÑO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-4	C5	C6	TOTAL MIXTOS
2.010	981	796	221	482	115	66	124	2.785
2.011	999	811	225	491	117	67	126	2.836
2.012	1.018	826	229	500	119	68	128	2.888
2.013	1.037	841	233	509	121	69	130	2.940
2.014	1.056	857	237	519	123	70	132	2.994
2.015	1.076	873	241	529	125	71	134	3.049
2.016	1.096	889	246	539	127	72	137	3.106
2.017	1.116	906	251	549	129	73	140	3.164
2.018	1.137	923	256	559	131	74	143	3.223
2.019	1.158	940	261	569	133	75	146	3.282
2.020	1.180	958	266	580	135	76	149	3.344
2.021	1.202	976	271	591	138	77	152	3.407
2.022	1.224	994	276	602	141	78	155	3.470
2.023	1.247	1.013	281	613	144	79	158	3.535
2.024	1.270	1.032	286	624	147	80	161	3.600
2.025	1.294	1.051	291	636	150	81	164	3.667
2.026	1.318	1.071	296	648	153	83	167	3.736
2.027	1.343	1.091	302	660	156	85	170	3.807
2.028	1.368	1.111	308	672	159	87	173	3.878
2.029	1.394	1.132	314	685	162	89	176	3.952
2.030	1.420	1.153	320	698	165	91	179	4.026
2.031	1.447	1.175	326	711	168	93	182	4.102
2.032	1.474	1.197	332	724	171	95	185	4.178

FUENTE. Volumen I - Informe final de Transito Capacidad y Nivel de servicio, noviembre de 2010, Tabla V-2 Proyecciones de Transito Promedio Diario de la Variante Palmar de Varela, sentido Norte - Sur

En la TABLA IV-6, se presenta el resumen del Transito promedio diario en cada sentido, obtenido de las TABLAS IV-4 y IV-5.

TABLA IV-6. RESUMEN TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO CORREDOR DE CARGA

SECTOR	TPD						
	Año 0	Año 3	Año 5	Año 7	Año 10	Año 15	Año 20
	2012	2015	2017	2019	2022	2027	2032
Sentido Norte -Sur	3537	3739	3879	4026	4258	4669	5120
Sentido Sur- Norte	2888	3049	3164	3282	3470	3807	4178

Fuente: Elaboración propia

IV.1.2 Factores de equivalencia de carga

Este factor se debe evaluar para cada tipo de vehículo comercial y representa el menor ó mayor daño que ocasiona dicho vehículo analizado al pavimento. Este factor también se denomina factor daño.

Para la actualización del estudio se emplearon los factores de equivalencia de carga del Manual de Diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías, el cual tiene vigencia en el Territorio Nacional y con los cuales fue actualizado el Estudio de Tránsito, los cuales se describen en la TABLA IV-7.

TABLA IV-7. FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR TIPO DE VEHÍCULO OBTENIDOS A NIVEL NACIONAL EN EL AÑO DE 1996

TIPO DE VEHÍCULO		FACTOR DE EQUIVALENCIA
BUS		1.00
C2P		1.14
C2G		3.44
C3 Y C4	 C2S1	3.37
	 C2S2	3.42
	 C3	3.76
	 C3S1	2.22
	 C4	6.73
C5	 C3S2	4.40
>C5	 C5	4.72

Fuente: INVÍAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos para medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá D.C. 1998. p.14.

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

De acuerdo con lo anterior, los factores de equivalencia de carga utilizados para el desarrollo del estudio, se consignan en la TABLA IV-8

TABLA IV-8. FACTORES DE DAÑO

BUSES	C2P	C2G	C3-4	C5	C6
1,00	1,14	3,44	3,76	4,40	4,72

FUENTE. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. INVIAS 1996. Tabla 3.5 “Factores de equivalencia de carga por vehículo obtenidos a nivel nacional en 1996”

IV.1.3 Distribución Direccional y por Carril

Es la distribución porcentual de los vehículos pesados de acuerdo a las características particulares de las condiciones de tránsito en la vía en estudio. Si bien es cierto, la tendencia es siempre adoptar una distribución del 50% en cada dirección (generalmente asumida por mitades) cuando no se presentan descripciones detalladas en campo; sin embargo, el método que se ajusta a las condiciones reales a evaluar en el corredor en estudio, es mediante la observación, en razón a que en algunos de los corredores viales la distribución de los vehículos pesados se da en un solo sentido debido a que los vehículos van cargados en un sentido, mientras que regresan descargados en el otro.

Para la vía en estudio, por ser una doble calzada, se contempla el Factor Direccional y por Carril de 0.70, como resultado del trabajo de campo realizado, debido a que de manera simultánea en la realización de los aforos vehiculares, se evaluaron las condiciones para la distribución direccional, por lo que se aplica el concepto de que la calzada tiene dos carriles en el mismo sentido, de los cuales los vehículos pesados en un 70% se desplazan por el carril derecho y en un 30% los vehículos utilizan el carril izquierdo.

IV.1.4 Nivel de Confianza

Es la confiabilidad proporcionada para la variable tránsito. Para el caso se estima el 90%.

IV.2 Proyección de ejes equivalentes para el período de diseño (NESE)

Para efectos de la proyección del tránsito y su actualización a veinte (20) años se utilizó la misma tendencia de crecimiento analizada en el Volumen I - ESTUDIO DE TRÁNSITO CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO, considerando su validez a partir de conteos realizados y su confrontación con las estaciones de conteo del INVÍAS y en donde se encontró el modelo potencial como el mejor ajuste de los datos.

En las TABLAS IV-9 y IV-10, se presentan las proyecciones de ejes equivalentes para los 20 años:

TABLA IV-9. PROYECCIÓN DE EJES EQUIVALENTES DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA SENTIDO NORTE - SUR

AÑO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-4	C5	C6	TOTAL MIXTOS	EJES ACUMUL
2.012	1.581	704	274	624	123	99	132	3.537	1,20E+06
2.013	1.611	717	279	636	125	101	134	3.603	2,42E+06
2.014	1.641	730	284	648	127	103	137	3.670	3,66E+06
2.015	1.672	744	289	660	129	105	140	3.739	4,92E+06
2.016	1.703	758	294	672	131	107	143	3.808	6,21E+06
2.017	1.735	772	299	685	133	109	146	3.879	7,53E+06
2.018	1.767	786	305	698	135	111	149	3.951	8,86E+06
2.019	1.800	801	311	711	138	113	152	4.026	1,02E+07
2.020	1.834	816	317	724	141	115	155	4.102	1,16E+07
2.021	1.868	831	323	738	144	117	158	4.179	1,30E+07
2.022	1.903	847	329	752	147	119	161	4.258	1,45E+07
2.023	1.939	863	335	766	150	121	164	4.338	1,59E+07
2.024	1.975	879	341	780	153	123	167	4.418	1,74E+07
2.025	2.012	895	347	795	156	125	170	4.500	1,90E+07
2.026	2.050	912	353	810	159	127	173	4.584	2,05E+07
2.027	2.088	929	360	825	162	129	176	4.669	2,21E+07
2.028	2.127	946	367	840	165	131	179	4.755	2,37E+07
2.029	2.167	964	374	856	168	133	182	4.844	2,53E+07
2.030	2.208	982	381	872	171	135	185	4.934	2,70E+07
2.031	2.249	1.000	388	888	174	138	188	5.025	2,87E+07
2.032	2.291	1.019	395	905	177	141	192	5.120	3,04E+07

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

TABLA IV-10. PROYECCIÓN DE EJES EQUIVALENTES DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA SENTIDO SUR – NORTE

AÑO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-4	C5	C6	TOTAL MIXTOS	EJES ACUMUL
2.012	1.018	826	229	500	119	68	128	2.888	1,06E+06
2.013	1.037	841	233	509	121	69	130	2.940	2,14E+06
2.014	1.056	857	237	519	123	70	132	2.994	3,24E+06
2.015	1.076	873	241	529	125	71	134	3.049	4,36E+06
2.016	1.096	889	246	539	127	72	137	3.106	5,50E+06
2.017	1.116	906	251	549	129	73	140	3.164	6,67E+06
2.018	1.137	923	256	559	131	74	143	3.223	7,85E+06
2.019	1.158	940	261	569	133	75	146	3.282	9,05E+06
2.020	1.180	958	266	580	135	76	149	3.344	1,03E+07
2.021	1.202	976	271	591	138	77	152	3.407	1,15E+07
2.022	1.224	994	276	602	141	78	155	3.470	1,28E+07
2.023	1.247	1.013	281	613	144	79	158	3.535	1,41E+07
2.024	1.270	1.032	286	624	147	80	161	3.600	1,54E+07
2.025	1.294	1.051	291	636	150	81	164	3.667	1,68E+07
2.026	1.318	1.071	296	648	153	83	167	3.736	1,81E+07
2.027	1.343	1.091	302	660	156	85	170	3.807	1,95E+07
2.028	1.368	1.111	308	672	159	87	173	3.878	2,10E+07
2.029	1.394	1.132	314	685	162	89	176	3.952	2,24E+07
2.030	1.420	1.153	320	698	165	91	179	4.026	2,39E+07
2.031	1.447	1.175	326	711	168	93	182	4.102	2,54E+07
2.032	1.474	1.197	332	724	171	95	185	4.178	2,69E+07

IV.3 Categoría de Tránsito

Como para la actualización se utiliza igualmente el Manual de Diseño de Pavimentos Flexibles para Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, del Instituto Nacional de Vías, el tránsito obtenido se clasificará según su valor en los rangos allí establecidos, según Tabla 3.6, página 18, representada en la TABLA IV-12 a continuación.

TABLA IV-11. RANGOS DE TRÁNSITO CONSIDERADOS EN EL MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO DEL INVÍAS

DESIGNACIÓN	RANGOS DE TRÁNSITO ACUMULADO POR CARRIL DE DISEÑO
T1	0,5 – 1,0 x 10 ⁶
T2	1,0 – 2,0 x 10 ⁶
T3	2,0 – 4,0 x 10 ⁶
T4	4,0 – 6,0 x 10 ⁶
T5	6,0 – 10,0 x 10 ⁶
T6	10,0 – 15,0 x 10 ⁶
T7	15,0 – 20,0 x 10 ⁶
T8	20,0 – 30,0 x 10 ⁶
T9	30,0 – 40,0x 10 ⁶

Fuente: INVÍAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos para medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá D.C. 1998. Tabla 3.6 p.18.

IV.4 Tránsito de Diseño

Para el diseño se adoptará el valor acumulado resultante de las proyecciones durante el período de diseño, correspondiente al carril que presente el valor mayor y/o condiciones más críticas en términos de ejes equivalentes de 8,2 toneladas. En este caso el valor más crítico se encuentra en el sentido Norte – Sur, según se detalla en la TABLA IV-13.

TABLA IV-12. EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS DE 8,2 TONELADAS DE DISEÑO

SECTOR	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON ACUMULADOS						
	Año 0	Año 3	Año 5	Año 7	Año 10	Año 15	Año 20
	2012	2015	2017	2019	2022	2027	2032
Sentido Norte – Sur NESE	1,06E+06	4,92E+06	7,53E+06	1,02E+07	1,45E+07	2,21E+07	3,04E+07
Categoría Tránsito Manual INVÍAS	T 2	T 4	T 5	T 6	T 6	T 8	T 9

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

CAPITULO V

V. IDENTIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL CORREDOR

El presente capítulo contiene la caracterización de los suelos sobre los cuales se proyectará la variante. Como parte del estudio geotécnico se realizaron investigaciones de campo y ensayos de laboratorio, junto con los análisis correspondientes, necesarios para obtener los parámetros geotécnicos que sirvieran de base para el diseño.

El estudio inicia con el reconocimiento superficial del alineamiento horizontal del corredor de la vía, durante el cual se establecen los sitios en donde se evidencian niveles de agua críticos y los posibles cortes y terraplenes a ejecutar.

Se realizaron 11 perforaciones; 10 a una profundidad de 5,0 metros y 1 con profundidad de 10 metros, de las cuales se extrajeron muestras suficientes para realizar los ensayos según lo requerido por el área de geotecnia para determinar las características del corredor, incluyendo pruebas de permeabilidad. Todas las pruebas realizadas se efectuaron siguiendo los procedimientos de ensayo descritos en las normas adoptadas por el Instituto Nacional de Vías.

Sobre las muestras recuperadas se realizó el registro estratigráfico visual identificando los niveles de agua encontrados, humedades, peso específico, análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Con el fin de establecer parámetros geotécnicos que caractericen los suelos encontrados a lo largo del alineamiento del proyecto.

V.1 Resultado del estudio geotécnico

Las fuerzas hidrodinámicas producidas por el flujo ascendente de agua, pueden vencer el peso de las partículas de suelo provocando efectos de boyancia que hacen que el suelo pierda casi o totalmente su capacidad de carga, con los consiguientes efectos para la obra vial; este problema puede adquirir una gran importancia debido a la altura significativa que presentan los terraplenes; por tanto, la solución al caso consiste en cortar el flujo o en reducir el gradiente a niveles convenientes. Otro efecto que puede producir el flujo de agua en el terreno de cimentación es la tubificación, generada cuando el agua se infiltra a través del suelo de cimentación con un gradiente hidráulico superior al crítico, de manera que haya arrastre de partículas, afectando los terraplenes y que por tanto es un factor a considerar en su estabilidad y más aún es más frecuente cuando la estratificación está conformada por mantos permeables, susceptibles de acelerar el fenómeno.

Otro fenómeno que puede producir fallas graves, debido a la magnitud de la masa de suelo que se pone en juego es la licuación, en suelos tales como arenas saturadas relativamente sueltas es posible que una sollicitación dinámica rápida, como la que puede presentarse por un sismo; se delimita el contacto entre granos de la arena, disminuyendo su resistencia al esfuerzo cortante hasta valores nulos y muy próximos a cero y en estas

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

condiciones la masa de arena se comporta como un líquido, fluyendo bajo la acción de las cargas.

Los suelos de compresibilidad relativamente baja como es el caso del CL, no plantean problemas especiales a la superestructura vial; los pequeños asentamientos que puedan llegar a producirse son absorbidos fácilmente por la flexibilidad propia de dicha estructura y la carga del terreno suele ser suficiente para soportar a los terraplenes que hayan de ser construidos.

En razón a lo anterior y como resultado de los análisis realizados en el Volumen IV. “Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes”, se estableció que debido a las características del material encontrado y las condiciones hidráulicas predominantes, se requiere una interface entre el material de subrasante encontrado y el material de terraplén (relleno) que deberá colocarse para alejar el agua de éste y del material que conforma las capas de la estructura del pavimento. Para el caso en que se requieren cortes en el terreno, de igual manera se deberá separar el material existente de la subrasante natural, del mejoramiento (con material de terraplén) que es necesario colocar para cimentar la estructura del pavimento. El material que conformará la interface deberá poseer características tales que, bajo las condiciones más críticas del sector permita eliminar los efectos generados por el agua en el suelo que conforma la subrasante natural.

La altura del material de la interface es de 0.30 metros; debido a las condiciones de compacidad del suelo de fundación, la cual se encuentra entre suelta y medianamente densa. El material de interface funciona entonces como una plataforma de trabajo y se coloca encapsulado en el geotextil TR3000; sobre la cual se cimentará el suelo de terraplén y sobre éste se colocarán las diferentes capas que conformarán la estructura. Se debe colocar en los siguientes tramos:

Eje Derecho: K18+930 al K20+180
K20+290 al K21+000
K21+580 al K22+120
K22+380 al K23+470
K23+800 al K27+200

Eje Izquierdo: K18+930 al K20+060
K20+220 al K20+930
K21+270 al K21+440
K21+510 al K22+090
K22+380 al K27+200

No es necesario caracterizar detalladamente para efectos de diseño del pavimento, el material que conforma el suelo predominante en el corredor; sino los materiales con los

cuales se conformará el terraplén, que para nuestro caso será nuestra plataforma de apoyo y las capas con las cuales se conformará la estructura del pavimento.

A lo largo del corredor y como consecuencia de las condiciones climáticas y del terreno, se presentaron sitios en los cuales se afectaron significativamente las propiedades del suelo generando dificultades para la ejecución de las exploraciones y respectiva toma de muestras. El cuadro V-1 evidencia mediante un registro fotográfico las condiciones predominantes en la región durante los últimos meses.

En el ANEXO A se presentan los registros de la toma de muestras realizada y los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados a lo largo de la vía en estudio.

V.1.1 Clasificación, Humedad y Plasticidad

A las muestras extraídas de las perforaciones, se le realizó el proceso para la clasificación del suelo en el laboratorio. Basados en éstos resultados, se ha determinado que los suelos predominantes en el corredor en estudio presentan variaciones mínimas en cuanto a su comportamiento; en su mayor parte los suelos corresponden a arenas limosas de compresibilidad y expansión ligera, detectándose en algunos sitios presencia de fracción fina en una mínima proporción con una compresibilidad y expansión media, con características impermeables y que no drena.

En la TABLA V-1 se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados a las muestras extraídas en cada una de las perforaciones.

Como puede apreciarse, el contenido de humedad de la Subrasante varía entre 6.5 % y 17%.

Es importante observar que el sector en el cual se presentaron los mayores valores en humedad (% w), se encuentra afectado por la presencia de nivel freático bajo el terreno a una profundidad superficial de 0.4, 0.5 y 0.7 metros.

De las 11 perforaciones realizadas para identificar el suelo que conforma el corredor, sólo en cinco (5) de ellas; aunque no en todos los estratos encontrados, se presentaron valores de límites de consistencia superiores a NP; los cuales se evidencian en la FIGURA IV-1. Las demás muestras extraídas de las perforaciones no presentan límite líquido ni límite plástico.

FIGURA V-1. LIMITES DE CONSISTENCIA

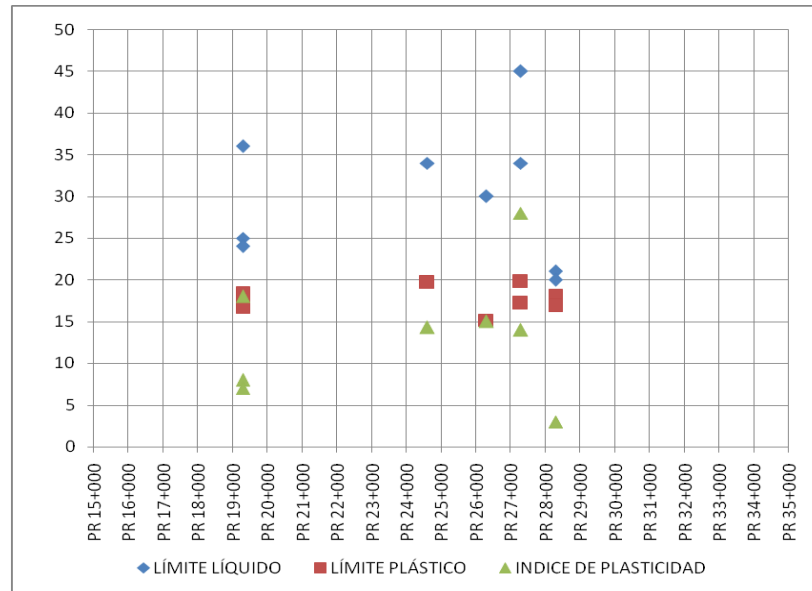


TABLA V-1. RESUMEN RESULTADOS CLASIFICACIÓN, LÍMITE Y HUMEDAD

PERFORACION	CAPA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN		LL	LP	IP	IG	w	PESO ESPECÍFICO	3/8"	No. 4	No. 10	No.40	No.200	PROF - NF
			USC	AASHTO												
1	2	0,20-1,0	SM	A-4	21	18	3	0	15,7	2,653		100	100	83,8	46,2	0,5
1	2	1,0-1,45	SM	A-4	20	16,9	3	0	14,9	2,668		100	100	81	42,8	
1	3	3,9-4,35	SM	A-1-b	NLL	NLP	NP	0	10,8	2,626		100	100	46	42,3	
1	3	4,35-4,8	SM	A-1-b	NLL	NLP	NP	0	10,2	2,617		100	100	48,1	12,5	
2	2	0,10-0,70	CL	A-7-6	45	17,2	28	17	19	2,707		100	100	84,8	69,2	1,3
2	3	0,80-1,25	SC	A-6	34	19,8	14	1	11	2,675		100	100	67,4	37,3	
2	4	3,70-4,15	SC	A-6	NLL	NLP	NP	0	9,4	2,62		100	100	76,2	25,7	
3	2	0,20-1,0	CL	A-6	30	15,2	15	6	16	2,73		100	100	95,1	58,3	1,7
3	3	2,45-2,90	SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	10,7	2,66		100	100	78,7	14,8	
3	4	4,80-5,25	SW-SM	A-3	NLL	NLP	NP	0	10	2,673		100	100	63,5	7,6	
4	2	0,20-1,0	SW-SM	A-1-b	NLL	NLP	NP	0	9,8	2,64		100	100	44,8	11,9	1,7
4	2-3	1,0-1,45	SW-SM	A-1-b	NLL	NLP	NP	0	8,6	2,639		100	100	44,3	7,7	
4	3	3,90-4,35	SW-SM	A-1-b	NLL	NLP	NP	0	6,9	2,65		100	100	48,7	9,4	
5	2	0,20-0,80	SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	11	2,624		100	100	59,6	25,7	0,4
5	3	0,80-1,25	SC	A-2-6	34	19,7	14	0	12,5	2,632		100	100	51,9	32,4	
5	4	3,70-4,15	SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	11,9	2,626		100	100	60,1	23	
5	4	6,60-7,05	SW-SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	11,5	2,65		100	100	50,6	10,9	
5	4	8,05-8,50	SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	11	2,645		100	100	56,7	26,8	
6	2	0,80-1,25	SW-SM	A-1-b	NLL	NLP	NP	0	9	2,668		100	100	44,7	6,8	-
6	3	2,25-2,70	SW-SM	A-3	NLL	NLP	NP	0	6,5	2,678		100	100	50,3	8,9	
6	4	4,80-5,25	SW-SM	A-3	NLL	NLP	NP	0	6,9	2,674		100	100	50,9	9,4	
7	3	0,80-1,25	SW-SM	A-3	NLL	NLP	NP	0	11,4	2,671		100	100	63,2	6,5	-
7	3	3,70-4,15	SW-SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	9,6	2,649		100	100	74,6	11,9	
7	3	4,80-5,25	SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	8,9	2,655		100	100	69,1	16,9	
8	2	0,70-1,15	SW-SM	A-1-b	NLL	NLP	NP	0	8,5	2,635		100	100	45,5	7,5	-
8	3	2,15-2,60	SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	6,2	2,638		100	100	54	13,9	
8	3	4,60-5,05	SW-SM	A-1-b	NLL	NLP	NP	0	6,1	2,658		100	100	49,8	5,8	
9	2	0,80-1,25	SW-SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	8,3	2,647		100	100	55,1	8,3	-
9	3	2,25-2,70	SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	7,9	2,662		100	100	61,6	12,5	
9	4	4,75-5,20	SM	A-3	NLL	NLP	NP	0	8,1	2,664		100	100	67,6	7,3	
10	2	0,60-1,05	SW-SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	9,1	2,654		100	100	50,9	9,1	-
10	3	3,50-3,95	SM	A-2-4	NLL	NLP	NP	0	8	2,687		100	100	70,7	12,6	
10	3	4,60-5,05	SW-SM	A-3	NLL	NLP	NP	0	7,6	2,68		100	100	60	8,1	
11	2	0,50-1,20	SC	A-4	25	17,2	8	0	14,6	2,682		100	100	86,6	44	0,7
11	3	1,20-1,65	SW-SC	A-4	24	16,7	7	0			100	99,2	99,1	82,8	45,6	
11	3	2,65-3,10							14,4	2,679						
11	3	4,20-4,65	CL	A-6	36	18,5	18	9	17	2,726	100	99,7	98,8	89	64,7	

TC-2082-135

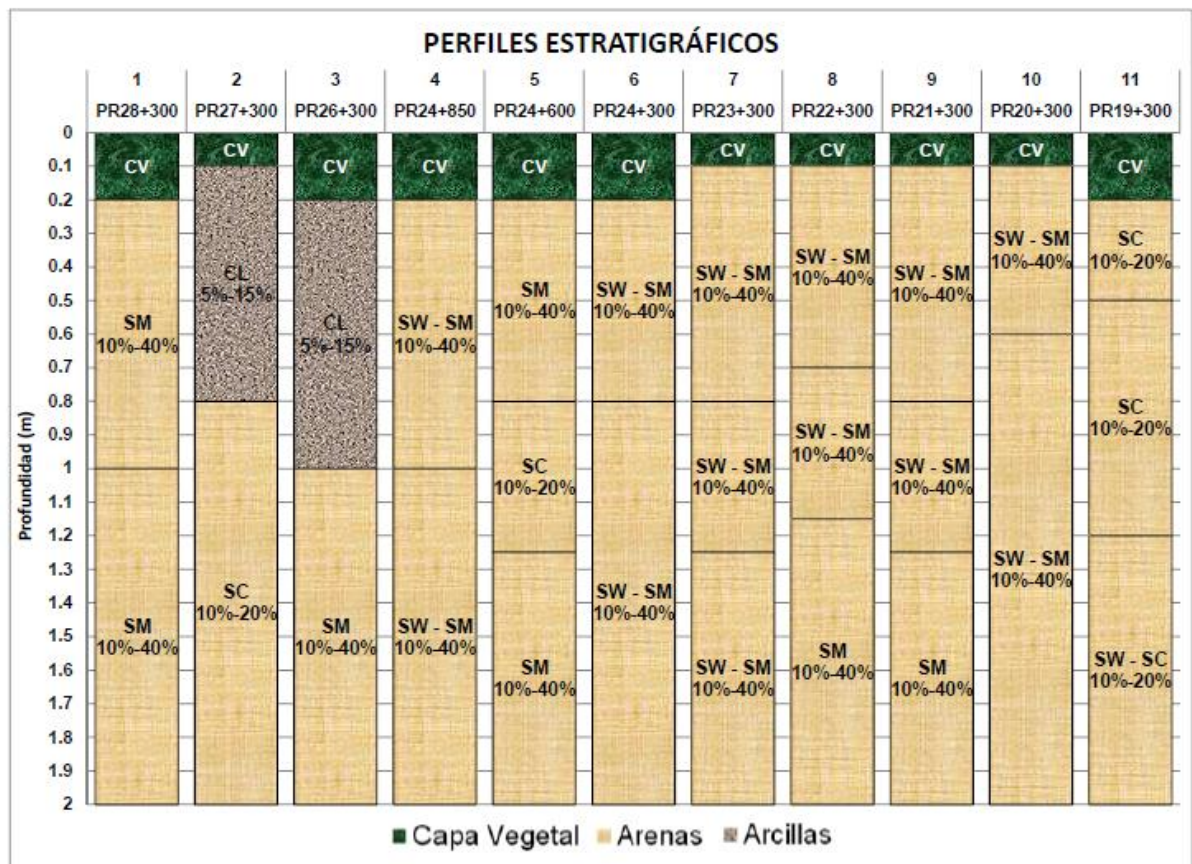
Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

V.1.2 Perfil Estratigráfico

La exploración del subsuelo permitió establecer un perfil de suelos promedio para cada uno de los sectores en que se dividió el corredor vial. En general, el corredor está conformado en su mayor parte por arenas bien graduadas y sólo en dos sectores muy reducidos en un espesor de 0.60 metros se encontraron arcillas de baja compresibilidad; en todos los casos la primera capa está compuesta por una cobertura vegetal que oscila entre 0,10 y 0,20 metros de espesor.

A continuación se presenta en la FIGURA IV-2 un resumen el perfil estratigráfico aproximado en cada sector.

FIGURA V-2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO APROXIMADO DE LOS SUELOS



TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

La TABLA V-2, muestra una descripción visual y física de las características de los suelos encontrados en cada una de los estratos de las exploraciones realizadas.

TABLA V-2. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN CADA ESTRATO

PERFORACIÓN	CAPA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN		CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
			USC	AASHTO		
1	2	0.20 – 1.00	SM	A-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
1	2	1.00 – 1.45	SM	A-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
1	3	3.90 – 4.35	SM	A-1-b	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
1	3	4.35 – 4.80	SM	A-1-b	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
2	2	0.10 – 0.70	CL	A-7-6	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad; arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
2	3	0.80 – 1.25	SC	A-6	Fracción fina plástica de media a alta plasticidad	Arenas arcillosas, mezcla de arena con arcilla
2	4	3.70 – 4.15	SC	A-6	Fracción fina plástica de media a alta plasticidad	Arenas arcillosas, mezcla de arena con arcilla
3	2	0.20 – 1.00	CL	A-6	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad; arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
3	3	2.45 – 2.90	SM	A-2-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
3	4	4.80 – 5.25	SW - SM	A-3	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
4	2	0.20 – 0.10	SW - SM	A-1-b	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
4	2-3	1.00 – 1.45	SW - SM	A-1-b	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
4	3	3.90 – 4.35	SW - SM	A-1-b	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
5	2	0.20 – 0.80	SM	A-2-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
5	3	0.80 – 1.25	SC	A-2-6	Fracción fina plástica, de media a alta plasticidad	Arenas arcillosas, mezcla de arena con arcilla
5	4	3.70 – 4.15	SM	A-2-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
5	4	6.60 – 7.05	SW - SM	A-2-4	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
5	4	8.05 – 8.50	SM	A-2-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

PERFORACIÓN	CAPA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN		CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
			USC	AASHTO		
6	2	0.80 – 1.25	SW - SM	A-1-b	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
6	3	2.25 – 2.70	SW - SM	A-3	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
6	4	4.80 – 5.25	SW - SM	A-3	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
7	3	0.80 – 1.25	SW - SM	A-3	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
7	3	3.70 – 4.15	SW - SM	A-2-4	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
7	3	4.80 – 5.25	SM	A-2-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
8	2	0.70 – 1.15	SW - SM	A-2-4	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
8	3	2.15 – 2.60	SM	A-2-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
8	3	4.60 – 5.05	SW - SM	A-1-b	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
9	2	0.80 – 1.25	SW - SM	A-2-4	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
9	3	2.25 – 2.70	SM	A-2-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
9	4	4.75 – 5.20	SM	A-3	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
10	2	0.60 – 1.05	SW - SM	A-2-4	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos
10	3	3.50 – 3.95	SM	A-2-4	Fracción fina con poco o nada plástica	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
10	3	4.60 – 5.05	SW - SM	A-3	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con limos, mezcla de arena y limo. No plásticos

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

PERFORACIÓN	CAPA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN		CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
			USC	AASHTO		
11	2	0.50 – 1.20	SC	A-4	Fracción fina plástica, de media a alta plasticidad	Arenas limosas, mezcla de arena con arcilla
11	3	1.20 – 1.65	SW - SC	A-4	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arenas bien gradadas, arenas con grava con finos, mezcla de arena y arcilla
11	3	4.20 – 4.65	CL	A-6	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad; arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	

TABLA V-3. PROPIEDADES DEL SUELO

ABSCISA	PERFOR.	CAPA	PROFUN.	CLASIFIC USC	Características al Rompimiento	Dilatación	Tenacidad	Peso Volumétrico Máximo típico	Compresibilidad y expansión	Permeabilidad y características de drenaje	CBR (%)	Índice de Liquidez	Compresibilidad	Plasticidad	Consistencia
PR 28+300	1	2	0,20-1,0	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-0,767	Baja	Baja	Sólida - Semisólida
	1	2	1,0-1,45	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-0,667	Baja	Baja	Sólida - Semisólida
	1	3	3,9-4,35	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	1	3	4,35-4,8	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
PR 27+300	2	2	0,10-0,70	CL	Media a alta	Nula a Muy Lenta	Media	1,5-1,9	Media	Impermeable - No drena	5 - 15	0,064	Media	Alta	Plástica
	2	3	0,80-1,25	SC	Media a alta	Nula a Muy Lenta	Media	1,6-2,0	Ligera a Media	Impermeable - Mal drenaje	10 - 20	-0,629	Media	Baja	Sólida - Semisólida
	2	4	3,70-4,15	SC	Media a alta	Nula a Muy Lenta	Media	1,6-2,0	Ligera a Media	Impermeable - Mal drenaje	10 - 20	-	-	-	-
PR 26+300	3	2	0,20-1,0	CL	Media a alta	Nula a Muy Lenta	Media	1,5-1,9	Media	Impermeable - No drena	5 - 15	0,053	Media	Media	Plástica
	3	3	2,45-2,90	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	3	4	4,80-5,25	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
PR 24+850	4	2	0,20-1,0	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	4	2-3	1,0-1,45	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	4	3	3,90-4,35	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

ABSCISA	PERFOR.	CAPA	PROFUN.	CLASIFIC USC	Características al Rompimiento	Dilatación	Tenacidad	Peso Volumétrico Máximo típico	Compresibilidad y expansión	Permeabilidad y características de drenaje	CBR (%)	Índice de Liquidez	Compresibilidad	Plasticidad	Consistencia
PR 24+600	5	2	0,20-0,80	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	5	3	0,80-1,25	SC	Media a alta	Nula a Muy Lenta	Media	1,6-2,0	Ligera a Media	Impermeable - Mal drenaje	10 - 20	-0,514	Media	Alta	Sólida - Semisólida
	5	4	3,70-4,15	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	5	4	6,60-7,05	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	5	4	8,05-8,50	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
PR 24+300	6	2	0,80-1,25	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	6	3	2,25-2,70	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	6	4	4,80-5,25	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
PR 23+300	7	3	0,80-1,25	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	7	3	3,70-4,15	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	7	3	4,80-5,25	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
PR 22+300	8	2	0,70-1,15	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	8	3	2,15-2,60	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	8	3	4,60-5,05	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
PR 21+300	9	2	0,80-1,25	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	9	3	2,25-2,70	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	9	4	4,75-5,20	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
PR 20+300	10	2	0,60-1,05	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	10	3	3,50-3,95	SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7 - 2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
	10	3	4,60-5,05	SW-SM	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 40	-	-	-	-
PR 19+300	11	2	0,50-1,20	SC	Media a alta	Nula a Muy Lenta	Media	1,6-2,0	Ligera a Media	Impermeable - Mal drenaje	10 - 20	-0,325	Baja	Baja	Sólida - Semisólida
	11	3	1,20-1,65	SW-SC	Nula a Ligera	Rápida a lenta	Nula	1,7-2,0	Ligera	Impermeable - Mal drenaje	10 - 20	-2,386	Baja	Baja	Sólida - Semisólida
	11	3	2,65-3,10									-	-	-	-
	11	3	4,20-4,65	CL	Media a alta	Nula a Muy Lenta	Media	1,5-1,9	Media	Impermeable - No drena	5 - 15	-0,083	Media	Alta	Sólida - Semisólida

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

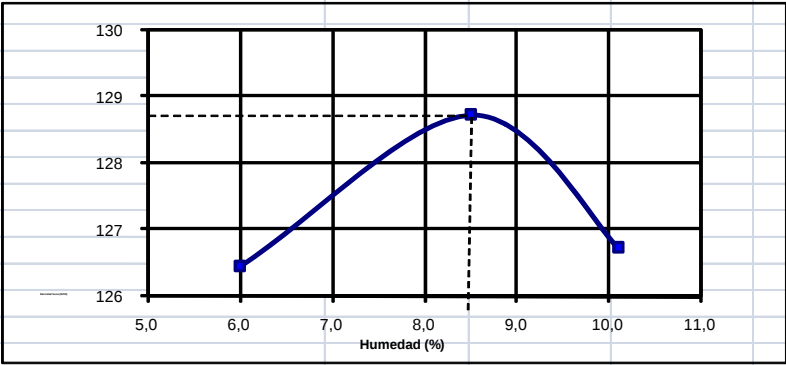
V.1.3 Capacidad de Soporte de California, CBR

Tal y como se mencionó en el numeral V.1 “Resultados del estudio geotécnico” y con el objeto de obtener los CBR de diseño para dimensionar la estructura del pavimento, se tomará como referencia el material empleado para conformar el terraplén.

Con el fin de caracterizar el material con el cual se conformarán los terraplenes se deberán estudiar las fuentes de las cuales se extraerá el material con el fin de ejecutar los ensayos respectivos para determinar las propiedades del mismo y su resistencia mecánica bajo condiciones de densidad y humedad controladas, para de esta de manera obtener parámetros reales que sirvan de patrón para realizar un diseño que se ajuste o simule las condiciones que se obtendrán en la construcción.

Los resultados de Resistencia de California, producto de los ensayos de laboratorio realizados a los materiales que se extraen de las posibles fuentes a emplear y que han sido utilizados en otros proyectos en la zona; de acuerdo a la experiencia y balance de resultados, permiten obtener como mínimo un valor de $CBR \geq 15 \%$ (oscilando entre 15% y 20%) tal y como se puede apreciar en uno de los resultados de las FIGURAS V-3, V-4 y V-5.

**FIGURA V-3. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CALIFORNIA ALCANZADOS EN
TRAYECTO No. 10: VARIANTE PALMAR DE VARELA SABANAGRANDE**

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA INV E-142-07				
DATOS DEL PROYECTO:				
Proyecto: CONCESION VIAL RUTA CARIBE				
Localización: Galapa, Malambo (ATL.)				
Tramo : 10 VARIANTE PALMAR DE VARELA SABANAGRANDE				
Datos del Ensayo:				
Fecha : Noviembre 01 de 2010				
Descripción del material: Terraplen		No de Capas: 5	Peso del martillo: 10 lbs.	
Cantera: Arroyo de Piedra		Golpes por capa: 56	Altura de caída: 18 plg.	
PUNTOS	1	2	3	
No. de Golpes	56	56	56	
Humedad deseada %	6,0	8,0	10,0	
Humedad natural de la muestra %	3,3	3,3	3,3	
Humedad adicional %	2,7	4,7	6,7	
Peso de la muestra húmeda, grs	6000	6000	6000	
Peso de la muestra seca, grs.	5808	5808	5808	
Peso del agua, grs	192	192	192	
Agua adicional, c.c.	162	282	402	
Peso de la muestra húmeda y molde, grs.	7558	7750	7745	
Peso del molde, grs.	2994	2994	2994	
Peso de la muestra húmeda , grs	4564	4756	4751	
% de Humedad	6,0	8,5	10,1	
Peso de la muestra seca, grs.	4305,7	4383,4	4315,2	
Peso de la muestra seca, lbs	9,484	9,655	9,505	
Volumen del molde, pie3	0,0750	0,0750	0,0750	
Densidad de la muestra seca, gr/cm3	2,026	2,063	2,031	
Densidad de la muestra seca, lb/pie3	126,5	128,7	126,7	
				
DENSIDAD MAXIMA (lbs/pie3) =	128,7			
DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3) =	2,063			
HUMEDAD OPTIMA % =	8,5			

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

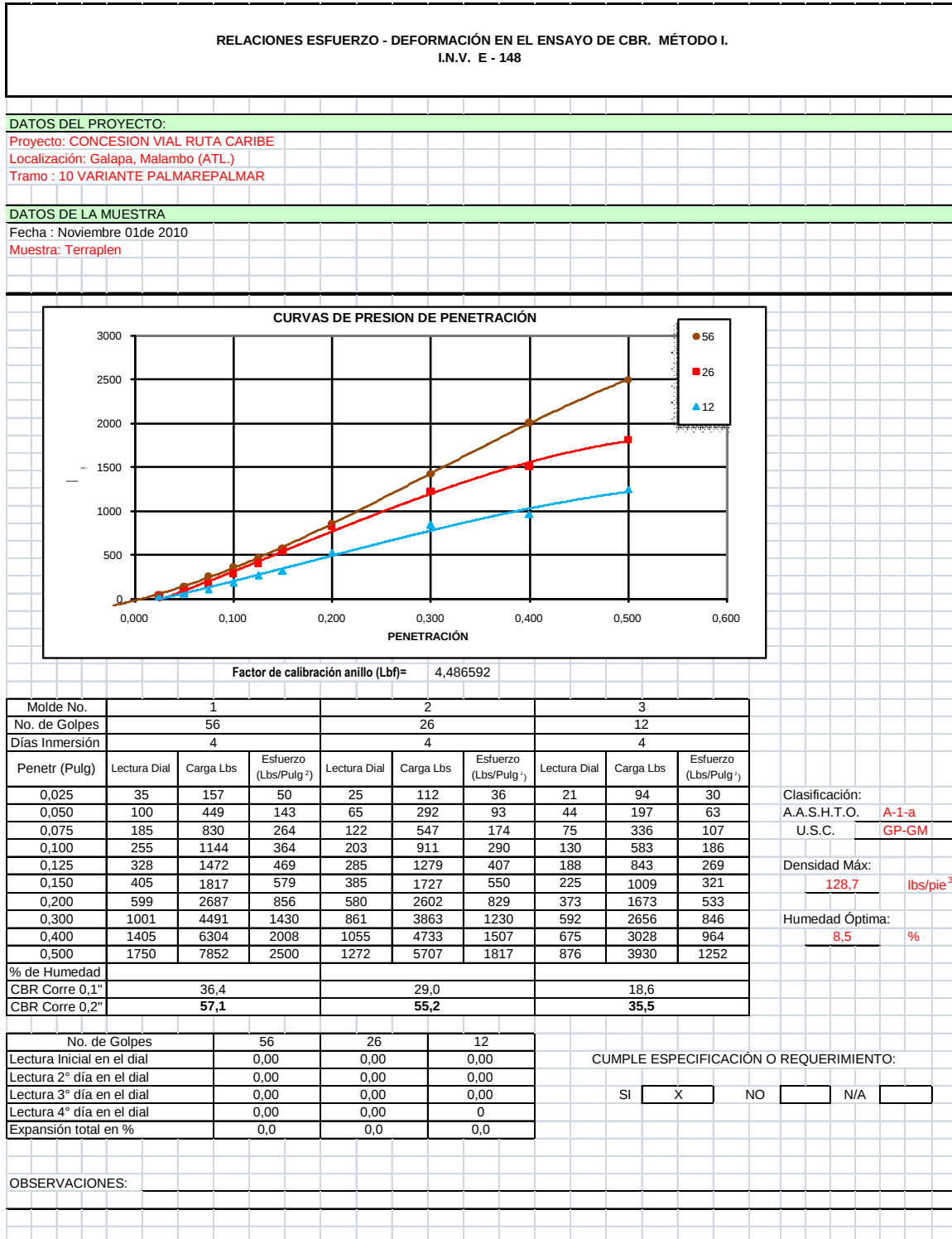
**FIGURA V-4. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CALIFORNIA ALCANZADOS EN
TRAYECTO No. 10: VARIANTE PALMAR DE VARELA SABANAGRANDE**

RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO (CBR) DE LABORATORIO. MÉTODO I I.N.V. E - 148											
DATOS DEL PROYECTO:											
Proyecto: CONCESION VIAL RUTA CARIBE											
Localización: Galapa, Malambo (ATL.)											
Tramo :10 – VARIANTE SABANAGRANDE											
DATOS DE LA MUESTRA:											
Fecha : Noviembre 01 de 2010											
Muestra: Terraplen											
Catera: Arroyo de Piedra											
Molde No.	1	2	3								
No. de golpes por capa	56	26	12								
Humedad deseada %	8,3	8,3	8,3								
Humedad natural de la muestra %	3,3	3,3	3,3								
Humedad adicional %	5,0	5,0	5,0								
Peso de la muestra húmeda, grs	6000	6000	6000								
Peso de la muestra seca, grs	5808	5808	5808								
Agua adicional, c.c.	300	300	300								
Peso de la muestra húmeda y molde, grs	7750	7625	8700								
Peso del molde, grs	2994	2994	4246								
Peso de la muestra húmeda, grs	4756	4631	4454								
% humedad (horno)	8,4	8,3	8,3								
Peso de la muestra seca, grs	4387	4276	4113								
Peso de la muestra seca, lbs	9,66	9,42	9,06								
Volumen del molde, pies ³	0,07498	0,07498	0,07498								
Densidad de la muestra seca lbs/pies ³	128,9	125,6	120,8								
Expansión	0,0	0,0	0,0								
<table border="1" style="width: 60%; border-collapse: collapse;"> <caption style="text-align: center; font-size: 0.8em;">CURVA DENSIDAD VS. HUMEDAD</caption> <tr> <th style="text-align: center;">Humedad (%)</th> <th style="text-align: center;">Densidad Seca (lbs/ft³)</th> </tr> <tr><td style="text-align: center;">8,3</td><td style="text-align: center;">128,9</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8,4</td><td style="text-align: center;">125,6</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8,3</td><td style="text-align: center;">120,8</td></tr> </table> Clasificación: A.A.S.H.T.O. A-1-a U.S.C. GP-GM Densidad Máx: 128,7 lbs/pie³ Humedad Óptima: 8,5 %				Humedad (%)	Densidad Seca (lbs/ft ³)	8,3	128,9	8,4	125,6	8,3	120,8
Humedad (%)	Densidad Seca (lbs/ft ³)										
8,3	128,9										
8,4	125,6										
8,3	120,8										
OBSERVACIONES:											
CUMPLE ESPECIFICACIÓN O REQUERIMIENTO: SI ☒ NO ☐ N/A ☐											

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

FIGURA V-5. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CALIFORNIA ALCANZADOS EN TRAYECTO No. 10: VARIANTE PALMAR DE VARELA SABANAGRANDE



TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

V.2 Sectorización para el diseño

Para este análisis se tendrá en cuenta el alineamiento del corredor; en razón, a que el terraplén se cimentará sobre un material que ejercerá funciones de interface, por lo que se aislará el suelo de la subrasante del material que conformará tanto el terraplén como la estructura del pavimento, lo que nos conduce a realizar los análisis de acuerdo a las diferentes secciones transversales a lo largo del corredor (corte o relleno), teniendo en cuenta que el espesor de la plataforma de trabajo o interface es de 0.30 m. El espesor de la estructura colocada sobre la interface (terraplén o mejoramiento en el caso de los cortes), es suficiente para que junto con los materiales que conforman la estructura de pavimento (subbase, base y mezcla asfáltica) absorban las cargas generadas por el tránsito.

En el ANEXO B, se muestran los sectores en los cuales se requiere realizar corte o relleno para los dos ejes, según la variación encontrada. Adicionalmente, se determinan los espesores mínimos requeridos a excavar en los cortes y en el caso de los rellenos que no poseen la altura suficiente entre la cota roja y la cota negra para colocar las estructuras necesarias para el proyecto (capa de interface, material para terraplén) se especifica en qué abscisas se necesitan excavaciones adicionales para hacer cumplir el requerimiento mínimo espesor 0.90 metros; lo anterior sin contar aún con los espesores de las diferentes capas que conforman el pavimento.

La definición de la sectorización definitiva se determinó teniendo en cuenta los estudios geológicos, de tránsito, de clima y los geotécnicos preliminares; para este caso se estableció una única unidad homogénea de diseño; en razón a que la estructura del pavimento no se cimentará sobre la subrasante natural sino bajo una subrasante mejorada a lo largo de todo corredor de características tales que es suficiente para absorber los esfuerzos generados por el tráfico. Si a lo anterior le aunamos el hecho de que bajo esta se encuentra una interface que aísla totalmente la subrasante natural, esto hace que para el diseño de la estructura del pavimento se cuente con una plataforma de trabajo nueva separada de los efectos nocivos en el comportamiento del suelo existente y que además por encima de este nivel (subrasante natural) la resistencia y la densidad del dicho suelo no afecte el dimensionamiento de la estructura del pavimento.

V.3 Definición del CBR de diseño

Basados en los criterios anteriormente expuestos, se delimita una única unidad de diseño para la definición de las dimensiones de la estructura; la variación se presentaría a nivel constructivo en los sectores en los cuales se deba realizar corte o relleno para conseguir los niveles de la rasante deseada; en cualquiera de los dos casos se requiere la colocación de la interface y sobre ésta el material de mejoramiento, antes de conformar las capas de la estructura del pavimento.

Bajo este esquema y después de realizar los análisis respectivos con cierto nivel de seguridad, se determinó que el CBR de la unidad de diseño es de un valor de 15%.

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

CAPITULO VI

VI. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

La selección de los materiales para el diseño debe contemplar todos los factores en cuanto a calidad, economía y experiencia previa de su uso. Los factores se evaluarán durante la ejecución del diseño en orden a seleccionar los materiales con las características que mejor se adapten a las condiciones del proyecto y que cumplan con la normatividad vigente.

VI.1 Materiales de Sub-base y Base Granular

De acuerdo con los artículos INV. 300, 320 y 330 de las Especificaciones Generales para construcción de carreteras y características de la región, se deben garantizar que las propiedades de los materiales a usar cumplan con los requerimientos mínimos allí exigidos.

VI.1.1 Sub-base Granular

Debe estar conformada por agregados naturales clasificados o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas ó podrán estar constituidos por una mezcla de ambas procedencias. El CBR debe ser mayor de 30 %, un $IP \leq 6$ y 95 % de Proctor Modificado.

El módulo obtenido para un material con un CBR mínimo de 30% teóricamente es de 15000 PSI o 100 MPa.

VI.1.2 Base Granular

Se compone de agregados que contengan una fracción de partículas con trituración mecánica. El índice de alargamiento y aplanamiento debe ser menor o igual de 35 % y el CBR mayor o igual a 80 %.

El módulo obtenido para un material con un CBR mínimo de 80% teóricamente es de 30000 PSI o 210 MPa.

Para ambos tipos de material, las partículas de agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales.

VI.2 Materiales para bases estabilizadas con emulsión asfáltica

La procedencia de los materiales que conforman este tipo de capas puede ser agregados pétreos o suelos naturales; en caso de ser agregados pétreos podrán ser triturados o naturales, clasificados o una mezcla de ambos. Este material tiene como propósito reducir las deformaciones por tracción bajo las capas asfálticas y por ende los espesores de las mismas. El IP debe ser máximo 7 y la compactación del 95 % del proctor modificado. Para este tipo de material se considera un módulo de 600 MPa.

El ligante será emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, tipo CRL-1 o CRL-1h, que cumpla con los requerimientos establecidos en la Especificación INV. - 400

VI.3 Materiales para bases estabilizadas con cemento

El material para estabilizar con cemento podrá provenir de escarificación o ser un suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo entre otros; siempre y cuando estén libres de materia orgánica, de poca plasticidad u otra sustancia que puede perjudicar el correcto fraguado del cemento.

Para este tipo de materiales se definen dos etapas de comportamiento; en la primera resiste esfuerzos a tracción y se cuenta con un alto módulo de elasticidad, mientras que en la segunda etapa se pierde la resistencia a la tensión, se fisura y el módulo se hace constante.

El módulo debe ser como mínimo en la primera etapa 5000 Mpa y en la segunda etapa 700 MPa.

VI.4 Materiales para terraplén y mejoramientos

VI.4.1 Terraplén

Todos los materiales que se empleen deben provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas; libres de sustancias deletéreas, materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales.

Los materiales que conformarán el terraplén como mínimo serán los tipo "Suelos Seleccionados"(Artículo 220, numeral 220.2); debido a que los materiales tipo "Suelos Tolerables" que son aquellos que poseen las mínimas especificaciones, no pueden ser empleados en el núcleo del terraplén, cuando éste pueda o se sospeche que estará sujeto a inundación. Los suelos empleados para la construcción del terraplén deberán tener como mínimo un CBR de 10 % y cumplir los requisitos exigidos para este material.

VI.4.2 Mejoramiento

Los materiales empleados para el mejoramiento, como producto que en definitiva constituirá la rasante mejorada deberá cumplir con los requisitos determinados para los “Suelos Seleccionados” según el Artículo 220, numeral 220.2 de las Especificaciones del INVIAS.

Como mínimo el CBR del material a emplear debe ser 10 % y su límite líquido menor o igual a 30%, entre otras características que debe cumplir de acuerdo a los requerimientos establecidos en las Especificaciones del Instituto Nacional de Vías.

VI.4.3 Pedraplenes

Los materiales empleados en esta actividad deben ser pétreos provenientes de la excavación de la explanación o fuentes adecuadas y provendrán de cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables.

El tamaño máximo no deberá ser superior a los 2/3 del espesor de la capa compactada y el porcentaje en peso de las partículas menores al tamiz 25 mm (1”), será inferior al 30%; además, de todos los requerimientos que debe cumplir según las Especificaciones para Construcción de Carreteras – 2007.

VI.5 Concreto Asfáltico

Basados en las especificaciones de construcción y materiales comúnmente utilizados en el país, se caracterizan los diferentes componentes de la mezcla asfáltica a emplear en el proyecto y se determinan los parámetros tenido en cuenta para definir el módulo dinámico de la mezcla.

VI.5.1 Agregados pétreos y Llenante Mineral

Los agregados empleados en la elaboración de las mezclas deberán poseer una naturaleza tal que, al aplicar una capa de material asfáltico, éste no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Para seleccionar alguna de las gradaciones especificadas para las mezclas en caliente, se debe tener en cuenta el espesor de la capa compactada a colocar.

El agregado grueso que conformará la mezcla debe proceder de la trituración de roca o grava o por una combinación de ambas.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural, la proporción de arena natural no podrá superar el 15 % de la masa total del agregado combinado, cuando el tránsito de proyectado del carril de diseño sea NT3. En general, la proporción de agregado fino no triturado, no podrá exceder la del agregado fino triturado.

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

La proporción del llenante mineral de aporte deberá ser, como mínimo mayor o igual al 50% (para el caso de tráfico NT3) en masa del llenante total excluido el adherido a los agregados que no podrá ser mayor del 2% de la masa de la mezcla.

VI.5.2 Especificaciones para la Mezcla

a) Temperatura de Trabajo de la Mezcla

Según la metodología Shell 78, para una temperatura media de 28°C, como la existente en la región donde se ubica el proyecto, la temperatura de trabajo de la mezcla se estima en 40°C.

b) Penetración del Asfalto a 25°C

El tipo de Asfalto o material bituminoso a emplear tanto en los riegos de liga como en la elaboración de las mezclas serán de penetración 60-70 (seleccionados en función del clima y las características de operación de la vía).

La penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento (E-720), en porcentaje de la penetración original e de 52% (considerando una penetración de 65/10mm); de manera que la penetración del asfalto a 25°C, empleada para la estimación del stiffness del asfalto es de 34/10mm.

c) Temperatura de Penetración de 800/10mm

Mediante la gráfica de Heukelom se estimó que la temperatura de penetración de 800 décimas de milímetro es de 54°C, basados en el índice de penetración crítico del asfalto para la condición de la región (IP=-1.0) y la penetración del mismo a 25°C de 34/10mm.

d) Stiffness del Asfalto

El valor obtenido para el módulo del asfalto mediante la modelación es de 1.59 MPa; sin embargo, el valor mínimo permitido por la metodología Shell es de 5.0 MPa; razón por la cual se adoptará éste valor como mínimo teórico.

e) Composición Volumétrica

Se emplearán las proporciones comúnmente utilizadas para las mezclas en el país: 11% de asfalto, 82% de agregados y 7% de vacíos con aire.

f) Módulo Dinámico de la Mezcla

El módulo resultado de la modelación por el método de la Shell es de 1.140 MPa; basados en este valor y ajustándolo a las condiciones del corredor se considera que un módulo de mezcla asfáltica de 1000 MPa es adecuado para este material.

Una vez se inicien los procesos constructivos, se realizarán los diseños de las mezclas; ya que a la fecha no se tienen los materiales triturados para su definición. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en las obras que se desarrollan en la región se emplean mezclas asfálticas elaboradas por proveedores en plantas de los municipios cercanos.

VI.6 Características de la Fuente de Materiales

Las fuentes de materiales activas y disponibles en la zona se relacionan a continuación:

- Cavallier, ubicada en el sector de rancho alegre, jurisdicción del municipio de Sabanalarga y Manatí (presenta los 3 tipos de material a utilizar, aclarando que la base necesita mezcla para las caras fracturadas).
- Javier López, ubicada también en el sector de rancho alegre, jurisdicción del municipio de Sabanalarga y Manatí. (presenta los 3 tipos de material a utilizar, aclarando que la base necesita mezcla para las caras fracturadas).
- Amalfi, Ubicada en el municipio de Galapa, material de Terraplén.
- Arroyo de Piedra, Localizada en este municipio (también presenta los 3 tipos de material a utilizar, aclarando que la base necesita mezcla para las caras fracturadas).

El estudio de la fuente de materiales, para este caso las activas; las cuales podrían aportar el material requerido es gran importancia para proyectar su explotación. En el presente año se comenzaron dos proyectos de construcción en la zona (Sabanalarga – Palmar de Varela y Galapa - Malambo) con el empleo de algunas de las fuentes antes citadas, para la obtención de los materiales pétreos para capas de Terraplén, Subbase y Bases.

En el ANEXO C, se muestran algunos de los ensayos realizados para caracterizar las fuentes de materiales disponibles en la zona; como parte de los trabajos realizados para la construcción de los Trayectos 3 y 4 que hacen parte de la Concesión Ruta Caribe.

CAPITULO VII

VII. DISEÑO DE PAVIMENTO

La estructura de un pavimento está constituida por un conjunto de capas superpuestas, con diferentes características que varían de acuerdo a sus propiedades geomecánicas. Es importante anotar que el número de capas estructurales de un pavimento varía de acuerdo con la calidad que tenga la subrasante en su capacidad de soporte.

El propósito del presente estudio, es proporcionar una estructura del pavimento, que sea capaz de soportar el tránsito con un alto nivel de confianza para el periodo de diseño, en las condiciones ambientales dadas y un aceptable nivel de servicio, sin importantes fallas estructurales. Para ello, se consideran factores de tiempo, tránsito, materiales, suelos de subrasante, condiciones ambientales, detalles constructivos y económicos; de acuerdo a los procedimientos y categorización de los parámetros establecidos por el INVIAS.

Los diseños y metodologías están basados en una combinación de métodos existentes, experiencia y la teoría fundamental de comportamiento de los materiales y las estructuras, basados principalmente en el método AASHTO.

El dimensionamiento de los espesores del pavimento, contempla alternativas de estructuras en pavimento flexible, con base granular y base estabilizada con emulsión asfáltica, teniendo en cuenta el comportamiento elástico de la subrasante y de las diferentes capas que integrarán la estructura del pavimento; además, del número de ejes equivalentes estimado para el período de diseño.

Adicionalmente para este diseño, se adelantó una verificación con métodos racionales utilizando las ecuaciones de fatiga de la SHELL para una confiabilidad del 85%, la cual es similar a la contemplada en el Manual del INVIAS, del 90%.

VII.1 Selección de los periodos de análisis y de diseño estructural

De acuerdo con el Volumen I - Estudio de Tránsito, Capacidad y Niveles de Servicio, de la Variante Palmar de Varela, se determinó que los valores del tránsito promedio diario, son los que se muestran en la TABLA VII-1.

TABLA VII-1. TRANSITO PROMEDIO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS

AÑO	0	3	5	7	10	15	20
	2012	2015	2017	2019	2022	2027	2032
TPD	3537	3739	3879	4026	4258	4669	5120

Fuente: Elaboración propia

Según estos datos, el TPD del corredor se encuentra entre 1000 y 10000 categorizándose como una vía colectora interurbana y camino industrial principales, categoría II, según Tabla 2.1 – Categoría de las Vías, del Manual de diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, representada en la TABLA VII-2.

TABLA VII-2. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS SEGÚN EL INVÍAS

	I	II	III	ESPECIAL
Descripción	Autopistas Interurbanas, Caminos Interurbanos Principales	Colectoras Inteurbanas, Caminos Rurales e Industriales Principales	Caminos Rurales con Tránsito Mediano, Caminos Estratégicos	Pavimentos Especiales e Innovaciones
Importancia	Muy Importante	Importante	Poco Importante	Importante a Poco Importante
Transito Promedio Diario (TPD)	> 5000	1000 - 10000	< 1000	< 10.000

Fuente: Tabla 2.1, página 7 del Manual de diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

VII.1.1 Período de Análisis

De acuerdo con la TABLA VII-3, en el cual se presentan los Periodos de Análisis Recomendados, del Manual de diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, para esta categoría de vías (II) el periodo de análisis, el cual está relacionado con la vida geométrica y por ende con el análisis económico está en un rango entre 15 y 30 años; sin embargo, debido a la geometría (fija) de la vía se recomienda sea analizado para 30 años.

TABLA VII-3. PERIODOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS POR EL INVÍAS

CATEGORÍA DE LA VÍA	PERIODO DE ANÁLISIS (P.A.) AÑOS		
	RANGO	PERÍODO RECOMENDADO	
		GEOMETRÍA FIJA	CONDICIONES INCIERTAS
I	20 – 40	30	-
II	15 – 30	30	25
III	10 – 30	30	20
Especial	10 – 30	30	20 – 25

Fuente: Tabla 2.2, página 8 del Manual de diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

VII.1.2 Período de Diseño Estructural

De acuerdo con la TABLA VII-4, que corresponde a la Tabla 2.3 – Periodos de Diseño Estructural Recomendados, del Manual de diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, para las vías con categoría II, el periodo de diseño estructural puede variar dependiendo de las circunstancias; entre 10 y 20 años. Normalmente se usa un periodo de 15 años, sin embargo para el caso de esta actualización se utilizará hasta de 20 años.

TABLA VII-4. PERÍODOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL RECOMENDADOS POR EL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

CATEGORÍA DE LA VÍA	PERIODO DE DISEÑO (P.D.E) AÑOS	
	RANGO	RECOMENDADO
I	10 - 30	20
II	10 – 20	15
III	10 – 20	10
ESPECIALES	7 – 20	10 – 15

Fuente: Tabla 2.3, página 9 del Manual de diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

VII.2 Clasificación del Tránsito

El parámetro calculado para esta variable en número de ejes equivalentes en el carril diseño para los diferentes periodos de análisis para el presente proyecto (3,5,7,10,15 y 20 años) se muestra en la TABLA VII-5.

TABLA VII-5. CLASIFICACIÓN DEL TRANSITO

SECTOR	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON ACUMULADOS						
	Año 0	Año 3	Año 5	Año 7	Año 10	Año 15	Año 20
	2012	2015	2017	2019	2022	2027	2032
Sentido Norte – Sur NESE	1,06E+06	4,92E+06	7,53E+06	1,02E+07	1,45E+07	2,21E+07	3,04E+07
Categoría Tránsito Manual INVÍAS	T 2	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el Manual del INVÍAS para el diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito y según la información anterior, se determina la designación y el rango de tránsito según la Tabla 3.6, contenida en el capítulo 3 del Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos, que para el caso particular se asignaría según se muestra en la TABLA VII-6, de la siguiente manera acorde a los periodos de diseño contemplados.

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

TABLA VII-6. RANGOS DE TRANSITO ACUMULADO POR CARRIL DE DISEÑO

PERIODO DE DISEÑO (años)	RANGOS DE TRANSITO ACUMULADO POR CARRIL DE DISEÑO
3	T4 ($4 \cdot 10^6 - 6 \cdot 10^6$)
5	T5 ($6 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$)
7	T6 ($6 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$)
10	T7 ($10 \cdot 10^6 - 15 \cdot 10^6$)
15	T8 ($15 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$)
20	T9 ($20 \cdot 10^6 - 30 \cdot 10^6$)

Fuente: Ver Tabla 3.6

VII.3 Factores ambientales y climáticos

De acuerdo con la información del INFORME HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN para la VARIANTE PALMAR DE VARELA en su numeral 1.6.1.1 “Precipitación media”, la precipitación en las cuencas de drenaje del proyecto es de 1100 mm, disminuyendo de sur a norte, siendo una zona baja húmeda y de pendiente baja de escurrimiento.

De igual forma en el numeral 1.6.2 Climatología, La temperatura promedio es de 27.5 °C con variaciones promedios entre 24.9 a 29.8°C; siendo la máxima promedio de 34.8 °C y la mínima promedio de 22.1°C, la precipitación total anual es de 802 mm, con valores máximos en 24 horas entre 48 a 123 mm, con 75 números de días con lluvia y la humedad relativa media es del 80%, con variaciones estacionales entre 73 a 93%.

Con base en esta la temperatura y precipitación se determinó que el proyecto se encuentra en la región climática descrita como “Cálido Húmedo” a la cual le corresponde en las cartas del Manual del INVÍAS a una asignación “R3”, con características de TMAP entre 20°C – 30°C y Precipitación Media Anual menor de 2000 mm.

En caso de requerirse mayor información en relación con los factores que influyen en la determinación de los parámetros antes mencionados y sus análisis (Clima, Precipitación, etc...) es necesario remitirse al Volumen VII “ESTUDIO DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN”, actualizado en el año 2012.

VII.4 Módulo Resiliente de la Subrasante (Mejorada)

La clasificación de la resistencia de la subrasante con base en el CBR o módulo Resiliente del material en el cual se cimentará la estructura del pavimento, se realiza de acuerdo con la Tabla 5.2 – Entornos de la Resistencia, del Manual de diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías – INVÍAS, representada en la TABLA VII-7, la cual establece las categorías de resistencia de la subrasante y con los valores de CBR de diseño obtenidos en el capítulo V.

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Adicionalmente se analizaron algunos casos críticos para suelos de subrasante trabajando en condiciones particulares sumergidas y en situaciones de ascenso capilar para los eventos que surjan durante el desarrollo de los trabajos, donde muy seguramente el CBR de subrasante se encontraría por debajo de 3% (entre 1 y 3%) y sería necesario unos rellenos de mejoramiento con material granular de espesores significativos y/o rediseñar las estructuras de pavimento, dado que no se podría entrar a las cartas con $\text{CBR} < 3\%$ ($\text{MR} < 300 \text{ Kg/cm}^2$).

TABLA VII-7. ENTORNOS DE RESISTENCIA

CATEGORÍA	INTERVALO MODULO RESILIENTE (E) Kg/cm ²	INTERVALO CBR %
S1	300- 500	$3 \leq \text{CBR} < 5$
S2	500 - 700	$5 \leq \text{CBR} < 7$
S3	700-1000	$7 \leq \text{CBR} < 10$
S4	1000 - 1500	$10 \leq \text{CBR} < 15$
S5	≥ 1500	$\text{CBR} \geq 15$

Fuente: Tabla 5.2, página 45 del Manual INVÍAS de medios y Altos Volúmenes de tránsito

De acuerdo con la información suministrada por los encargados de la ejecución del TRAYECTO No. 4: Sabanalarga – Palmar de Varela, quienes emplearon materiales para la conformación de rellenos requeridos en el alineamiento vertical provenientes de una de las fuente disponibles a emplear en el proyecto en estudio; obteniendo valores que garantizan una relación de soporte de California como mínimo del 15%, por lo que y de acuerdo con la TABLA VI-7, le corresponde la categoría “S5”, para el análisis.

VII.4.1 Capacidad de soporte aportada por los materiales adicionados

Debe tenerse en cuenta, la conformación de una plataforma de trabajo nueva, tanto en las secciones en corte como en las de relleno, eliminando los diferentes efectos generados por el terreno natural y la influencia de los factores ambientales y climáticos sobre éste.

Para el caso de la zona homogénea en donde se requiere corte con respecto al alineamiento vertical; de acuerdo con las investigaciones y análisis realizados por el área de Geotecnia, se hace necesario colocar material con similares características a las del terraplén (como mínimo suelos adecuados) en un espesor de aproximadamente 0.30 metros, con el fin de mejorar las condiciones de soporte.

Todas estas recomendaciones son similares e iguales al del estudio original, donde se plantea utilizar rellenos de mejoramiento para llegar a obtener una plataforma de trabajo estable con CBR de 15%, el cual se utiliza como parámetro de diseño.

VII.4.2 Material de mejoramiento sobre suelos blandos (condiciones críticas)

a) Secciones en Terraplén y/o con suelos de CBR $\geq 15\%$

Como se hace mención en el Capítulo V, en este numeral solamente se pretende en este aparte, señalar lo relacionado con las alturas de rellenos de mejoramiento, cuando se presenten condiciones críticas manifestadas con la presencia de suelos blandos.

En todo caso que se presenten suelos blandos con CBR inferiores a 2,5% en condición de humedad natural ó 1,5% en condición sumergida, ó cuando se encuentren rellenos y/o suelos indeseables que sea necesario reemplazar, con el fin de mitigar problemas de hundimientos y/o de deformaciones plásticas, se recomienda la utilización de gravilla y/o materiales granulares de tipo seleccionado, según especificación INV-220, con CBR $\geq 10\%$.

Por esta razón, se efectúan algunas verificaciones para situaciones de suelos críticos con resistencias muy bajas y que requieren de mejoramiento, para lo cual se utiliza la fórmula de IVANOV, ampliamente utilizada para los análisis de CBR y módulos conjugados y/o equivalentes entre los suelos de subrasante y el material de mejoramiento para obtener una resistencia del “conjunto” (subrasante- material de mejoramiento).

Igualmente, siguiendo igual procedimiento, se han extrapolado algunos valores mayores a 3%, para tener un orden de magnitud de los rellenos de mejoramiento para utilizar CBR $\geq 15\%$. En la TABLA VII-8, se consignan los valores requeridos para el espesor de mejoramiento en suelos blandos e igualmente se incluyen CBR mayores a 3%, para obtener CBR de 15% como se exige para las estructuras.

NOTA: Para CBR hasta 2,5% y menores, es recomendable colocar los primeros 50 cm en rajón o gravilla y el resto en material seleccionado, según especificación INV-220.

TABLA VII-8. ESPESORES DE MEJORAMIENTO UTILIZANDO FÓRMULA DE IVANOV PARA OBTENER CBR $\geq 15\%$

CBR %	MR= 130 CBR ^{0,714} K/cm2	H Relleno (cm)	CBR % Relleno	CBR % Equiv.	MR(Equiv)= 130x (CBR) ^{0,714} equiv
1,0	130	105	15	14,84	892
2,0	213	90	15	15,01	899
2,5	250	85	15	14,95	897
3,0	285	80	15	14,78	889
4,0	350	75	15	14,77	889
5,0	410	70	15	14,66	884
6,0	467	65	15	14,51	878

Fuente: Elaboración propia

Con base en la Tabla anterior se puede concluir que para un CBR = 2%, en la subrasante, se requiere una altura de mejoramiento de 90 cm, para lograr un CBR en la superficie de

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

15%, lo cual permite inferir que para los terraplenes más bajos del proyecto, cuya altura alcanza un metro (1.0 m.), se lograra en la superficie del terraplén que subyace la estructura de pavimento, un valor de CBR de 15%, valor que es la base de los cálculos para el diseño del pavimento.

Los valores obtenidos fueron calculados de la siguiente forma:

Para CBR = 1%

CBR		E _{INF.}	E _{SUP.}	n	n ^{3.5}	h ₁ (cm)	h ₁ / 2a	(I)	(J)			E _{equiv} Kg/cm2	CBR
SUBRASANTE	MAT. GRANULAR	(kg/cm ²)						$\tan^{-1}(n \cdot h_1 / 2a)$ (rad)	$1 - (1/n^{3.5})$	2/π	2/π*J*I		
1.00	15.00	130	899	2.17	14.98	105.00	3.45	1.44	0.93	0.64	0.85	892	14.84

SISTEMA EQUIVALENTE		
CBR EQUIVALENTE =		14.84 %

CBR						E _{INF.}	E _{SUP.}	E _{EQUIV}	n	n ^{3.5}	(I) 1-(1/n ^{3.5})	(K) 2/π	(L) 2/π* <i>I</i>	1-(E _{INF} /E _{EQUIV})	tan(L/K)	h ₁ (cm)
SUBRASANTE	RELLENO	EQUIV.	(Kg/cm ²)													
1.00	15.00	14.84	130	899	892	2.17	14.98	0.93	0.64	0.59	0.85	7.48	105.00			

ESPESOR NECESARIO		
para obtener el módulo equivalente		
ALTURA DEL RELLENO (h ₁) =	105.00	cm

$$E_{\text{INFERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

$$E_{\text{SUPERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

h₁ corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \text{Tan} \left[\frac{\left(1 - \frac{E_{\text{inferior}}}{E_{\text{equivalente}}} \right)}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right)} \right]$$

$$n = \left(\frac{E_{\text{superior}}}{E_{\text{inferior}}} \right)^{1/2.5}$$

Para CBR = 2%

CBR		E _{INF.}	E _{SUP.}	n	n ^{3.5}	h ₁ (cm)	h ₁ / 2a	(I) tan ⁻¹ (n* _h ₁ /2a) (rad)	(J) 1-(1/n ^{3.5})	2/π	2/π*J*I	E _{equiv} Kg/cm2	CBR
SUBRASANTE	MAT. GRANULAR	(kg/cm ²)											
2.00	15.00	213	899	1.78	7.49	90.00	2.96	1.38	0.87	0.64	0.76	899	15.01

SISTEMA EQUIVALENTE		
CBR EQUIVALENTE =	15.00	%

CBR			E _{INF.}	E _{SUP.}	E _{EQUIV}	n	n ^{3.5}	(I)	(K)	(L)	h1 (cm)		
SUBRASANTE	RELLENO	EQUIV.	(Kg/cm ²)					1-(1/n ^{3.5})	2/π	2/π ⁴		1-(E _{INF} /E _{EQUIV})	tan(L/K)
2.00	15.00	15.01	213	899	899	1.78	7.49	0.87	0.64	0.55	0.76	5.26	90.01

ESPESOR NECESARIO		
para obtener el módulo equivalente		
ALTURA DEL RELLENO (h ₁) =	90.01	cm

$$E_{\text{INFERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

$$E_{\text{SUPERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

h₁ corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \text{Tan} \left[\frac{\left(1 - \frac{E_{\text{inferior}}}{E_{\text{equivalente}}} \right)}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right)} \right]$$

$$n = \left(\frac{E_{\text{superior}}}{E_{\text{inferior}}} \right)^{1/2.5}$$

Para CBR = 2,5%

CBR		E _{INF.}	E _{SUP.}	n	n ^{3.5}	h ₁ (cm)	h ₁ / 2a	(I)	(J)			E _{equiv} Kg/cm2	CBR
SUBRASANTE	MAT. GRANULAR	(kg/cm ²)						tan ⁻¹ (n*h ₁ /2a) (rad)	1-(1/n ^{3.5})	2/π	2/π*J*I		
2.50	15.00	250	899	1.67	6.00	85.00	2.79	1.36	0.83	0.64	0.72	896	14.95

SISTEMA EQUIVALENTE		
CBR EQUIVALENTE =	14.95	%

CBR			E _{INF.}	E _{SUP.}	E _{EQUIV}	n	n ^{3.5}	(I) 1-(1/n ^{3.5})	(K) 2/π	(L) 2/π*I	1-(E _{INF} /E _{EQUIV})	tan(L/K)	h1 (cm)
SUBRASANTE	RELLENO	EQUIV.	(Kg/cm ²)										
2.50	15.00	14.95	250	899	897	1.67	6.00	0.83	0.64	0.53	0.72	4.66	85.05

ESPESOR NECESARIO		
para obtener el módulo equivalente		
ALTURA DEL RELLENO (h ₁) =	85.05	cm

$$E_{\text{INFERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

$$E_{\text{SUPERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

h₁ corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \text{Tan} \left[\frac{\left(1 - \frac{E_{\text{inferior}}}{E_{\text{equivalente}}} \right)}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right)} \right]$$

$$n = \left(\frac{E_{\text{superior}}}{E_{\text{inferior}}} \right)^{1/2.5}$$

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Para CBR =3%

CBR		E _{INF.}	E _{SUP.}	n	n ^{3.5}	h ₁ (cm)	h ₁ / 2a	(I)	(J)	2/π	2/π*J ¹	E _{equiv} Kg/cm2	CBR
SUBRASANTE	MAT. GRANULAR	(kg/cm ²)						tan ⁻¹ (n*h ₁ /2a) (rad)	1-(1/n ^{3.5})				
3.00	15.00	285	899	1.58	5.00	80.00	2.63	1.33	0.80	0.64	0.68	890	14.78

SISTEMA EQUIVALENTE			
CBR EQUIVALENTE =		14.78	%

CBR			E _{INF.}	E _{SUP.}	E _{EQUIV}	n	n ^{3.5}	(I)	(K)	(L)	h1 (cm)		
SUBRASANTE	RELLENO	EQUIV.	(Kg/cm ²)					1-(1/n ^{3.5})	2/π	2/π*1		1-(E _{INF} /E _{EQUIV})	tan(L/K)
3.00	15.00	14.78	285	899	889	1.58	5.00	0.80	0.64	0.51	0.68	4.16	79.96

ESPESOR NECESARIO			
para obtener el módulo equivalente			
ALTURA DEL RELLENO (h ₁) =		79.96	cm

$$E_{\text{INFERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

$$E_{\text{SUPERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

h₁ corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \text{Tan} \left[\frac{\left(1 - \frac{E_{\text{inferior}}}{E_{\text{equivalente}}} \right)}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right)} \right]$$

$$n = \left(\frac{E_{\text{superior}}}{E_{\text{inferior}}} \right)^{1/2.5}$$

Para CBR = 4%

CBR		E _{INF.}	E _{SUP.}	n	n ^{3.5}	h ₁ (cm)	h ₁ / 2a	(I)	(J)	2/π	2/π*J ¹	E _{equiv} kg/cm2	CBR
SUBRASANTE	MAT. GRANULAR	(kg/cm ²)						tan ⁻¹ (n*h ₁ /2a) (rad)	1-(1/n ^{3.5})				
4.00	15.00	350	899	1.46	3.75	75.00	2.46	1.30	0.73	0.64	0.61	889	14.77

SISTEMA EQUIVALENTE			
CBR EQUIVALENTE =		14.77	%

CBR			E _{INF.}	E _{SUP.}	E _{EQUIV}	n	n ^{3.5}	(I)	(K)	(L)	tan(L/K)	h1 (cm)	
SUBRASANTE	RELLENO	EQUIV.	(Kg/cm ²)					1-(1/n ^{3.5})	2/π	2/π ¹			1-(E _{INF} /E _{EQUIV})
4.00	15.00	14.77	350	899	889	1.46	3.75	0.73	0.64	0.47	0.61	3.59	75.00

ESPESOR NECESARIO			
para obtener el módulo equivalente			
ALTURA DEL RELLENO (h ₁) =		75.00	cm

$$E_{\text{INFERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

$$E_{\text{SUPERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

h₁ corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \text{Tan} \left[\frac{\left(1 - \frac{E_{\text{inferior}}}{E_{\text{equivalente}}} \right)}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right)} \right]$$

$$n = \left(\frac{E_{\text{superior}}}{E_{\text{inferior}}} \right)^{1/2.5}$$

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Para CBR = 5%

CBR		E _{INF.}	E _{SUP.}	n	n ^{3.5}	h ₁ (cm)	h ₁ / 2a	tan ⁻¹ (n* ^h ₁ /2a) (rad)	(I)	(J)	E _{equiv} Kg/cm2	CBR	
SUBRASANTE	MAT. GRANULAR	(kg/cm ²)							1-(1/n ^{3.5})	2/π			2/π*J*I
5.00	15.00	410	899	1.37	3.00	70.00	2.30	1.26	0.67	0.64	0.54	884	14.66

SISTEMA EQUIVALENTE		
CBR EQUIVALENTE =	14.66	%

CBR			E _{INF.}	E _{SUP.}	E _{EQUIV}	n	n ^{3.5}	(I)	(K)	(L)	h1 (cm)		
SUBRASANTE	RELLENO	EQUIV.	(Kg/cm ²)					1-(1/n ^{3.5})	2/π	2/π*I		1-(E _{INF} /E _{EQUIV})	tan(L/K)
5.00	15.00	14.66	410	899	884	1.37	3.00	0.67	0.64	0.42	0.54	3.15	70.06

ESPESOR NECESARIO		
para obtener el módulo equivalente		
ALTURA DEL RELLENO (h ₁) =	70.06	cm

$$E_{\text{INFERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

$$E_{\text{SUPERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

| h₁ corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \text{Tan} \left[\frac{\left(1 - \frac{E_{\text{inferior}}}{E_{\text{equivalente}}} \right)}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right)} \right]$$

$$n = \left(\frac{E_{\text{superior}}}{E_{\text{inferior}}} \right)^{1/2.5}$$

Para CBR = 6%

CBR		E _{INF.}	E _{SUP.}	n	n ^{3.5}	h ₁ (cm)	h ₁ / 2a	(I)	(J)			E _{equiv} Kg/cm2	CBR
SUBRASANTE	MAT. GRANULAR	(kg/cm ²)						tan ⁻¹ (n*h ₁ /2a) (rad)	1-(1/n ^{3.5})	2/π	2/π*J*I		
6.00	15.00	467	899	1.30	2.50	65.00	2.14	1.22	0.60	0.64	0.47	878	14.51

SISTEMA EQUIVALENTE		
CBR EQUIVALENTE =	14.51	%

CBR			E _{INF.}	E _{SUP.}	E _{EQUIV}	(I)			(K)	(L)			
SUBRASANTE	RELLENO	EQUIV.	(Kg/cm ²)			n	n ^{3.5}	1-(1/n ^{3.5})	2/π	2/π*I	1-(E _{INF} /E _{EQUIV})	tan(L/K)	h1 (cm)
6.00	15.00	14.51	467	899	878	1.30	2.50	0.60	0.64	0.38	0.47	2.77	64.97

ESPESOR NECESARIO		
para obtener el módulo equivalente		
ALTURA DEL RELLENO (h ₁) =	64.97	cm

$$E_{\text{INFERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

$$E_{\text{SUPERIOR}} = 130 \times \text{CBR}^{0.714}$$

| h₁ corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \text{Tan} \left[\frac{\left(1 - \frac{E_{\text{inferior}}}{E_{\text{equivalente}}} \right)}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right)} \right]$$

$$n = \left(\frac{E_{\text{superior}}}{E_{\text{inferior}}} \right)^{1/2.5}$$

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

b) Secciones en corte con presencia de suelos blandos

Para secciones en corte donde se presenten suelos muy blandos con CBR inferiores a 2,5% en condición de humedad natural ó 1,5% en condición sumergida , ó cuando se encuentren rellenos y/o suelos indeseables que requieran reemplazo, para mitigar problemas de hundimientos y/o de deformaciones plásticas, se recomienda tener en cuenta el análisis para terraplenes con un CBR = 2% en la subrasante, con un espesor de 0.90 cm de material de terraplén con material seleccionado con CBR > 10% según el Artículo 220-07 de las Especificaciones INVIAS y obtener un CBR de 15% en la superficie.

VII.5 Nivel de confianza

Esta variable se determina de acuerdo con la categoría de tránsito. Como se aplica en el numeral 8.2.2., del Manual de Diseño de Pavimentos flexibles para medios y Altos volúmenes de tránsito del INVÍAS, el nivel de confiabilidad será el 90%.

VII.6 Diseño del Pavimento

VII.6.1 Unidades Homogéneas

A partir de los parámetros antes analizados para la realización del diseño, es necesario considerar las unidades homogéneas.

a) Secciones de terraplén y/o cortes y rellenos de mejoramiento ó suelos con CBR $\geq$ 15%

Tomando como referencia lo descrito en el Capítulo V, se toma una sola unidad con CBR = 15%, lo cual siempre será válido, como allí se expresa, cuando los suelos de soporte tengan esta resistencia ó cuando los rellenos de mejoramiento permitan obtener un CBR del conjunto y/o equivalente a este valor, generando una plataforma de trabajo de estas características de soporte. ***De lo contrario habría que revisar el diseño de los espesores. En todos los casos los rellenos de mejoramiento tendrán que tener como mínimo un CBR de laboratorio del 15% bajo una compactación del 95%.***

Por esta razón y como se adoptó en el Capítulo IV, es necesario considerar las posibles combinaciones de materiales, analizando, según los CBR de subrasante, las alturas de relleno, para implementar las diferentes alternativas a estudiar para el proyecto y obtener los espesores correspondientes en cada una de las capas, que garanticen un comportamiento estructural adecuado.

A este respecto se reitera lo consignado en el Capítulo IV, en el sentido de que los diseños se realizarán bajo la hipótesis de que no serán necesarias intervenciones estructurales importantes durante la vida útil del pavimento, mientras se mantengan las

condiciones de resistencia del material que conforma la cimentación de la estructura y los niveles de tránsito se conserven dentro de los rangos contemplados. La selección de la alternativa de diseño óptima obedecerá a las condiciones particulares de disponibilidad de materiales en la zona, al respectivo análisis económico y al cumplimiento de los requerimientos y características exigidas para cada uno de los materiales empleados.

VII.6.2 Parámetros de Diseño

Siguiendo la metodología de la Tabla No. 8.3 del Manual para el diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS y con base en los análisis realizados de: condición climática (R), niveles de tránsito (T), resistencia de los suelos (S) y características de los materiales a emplear, se determinaron los parámetros a utilizar para el dimensionamiento de los espesores de la estructura de pavimento, utilizando la carta R3, según se indica en las siguientes tablas:

TABLA VII-9. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA TERRAPLENES Y/O RELLENOS DE MEJORAMIENTO Ó SUELOS CON $CBR \geq 15\%$ ($MR \geq 1500 \text{ KG/CM}^2$)

PERÍODO DE DISEÑO	$N \times 10^6$	CATEGORÍA DE TRÁNSITO	CATEGORÍA SUBRASANTE $CBR \geq 15\%$	CATEGORÍA REGIÓN CLIMÁTICA TMA= 27,5°C PMA= 802 mm
3	4.92	T 4	S 5	R 3
5	7.53	T 5	S 5	R 3
7	10.20	T 6	S 5	R 3
10	14.50	T 7	S 5	R 3
15	22.10	T 8	S 5	R 3
20	30.40	T 9	S 5	R 3

TABLA VII-10. PARÁMETROS DE DISEÑO EN SECCIONES EN CORTE DONDE SE PRESENTAN SUELOS BLANDOS CONTEMPLANDO RELLENOS DE MEJORAMIENTO HASTA DE 0,40 M PARA OBTENER CBR ENTRE 5% Y 7%

PERÍODO DE DISEÑO	$N \times 10^6$	CATEGORÍA DE TRÁNSITO	CATEGORÍA SUBRASANTE $CBR \geq 15\%$	CATEGORÍA REGIÓN CLIMÁTICA TMA= 27,5°C PMA= 802 mm
3	4.92	T 4	S 2	R 3
5	7.53	T 5	S 2	R 3
7	10.20	T 6	S 2	R 3
10	14.50	T 7	S 2	R 3
15	22.10	T 8	S 2	R 3
20	30.40	T 9	S 2	R 3

VII.6.3 Dimensionamiento de las estructuras

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, se dimensionaron los espesores de las capas del pavimento seleccionando tres (3) alternativas de estructuras flexibles, según se contempla en el Manual del INVÍAS para el diseño de pavimentos flexibles para medios y Altos Volúmenes de tránsito así:

- La primera compuesta por capas de concreto asfáltico, tipo MDC-2 y de materiales granulares de base ((BG) y subbase (SBG).
- Una segunda alternativa contemplando concreto asfáltico, tipo MDC-2 una base estabilizada con emulsión asfáltica (B E E) y subbase granular (SBG).
- Finalmente, una tercera opción que involucra concreto asfáltico, tipo MDC-2, una base estabilizada con cemento (BEC) bajo una base granular (BG).

Basado en las cartas de diseño del INVÍAS, correspondientes a la región climática 3, con suelos de categoría S5 ($CBR \geq 15\%$) de donde se adoptan las estructuras allí recomendadas. A continuación se presenta el dimensionamiento estructural para cada período de diseño:

TABLA VII-11. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE ESPESORES PARA ESTRUCTURA CIMENTADA CON TERRAPLÉN Y/O CORTES O RELLENOS DE MEJORAMIENTO PARA UN CBR EQUIVALENTE DEL 15%

PERÍODO DISEÑO	CAT.	OPCIONES	ESPESORES (cm)							
			MDC-2	BG-2	BG-1	BEE-1	BEE-2	SBG-1	BEC	Total
3 AÑOS	T5	Alternativa 1	10,0	20,0				20,0		50,0
		Alternativa 2	7,5			15,0		25,0		47,5
		Alternativa 3	10,0	15,0					20,0	45,0
5 AÑOS	T6	Alternativa 1	10,0	15,0				30,0		55,0
		Alternativa 2	7,5			15,0		25,0		47,5
		Alternativa 3	10,0	20,0					20,0	50,0
7 AÑOS	T 6	Alternativa 1	10,0	15,0				30,0		55,0
		Alternativa 2	7,5			15,0		25,0		47,5
		Alternativa 3	10,0	20,0					20,0	50,0
10 AÑOS	T 7	Alternativa 1	10,0		15,0			35,0		60,0
		Alternativa 2	7,5			15,0		35,0		57,5
		Alternativa 3	10,0	15,0					25,0	50,0
15 AÑOS	T8	Alternativa 1	10,0	25,0				27,5		62,5
		Alternativa 2	7,5				20,0	30,0		57,5
		Alternativa 3	10,0	20,0					25,0	55,0
20 AÑOS	T 9	Alternativa 1	10,0	25,0				30,0		65,0
		Alternativa 2	10,0			15,0		35,0		60,0
		Alternativa 3	10,0	25,0					25,0	60,0

A continuación se plantea el esquema de las alternativas para 20 años de diseño:

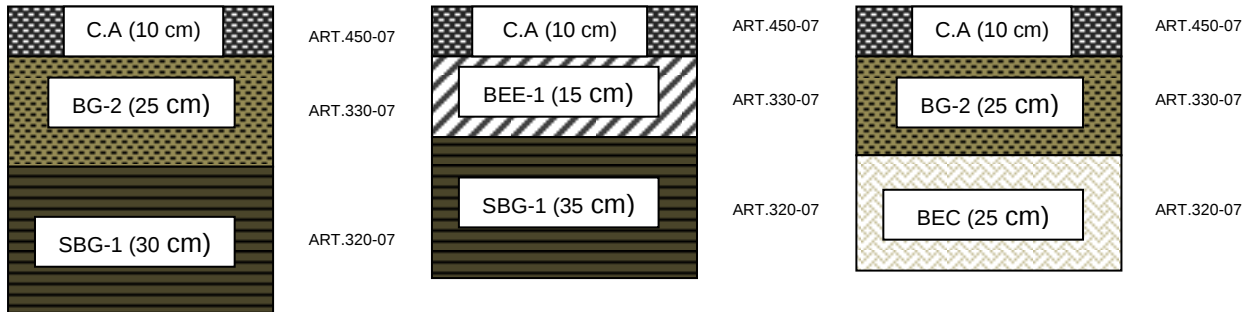
TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

FIGURA VII-1. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS



Como la solicitud de actualización es para veinte (20) años, entonces la estructura seleccionada será:

TABLA VII-12. ESTRUCTURA SELECCIONADA CIMENTADA EN TERRAPLÉN Y/O SUELOS DE MEJORAMIENTO Ó SUELOS CON CBR $\geq$ 15% PARA 20 AÑOS

ALTERNATIVA	CAPA	ESPESOR cm
1	MDC-2	10,0
	BG-2	25,0
	SBG-1	30,0
	SUBRASANTE MEJORADA CBR $\geq$ 15%	
	SUBRASANTE + RELLENO	
TOTAL ALTERNATIVA 1		65
2	MDC-2	10
	BEE-1	15
	SBG-1	35
	SUBRASANTE MEJORADA CBR $\geq$ 15%	
	SUBRASANTE + RELLENO	
TOTAL ALTERNATIVA 2		60
3	MDC-2	10
	BG-2	25
	BEC	25
	SUBRASANTE MEJORADA CBR $\geq$ 15%	
	SUBRASANTE + RELLENO	
TOTAL ALTERNATIVA 3		60

VII.7 Cuarta (4) alternativa de diseño

A solicitud de la Concesión Vía Ruta Caribe, se estudió una alternativa que contemplara una base estabilizada con cemento. El informe completo de dicho estudio, aparece en el Anexo D “Informe De Ajuste De Los Diseños De Pavimento Del Proyecto De La Variante De Palmar De Varela Incluyendo El Diseño De Cinco (5) Intersecciones A Nivel”.

El estudio antes mencionado, realizado por ISOVIAL, se basó en las siguientes premisas:

- a. El tránsito de diseño actualizado para los periodos de diseño de 5 y 10 años son 7.670.000 y 14.750.000 ejes equivalentes de 8.2 toneladas respectivamente.
- b. Con base en la evaluación Geotécnica realizada por la empresa Echeverry Ingeniería y Ensayos LTDA, se adoptó el CBR de diseño con un valor de 15% y módulo resiliente de diseño es de 997 kg/cm² o 99 MPa. Para lo cual se debe garantizar el material de Terraplén a lo largo de todo el tramo evaluado en la altura recomendada por el área de geotecnia, de 90 cm o en su defecto, la reposición de material en el mismo espesor.
- c. Se dimensionaron las siguientes alternativas de diseño para 5 y 10 años respectivamente, las cuales presentan espesores mayores en comparación con las alternativas contempladas en el diseño revisado, por el Manual del INVIAS. Lo anterior, dado que para el diseño se empleó el método ASSTHO de 1993 y para la verificación de esfuerzos y deformaciones se realizó con leyes de fatiga que representan los materiales y mezclas producidas en Colombia. En el caso particular de la estructura de la alternativa 1, el espesor de capa asfáltica no se pudo reducir, dado que un espesor menor no cumple el criterio de deformación a tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica.
 - Alternativa 4.1 (Alternativa 1 de Anexo D): Colocación de una mezcla asfáltica sobre base granular y está a su vez apoyada sobre el material de terraplén.
 - Alternativa 4.2 (Alternativa 2 de Anexo D): Colocación de una mezcla asfáltica sobre una base estabilizada con cemento, y está a su vez apoyada sobre el material de terraplén.

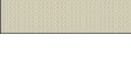
TABLA VII-13. ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ALTERNATIVA 4.1

Capa		5 Años	10 Años
		NESE: 7.670.000	NESE: 14.750.000
		Espesor, cm	Espesor, cm
Capa Asfáltica		24	28
Base granular		25	25
Subrasante (Material de Terraplén)			

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

TABLA VII-14. ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ALTERNATIVA 4.2

Capa		5 Años	10 Años
		NESE: 7.670.000	NESE: 14.750.000
		Espesor, cm	Espesor, cm
Capa Asfáltica (rodadura)		7	10
Geomalla Biaxial			
Capa Asfáltica (Intermedia)		6	8
Base estabilizada con Cemento		20	20
Base Granular		20	20
Subrasante (Material de Terraplén)			

- d. Para la alternativa 4.2 se contempla colocar una geomalla biaxial de refuerzo en la capa asfáltica, con el fin de disminuir el riesgo de reflexión de fisuras a la superficie de la misma, está se debe colocar entre la capa de rodadura y capa intermedia de mezcla asfáltica. No obstante, será el concesionario quien decida finalmente su utilización. En caso de no colocarse, los espesores de pavimento son los mismos.

VII.8 Verificación por Métodos Racionales

Las estructuras seleccionadas para un período de diseño de veinte (20) años se verificaron por la teoría racional y/o elástica, aplicando las ecuaciones de fatiga de la metodología SHELL, para una confiabilidad del 85% (similar a la del Manual del INVÍAS), cotejando que las deformaciones admisibles de tracción en fibra inferior de las capas asfálticas y las de compresión en la subrasante no superen los valores admisibles.

Para este efecto, se parte de las estructuras diseñadas por el Manual del Instituto Nacional de Vías para medios y altos volúmenes de tránsito, con el fin de verificar que los esfuerzos y las deformaciones no superen a los valores admisibles. Para ello se utilizó el programa DEPAV para la evaluación de los esfuerzos y deformaciones, en cuanto a las leyes de fatiga de los materiales y analizar que las estructuras propuestas, cumplen con los criterios de control de fatiga y control de Ahuellamiento.

Los criterios de comportamiento ó modelos de falla de los materiales están definidos por los siguientes criterios en la metodología SHELL y del Instituto del Asfalto:

- Fisuramiento por fatiga en la capa asfáltica en sus fibras inferiores, para lo cual se define una ley de fatiga, mediante la cual se establece de acuerdo con las

características de la mezcla asfáltica y las repeticiones una deformación admisible (ϵ admisible).

- Deformaciones permanentes a nivel de la subrasante y/o ahuellamiento, la cual igualmente se define con una ley de fatiga, de acuerdo con el nivel de repeticiones (ϵ admisible):

Este método es de tipo racional, el cual considera la estructura de pavimento, (capa asfáltica, capas granulares y subrasante), como un sistema multicapa linealmente elástico, en el cual los materiales se encuentran caracterizados por su módulo de elasticidad de Young y su relación de Poisson μ .

Los materiales de la estructura se consideran homogéneos e isotrópicos, y se supone que las capas tienen una extensión infinita en el sentido horizontal. El tránsito se expresa en términos de ejes equivalentes de 8.2 Ton.

El procedimiento supone al pavimento como una estructura tricapa, en la que la capa superior corresponde a las carpetas asfálticas, la intermedia a las capas granulares (o estabilizadas con cemento, cal, etc) y la inferior que es infinita en sentido vertical corresponde a la subrasante.

El método de diseño consiste en elegir la combinación de espesores y características de los materiales y características de sus materiales (E , μ) de manera que se cumpla un determinado criterio de deformación.

El método utiliza un software de computación Bisar, para el cálculo de los esfuerzos y las deformaciones en cualquier punto de la estructura.

VII.8.1 Parámetros de Diseño

La metodología racional de diseño de pavimentos flexibles, en general considera los siguientes parámetros de diseño

a) Tránsito de diseño

Esta variable se encuentra expresada en ejes equivalentes de 8,2 toneladas que circulan en el carril de diseño durante el período de diseño. El tránsito de diseño para el período de diseño, expresado en ejes equivalentes de 8,2 toneladas es de:

$$N = 31,8 \times 10^6 \text{ Ejes de 8,2 toneladas}$$

b) Módulo de la Subrasante

Para la estimación del módulo de la subrasante se considera la siguiente situación:

b.1) Secciones en Terraplén y/o cortes con rellenos de mejoramiento ó suelos con $CBR \geq 15\%$

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

En este caso se tiene un valor de CBR = 15%, el cual corresponde a los suelos con esta resistencia ó de un valor equivalente que resulta del mejoramiento de la subrasante con rellenos de material granular.

Para determinar el valor del Módulo Resiliente MR, se utiliza la ecuación No. 1

$$MR = 130 * CBR^{0.714} \quad \text{ECUACIÓN 1}$$

Reemplazando en la ecuación No. 1, se obtiene:

$$MR = 130 * 15^{0.714} = 898.82 \frac{Kg}{cm^2} \cong 900 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$MR \text{ equivalente: } 900 \text{ kg/ cm}^2 = 12.798 \text{ PSI}$$

c) Velocidad de operación y tiempo de aplicación de cargas

Para aplicar los métodos racionales en el diseño de pavimentos flexibles es necesario considerar la velocidad de operación de los vehículos que circulan por la carretera en estudio y el tiempo de aplicación de cargas, pues ella incide en la determinación de las cargas sobre la estructura del pavimento en lo referente a los esfuerzos, deformaciones y deflexiones.

Para el cálculo del tiempo de aplicación de cargas se utiliza la ecuación No. 2:

$$\log t = 0.005h_{asf} - 0.2 - 0.94 \log V \quad \text{ECUACIÓN 2}$$

Donde: t = tiempo de aplicación de la carga, seg
 h_{asf} = espesor supuesto de la capa asfáltica, cm (10 cm)
 V = velocidad de operación del vehículo, km/hora

Se adopta para la variante una velocidad entre 40 km/hora y 60 km/hora aproximadamente; para efectos de cálculo se adopta una velocidad promedio de 50 km/h.

Reemplazando en la ecuación No. 2, se obtiene:

$$\log t = 0.005(0.10) - 0.2 - 0.94 \log(50)$$

$$t = 0.018 \text{ seg} \cong 0.02 \text{ seg}$$

En el caso del cálculo de la frecuencia de aplicación de cargas, se utiliza la ecuación No. 3:

$$F = 1/(2\pi t) \quad \text{ECUACIÓN 3}$$

$$F = \frac{1}{2\pi * 0.02} = 8.0 \text{ Hertz}$$

En resumen, se tiene:

t = 0.02 seg

F= 8,0 Hertz

d) Características climáticas de la zona

Se debe considerar la determinación de las condiciones climáticas de la zona por donde discurre el proyecto relativas a la temperatura ambiente para determinar posteriormente el comportamiento de las mezclas asfálticas.

Para la Variante Palmar de Varela, se tienen las siguientes características climáticas:

T WMAAT: 27,5°C

Precipitación media anual: PMA: 1100 mm/ año

e) Caracterización de los materiales granulares de la estructura del pavimento

Las propiedades mecánicas de los materiales se definen con los respectivos módulos de las capas de estructura del pavimento (E) y la relación de Poissons (μ).

e.1) Módulo resiliente de materiales granulares

El módulo resiliente de las capas granulares de subbase y base dependen del estado de esfuerzos al que están sometidos y del material sobre el que se apoyan. Según el método SHELL, el módulo de las capas granulares se puede calcular en función del módulo de la subrasante ó apoyo y del espesor de la respectiva capa, mediante la ecuación No. 4, así:

$$Mr_{sbg} = 0.26 * h_{sbg}^{0.45} * Mr \quad \text{ECUACIÓN 4}$$

Donde:

Mr_{sbg} = Módulo resiliente de la capa granular
h_{sbg} = Espesor de la capa de subbase (mm)
Mr = Módulo de la subrasante

La expresión general es:

$$Mr_{n-1} = K Mr_n$$

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

$$K = 0,206 \times H^{0,45}$$

Esta expresión es válida para el cálculo de los módulos, si se cumple la siguiente relación:

$$2 < \frac{Mr_{n-1}}{Mr_n} < 4$$

Sí al efectuar el cálculo el módulo analizado arroja un valor inferior a dos (2) veces el subyacente, se toma el doble de la capa subyacente. Sí resulta mayor de cuatro veces el módulo subyacente se toma como máximo cuatro veces el subyacente.

Como anteriormente se obtuvieron por el Manual del Instituto Nacional de Vías para medios y Altos volúmenes de tránsito unas estructuras, bajo dos (2) condiciones de resistencia de la subrasante, inicialmente se partió de dichos espesores para realizar la evaluación por los métodos racionales y, en este caso, aplicando la metodología SHELL, bajo una confiabilidad del 85%.

Cada condición respecto de la resistencia de la subrasante, según mejoramiento, de acuerdo con la Tabla No. 25, tiene tres (3) alternativas a saber: a) La primera compuesta por capas de concreto asfáltico, tipo MDC-2 y de materiales granulares de base ((BG) y subbase (SBG); b.-) Una segunda alternativa contemplando concreto asfáltico, tipo MDC-2 una base estabilizada con emulsión asfáltica (BEE) y subbase granular (SBG) y Finalmente, c.-) una tercera opción que involucra concreto asfáltico, tipo MDC-2, una base estabilizada con cemento (BEC) bajo una base granular (BG).

e.2) Secciones en Terraplén y/o cortes con rellenos de mejoramiento ó suelos con CBR≥15%

Con base en los resultados descritos en la TABLA VII-12, a continuación en las TABLAS VII-13, VII-14 y VII-15, se resumen las alternativas obtenidas, incluyendo el valor del Módulo Resiliente de la subrasante.

TABLA VII-15. ALTERNATIVA 1 SOBRE SUBRASANTE MEJORADA, UTILIZANDO SUBBASE, BASE GRANULAR Y CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO PARA INCORPORAR EN EL MODELO

Capa	Espesor cm
Concreto asfáltico (MDC-2)	10,0
Base granular (BG-2)	25,0
Subbase granular (SBG-1)	30,0
MR=12.714 PSI (890 k/ cm ²)	

Solamente se toman capas asfálticas y una capa granular (en este caso la suma del espesor de la base granular y la subbase granular).

TABLA VII-16. ALTERNATIVA 2 SOBRE SUBRASANTE MEJORADA, UTILIZANDO SUBBASE GRANULAR, BASE ASFÁLTICA ESTABILIZADA CON EMULSIÓN Y CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Capa	Espesor cm
Concreto asfáltico (MDC-2)	10,00
Base Estabilizada (BEE-1)	15,0
Subbase granular (SBG-1)	35,0
MR=12.714 PSI (890 k/ cm ²)	

TABLA VII-17. ALTERNATIVA 3 SOBRE SUBRASANTE MEJORADA UTILIZANDO, BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO, BASE GRANULAR Y CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Capa	Espesor cm
Concreto asfáltico (MDC-2)	10,00
Base Granular (BG-2)	25,0
Base estabilizada con Cemento	25,0
MR=12.714 PSI (890 k/ cm ²)	

De acuerdo con esta información se calculan los módulos Resilientes de las capas granulares, los cuales se presentan en las TABLAS VII-16 y VII-17.

TABLA VII-18. CBR ≥ 15% ALTERNATIVA 1 BASE Y SUBBASE GRANULAR Y CARPETA CÁLCULO DE MÓDULOS DE CAPAS GRANULARES

Capa	Espesor mm	Módulo k/cm ² En-1	Criterio SHELL Módulo $En = 0,2 \times E \times n-1 \times Hn^{0,45}$ kg/ cm ²	Módulo Capa granular kg/ cm ²
Subrasante			890	
Capas granulares	550	890	3045	3045
$2 < En/ En-1 < 4$ (890-3560 kg/cm ²)			3,42 OK	

TABLA VII-19. CBR ≥ 15% ALTERNATIVA 2 SUBBASE GRANULAR, BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN Y CARPETA CÁLCULO DE MÓDULOS DE CAPAS GRANULARES

Capa	Espesor mm	Módulo k/cm ² En-1	Criterio SHELL Módulo $En = 0,2 \times E \times n-1 \times Hn^{0,45}$ kg/ cm ²	Módulo Capa granular kg/ cm ²
Subrasante			890	
Capas granulares	350	890	2485	2485
$2 < En/ En-1 < 4$ (890-3560 kg/cm ²)			2,79 OK	

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Para la alternativa 3 donde se utiliza base estabilizada con cemento, para la base granular se adopta un valor de 3500 kg/ cm².

f) Mezcla Asfáltica

f.1) Módulo de la capa asfáltica

Para determinar el módulo de la capa asfáltica, no se tienen datos sobre ensayos Marshall que permitan conocer la composición volumétrica de la mezcla. Por tal motivo se adoptan los siguientes:

Volumen de Bitumen (%) en la Mezcla = 13,0
Volumen de agregado (%) en la mezcla = 82,5
Volumen Vacíos (%) = 4,5

f.2) Tipo de Mezcla

Dada las condiciones de tránsito y climáticas del proyecto se selecciona una mezcla de concreto asfáltico categorizada en la metodología de diseño SHELL, como S1-F1-50 (mezcla densa de alta rigidez/ S1 y alta resistencia a la fatiga/ F1 y asfalto 60-70), lo que significa:

Mezclas del tipo S1: Mezclas corrientes de cemento asfáltico de alta rigidez con contenidos normales ó promedios de agregados, porcentaje de asfalto y contenido de vacíos con aire. S1: Mayor rigidez (mezcla densa).

Mezclas del tipo F1: Las cuales son mezclas de alta resistencia y cantidades moderadas de vacíos con aire y asfalto, con mayor vida.

Asfalto 50: Como se trata de una zona de clima cálido, se adopta un cemento asfáltico de penetración 60-70 1/10 mm, que es el más similar a los asfaltos que produce Ecopetrol en Colombia al requerido por la SHELL en estos casos.

Esta mezcla S1-F1-50, correspondería en la práctica a la que se encuentra especificada en el artículo INV-450 como MDC-2 (rodadura) y MDC-1 (base asfáltica)

f.3) Temperatura de la mezcla (TMIX)

Corresponde a la temperatura de servicio de la mezcla, la cual en la metodología Shell, se calcula a partir de la temperatura anual ponderada T WMAAT y el espesor de las capas asfálticas.

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Para nuestro caso se parte de los siguientes datos:

T WMAAT : 27,5°C

Espesor probable: 10,0- 15,0 cm

Se utiliza la FIGURA VII-13 que corresponde a la carta RT de la SHELL (cálculo de la temperatura de la mezcla asfáltica), en donde se entra con la T WMAAT y con espesor aproximado de 12 cm, para el cálculo del TMIX.

Al leer en la curva RT resulta un TMIX = 39°C

f.4) Penetración asfalto

La temperatura de la zona por donde discurre el corredor es de 27,5 °C y el tránsito de la vía es de $N = 31,8 \times 10^6$ (tránsito NT3 > 5×10^6). El Instituto Nacional de vías en su Artículo INV-400, Tabla 400.2, para estas condiciones recomienda utilizar asfaltos de penetración 60-70.

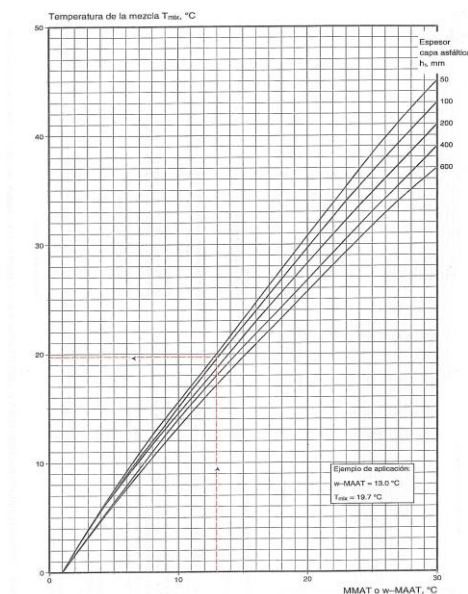
En consecuencia la penetración (25°C) = 60 1/10 mm

T800 = 50°C (Punto de ablandamiento)

$\Delta T = T_{800} - T_{mix} = 50 - 39 = 11^\circ\text{C}$

Tiempo aplicación de carga = 0,02 seg (frecuencia 8,0 Hertz)

FIGURA VII-2. CARTA RT CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA



TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Fuente: SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY LIMITED. Shell pavement design manual – asphalt pavements and overlays for road traffic. Londres, 1978, p. 67.

TABLA VII-20. RECOMENDACIONES DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SOBRE EL TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA ZONA Y EL TRÁNSITO

TIPO DE CAPA	NT1			NT2			NT3		
	TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA DE LA REGIÓN (°C)								
	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15
Rodadura e intermedia	60 – 70	60 – 70 u 80 – 100	80 – 100	60 – 70	60 – 70 u 80 – 100	80 – 100	60 – 70 o Tipo III	60 – 70 o Tipo II	80 – 100 o Tipo II
Base	–	–	–	60-70 u 80-100	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80 – 100
Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura	–	–	–	Tipo II o Tipo III	Tipo II o Tipo III	Tipo II o Tipo III	Tipo II o Tipo III	Tipo II o Tipo III	Tipo II o Tipo III
Mezcla drenante	–	–	–	Tipo I o Tipo II	Tipo I o Tipo II	Tipo I o Tipo II	Tipo I o Tipo II	Tipo I o Tipo II	Tipo I o Tipo II
Alto módulo	–	–	–	–	–	–	Tipo V	Tipo V	Tipo V

Fuente: Especificaciones generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías, Bogotá año 2007, Tabla 400.2, Artículo INV-400

A continuación se presentan las cartas que se utilizarán para el chequeo de los esfuerzos y deformaciones de las alternativas de estructura de pavimentos planteadas.

f.5) Stiffness del asfalto

Se calcula con los siguientes datos:

$T_{800} = 50^{\circ}\text{C}$ (Punto de ablandamiento)

$IP = -0,8$

$\Delta T = T_{800} - T_{\text{mix}} = 50 - 39 = 11^{\circ}\text{C}$

Tiempo aplicación de carga = 0,02 seg (frecuencia 8,0 Hertz)

Se utiliza el programa BANDS de la Shell para el cálculo del stiffness del Asfalto, de la FIGURA VI-2, se encontró un valor de 0,8 MPa ~ 1,0 MPa.

FIGURA VII-3. PROGRAMA BANDS, CÁLCULO DEL STIFFNESS DEL ASFALTO (SHELL)

Bitumen Stiffness (SBIT) : 1

Select Calculation Method

☐ Softening Point (T800Pen) and Penetration Index
☒ Softening Point (T800Pen) and Penetration with Temperature
☐ Use 2 x Penetration with Temperature
☐ Penetration with Temperature and Penetration Index

Input Parameters

Parameter	Unit	Range	From	To	Step
Time of Loading	Seconds	☐ ?	.02		
Bitumen Temp.	°C	☐ ?	39		
Softening Point (T800Pen)	°C	☐ ?	50		
Pen Value	0.1mm	☐ ?	60		
Pen Temp.	°C		25		

Results

Bitumen Stiffness MPa 7.66E-01
 Penetration Index - -0.8

Con base en lo anterior, el valor mínimo del stiffness contemplado en la metodología Shell es de 5.0 MPa, aspecto que sustenta la necesidad de mejorar las condiciones de la mezcla con bitumen de menor susceptibilidad térmica. Para la estimación del módulo de la mezcla, se ha adoptado el mínimo valor teórico mencionado (5.0 MPa).

f.6) Módulo Dinámico de la mezcla tipo concreto asfáltico (Smix)

Con los datos del módulo del asfalto y composición de la mezcla se entra a la FIGURA VI-3, correspondiente al ábaco de la Shell, Nomograma Smix, y se determina el módulo de la mezcla.

Volumen de asfalto de la mezcla, $V_b = 13.0\%$
 Volumen de agregados de la mezcla, $V_g = 82,5 \%$
 Volumen de vacíos: $V_a: 4,5\%$

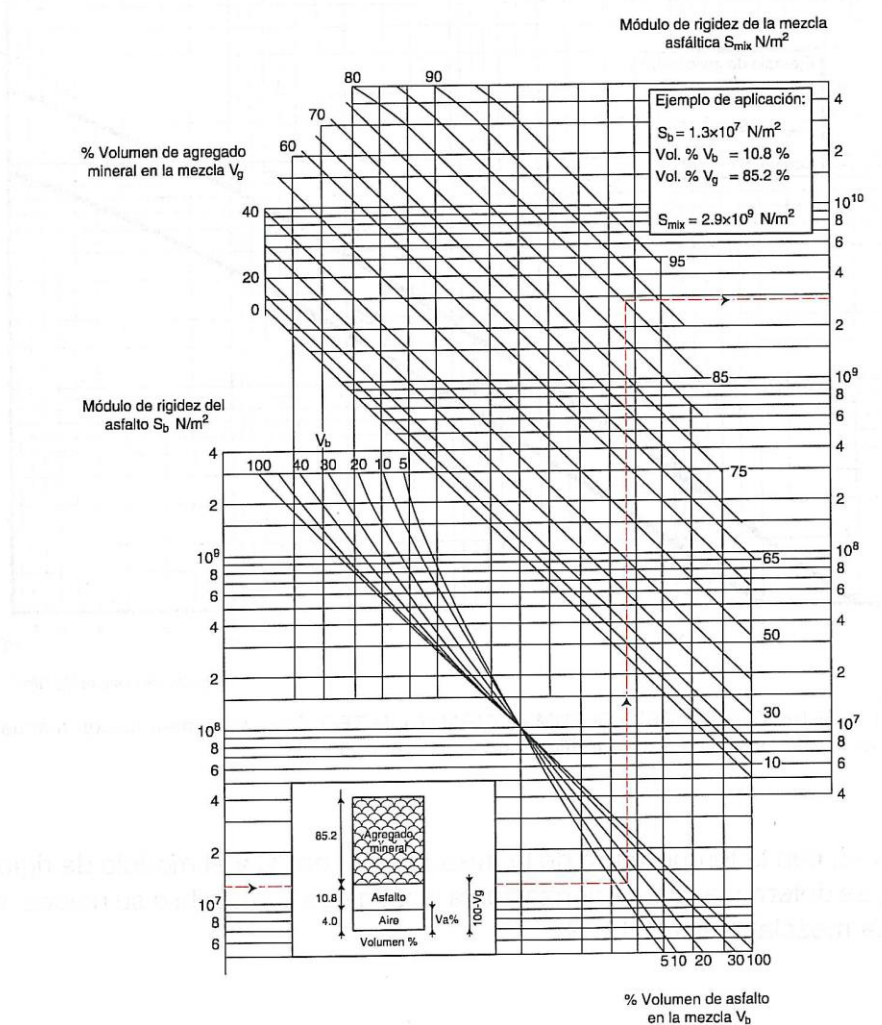
Módulo dinámico del asfalto, $S_{asf} = 5 \text{ MPa}$

$$S_{mix} = 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$S_{mix} = 10.000 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{mix} = 142.857 \text{ lb/pulg}^2$$

FIGURA VII-4. NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DE MÓDULOS DINÁMICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (BONNAURE Y OTROS)



Fuente: SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY LIMITED. Shell pavement design manual – asphalt pavements and overlays for road traffic. Londres, 1978, p. A-4.

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Utilizando el programa BANDS de la SHELL, de la FIGURA VI-4, obtenemos:

Módulo dinámico del asfalto, $S_{asf} = 5 \text{ MPa}$

$S_{mix} = 1060 \text{ MPa} = 10.600 \text{ k/cm}^2$

Se adopta un $S_{mix} = 10.600 \text{ kg/cm}^2$

FIGURA VII-5. APLICACIÓN DEL PROGRAMA BANDS CALCULO DEL MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA

Asphalt Mix Stiffness (SMIX) : 1

Parameter	Unit	Range	From	To	Step
Bitumen Stiffness	MPa	☐ ?	5		
Volume Percentage Bitumen	%v/v	☐ ?	13		
Volume Percentage Aggregate	%v/v	☐ ?	82.5		

Results

Percentage Voids	%v/v	4.50
Mix Stiffness	MPa	1060

También se verificó el cálculo del módulo dinámico de la mezcla aplicando la metodología SHELL, utilizando la hoja de cálculo que se presenta en la TABLA VII-27, basada en elementos finitos, resultando un valor de 11964 k/cm^2 y 9970 k/cm^2 con factor de seguridad que es muy similar al hallado anteriormente.

TABLA VII-21. CALCULO DEL MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA (HOJA DE CÁLCULO)

Formulaciones para estimar módulos de Shell					
t=1/(2*pi*f)	donde:	f=frecuencia; pi=3,1416; t=tiempo de carga			
		t=0,02 seg para V= 45 - 60 kph			
Tipo de Asfalto	APIAY		Original	Residual	
	Penetración a 25 oC		70	42	
	Pto Ablandamiento, oC.		48	57.7	
	Índice Penetración, form		-0.9	0.1	
Tmix, oC.	39	Módulo del Asfalto,MN/m2			5
Características de la Mezcla					
Vol vacíos, %	Va	5	B1	10.5798526	
Vol asfalto, %	Vb	12	B2	9.9422415	
Vol agregado, %	Vg	83	B3	0.67076667	
Total		100	B4	0.48343676	
			S1,MN/m2	1,174	para 5<Sbit<1,000 MN
			S2,MN/m2	4,810	para 1,000<Sbit<3,000MN
				Sin FS	Con FS=1.2
Módulo Estimado de la Mezcla, kg/cm2			11,964	9,970	

f.7) Módulo de mezcla asfáltica estabilizada con emulsión

Las mezclas estabilizadas con emulsión configuran una mezcla asfáltica en frío. Para el análisis de fatiga se acude a las ecuaciones de la SHELL.

Para estimar este módulo de base estabilizada con emulsión se recurre a la Guía Metodológica del INVÍAS para la Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos, donde en la Tabla 5.2.3, página 352, se recomiendan valores sobre módulos y datos de composición volumétrica para mezclas con emulsión asfáltica, los cuales se presentan en la TABLA VII-28.

Para interpretar los datos consignados en la Tabla 5.2.3. mencionada y particularmente los tipos de mezclas de la Guía de Rehabilitación del INVÍAS, se debe señalar la siguiente clasificación de bases estabilizadas con emulsión asfáltica:

- ☞ **Tipo I.** Mezclas en planta con agregados procesados de gradación densa, con propiedades similares al concreto asfáltico.
- ☞ **Tipo II.** Mezclas con agregados semiprocesados.
- ☞ **Tipo III.** Mezclas con arenas o arenas limosas.

En las últimas investigaciones y experiencias a nivel Nacional e Internacional que se han desarrollado, se incluye para este tipo de mezclas la adición de cemento en estabilizaciones tanto con emulsiones asfálticas como con asfalto espumado.

**TABLA VII-22. MÓDULOS Y DATOS DE COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA PARA MEZCLAS
CON EMULSIÓN ASFÁLTICA**

TIPO DE MEZCLA	MÓDULO SIN CURAR A 23°C (MPa)	MÓDULO CURADO A 23°C (MPa)	MÓDULO CURADO A 38°C (MPa)	VOLUMEN DE VACÍOS (Vv)	VOLUMEN DE ASFALTO (Vb)
I	1,034	5,171	1,724	8.0	9.0
II	793	2,758	862	8.0	9.0
III	414	1,034	345	8.0	9.0

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. 2 ed. Bogotá: INVIAS, 2008. p.352.

Aplicando el criterio del Instituto del asfalto y de la Guía Metodológica del INVÍAS para rehabilitación de pavimentos asfálticos, se adopta un módulo de 800 MPa, que corresponde a los de tipo de mezcla II.

Módulo Capa reciclada estabilizada con emulsión = 800 MPa
 V_v (vacíos) = 8% V_b (asfalto) = 9%

f.8) Módulo de base estabilizada con cemento

De acuerdo con la TABLA VI-28, se adopta un valor de 2200 MPa atendiendo los valores planteados en la Guía de rehabilitación del Instituto nacional de vías, para la condición inicial de trabajo y posteriormente cuando se ha deteriorado por el tránsito.

TABLA VII-23. MÓDULOS PARA MATERIALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO

TIPO DE MATERIAL	MÓDULO DE ELASTICIDAD, MATERIAL INTACTO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD, MATERIAL DETERIORADO POR TRÁNSITO (MPa)
Agregado estabilizado con cemento	5,000 a 10,000 (típico 7,000)	700
Agregados estabilizados con cemento, gradación abierta	5,000	350
Suelo - cemento	350 a 10,500 (típico 3,500)	175

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. 2 ed. Bogotá: INVIAS. 2008. Tabla 5.2.5 p.357.

f.9) Relaciones de Poisson de los materiales

Con base en la TABLA VII-22, se adoptan los siguientes valores para la Relación de Poisson:

TABLA VII-24. RELACIONES DE POISSON DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

MATERIAL	RANGO	VALOR TÍPICO
Concreto asfáltico	0,35-0,40	0,35
Base granular ó Subbase Granular	0,30-0,40	0,40
Suelo cemento	0,15-0,25	0,25
Suelos finos	0,40-0,50	0,45

Fuente: Elaboración propia

g) Leyes de Fatiga

g.1) Mezclas tipo concreto asfáltico

- **Criterio de la SHELL para determinar la deformación radial admisible de tracción de la capa asfáltica (ϵ_t admisible)**

La ley de fatiga de la Shell se expresa de acuerdo con la ecuación No. 5:

$$\epsilon_{r adm} = (0.856V_b + 1.08)E_1^{-0.36} \left(\frac{N}{K}\right)^{-0.20} \quad \text{ECUACIÓN 5}$$

Donde: $\epsilon_r adm = \epsilon_t admisible$ = Deformación de tracción admisible de la capa asfáltica.

V_b = Porcentaje en volumen del asfalto en la mezcla

E_1 = Módulo dinámico de la mezcla asfáltica en N/m^2

N = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8,2 toneladas

K = Coeficiente de Calage ($K_1 \times K_2 \times K_3$)

El modelo de fatiga de la SHELL incorpora el coeficiente de Calage, que relaciona el número de aplicaciones de carga de diseño y el número de aplicaciones de carga en un ensayo de laboratorio. El factor considera principalmente variaciones laterales de las cargas de tránsito, condiciones de temperatura de trabajo de la mezcla y diferentes estados de tensiones.

Normalmente se adopta como coeficiente de Calage un $K= 10$

Para el cálculo de la deformación admisible de tracción (ϵ_t admisible) se toman los siguientes valores:

$V_b = 13,0 \%$

$E_1 = 10.600 \text{ kg/ cm}^2 = 10,60 \times 10^8 \text{ N/ m}^2$

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

$$N = 31,8 \times 10^6$$

$$K = 10$$

$$\epsilon_t = (0,856 V_b + 1,08) \times (10^5 \times S_{mix})^{-0,36} \times (N/10)^{-0,20}$$

$$\epsilon_t = (0,856 \times 13,0 + 1,08) \times (10,6 \times 10^8)^{-0,36} \times (31,8 \times 10^6 / 10)^{-0,20}$$

$$\epsilon_t = (12,208) \times 0,0005635 \times 0,050 = 3,4396 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon_t \text{ admisible} = 3,4396 \times 10^{-4}$$

– **Criterio de la Shell para determinar la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante (ϵ_z admisible)**

El criterio de la Deformación admisible de compresión sobre la subrasante está en función del nivel de confiabilidad, y sus expresiones de cálculo para diferentes niveles de confianza son los que se presentan en la TABLA VII-23, los cuales se encuentran en función del tránsito:

TABLA VII-25. DEFORMACIÓN ADMISIBLE CRITERIO SHELL (ϵ_z ADMISIBLE)

NIVEL DE CONFIANZA	ECUACIÓN
50%	$(\epsilon_z \text{ admisible}) = 2,80 \times 10^{-2} \times N^{-0,25}$
85%	$(\epsilon_z \text{ admisible}) = 2,10 \times 10^{-2} \times N^{-0,25}$
95%	$(\epsilon_z \text{ admisible}) = 1,80 \times 10^{-2} \times N^{-0,25}$

Fuente: Elaboración Propia

Donde: ϵ_z admisible = Deformación de compresión vertical admisible
 N = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8,2 toneladas
 $N = 31,8 \times 10^6$

De acuerdo con lo anterior, en la TABLA VII-24, se presentan las deformaciones admisibles por compresión, obtenidas en la subrasante, para cada uno de los niveles de confianza.

TABLA VII-26. Deformación admisible por compresión (ϵ_z)

Nivel de Confianza	Ecuación	N Diseño	Valores Admisibles ϵ_z
50%	$\epsilon_z = 2,80 \times 10^{-2} \times N^{-0,25}$	$31,8 \times 10^6$	$3,73 \times 10^{-4}$
85%	$\epsilon_z = 2,10 \times 10^{-2} \times N^{-0,25}$	$31,8 \times 10^6$	$2,80 \times 10^{-4}$
95%	$\epsilon_z = 1,80 \times 10^{-2} \times N^{-0,25}$	$31,8 \times 10^6$	$2,40 \times 10^{-4}$

Fuente: Elaboración Propia

Se adopta la deformación admisible para una confiabilidad del 85%.

g.2) Capas estabilizadas con emulsión

Se aplica igualmente la ecuación No. 5, que permite determinar la fatiga, mediante la metodología SHELL, pero utilizando la composición volumétrica de este tipo de mezcla y el factor de Calage ajustado a esta condición.

El modelo de fatiga de la SHELL incorpora el coeficiente de Calage, que relaciona el número de aplicaciones de carga de diseño y el número de aplicaciones de carga en un ensayo de laboratorio. El factor considera principalmente variaciones laterales de las cargas de tránsito, condiciones de temperatura de trabajo de la mezcla y diferentes estados de tensiones.

➤ Coeficiente de Calage (K)

$$K = K_1 \times K_2 \times K_3$$

En la TABLA VII-25, se presentan los valores de los Coeficientes de Calage, para diferentes tipos de mezclas.

TABLA VII-27. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FACTOR DE CALAGE

Autorreparación de fisuras pequeñas	K_1	Mezclas abiertas con bajos porcentajes de asfalto	Mezclas densas con altos porcentajes de asfalto
		2.0	10.0
Distribución lateral de cargas	K_2	2.5	
Diferentes temperaturas de trabajo de la mezcla por día por año	K_3	Espesores pequeños Temperaturas bajas	Espesores altos Temperaturas altas
		1.00	0.33

Fuente: Universidad del Cauca, Curso de Especialización de Vías terrestres. Popayán, 1985.

Para el cálculo de la deformación admisible de tracción (ϵ_t admisible) en mezclas estabilizadas con emulsión se toman los siguientes valores de composición volumétrica para mezclas asfálticas:

$$V_b = 9,0\% \quad (\text{volumen de asfalto})$$

$$V_v = 8,0\% \quad (\text{volumen de vacíos})$$

$$V_g = 83,0 \quad (\text{volumen de agregados})$$

$$E_1 = 8.000 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Módulo capa estabilizada})$$

$$K = 1,65 \quad (2 \times 2,5 \times 0,33)$$

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Por lo tanto, para determinar la deformación admisible de tracción en la capa estabilizada con emulsión, se utiliza, como ya se menciona la ecuación No. 6 de la SHELL, pero colocando una composición volumétrica acorde con este tipo de mezcla, que es distinta al concreto asfáltico y sobre lo cual, se adoptaron los valores ya mencionados:

$$\epsilon_r \text{ adm} = \epsilon_t = (0,856 V_b + 1,08) E_1^{-0,36} (N/K)^{-0,20} \quad (\text{ecuacion 6})$$

$$K = 1,65$$

$$N = 31,8 \times 10^6$$

$$E_1 = 9.000 \text{ Kg/ cm}^2 = 9,0 \times 10^8 \text{ N/ m}^2$$

$$V_b = 9\%$$

$$\epsilon_t = (0,856 \times 9 + 1,08) (8 \times 10^8)^{-0,36} (31,8 \times 10^6 \text{ N/1,65})^{-0,20}$$

$$\epsilon_t = 1,91 \times 10^{-4}$$

g.3) Capa estabilizada con cemento

El análisis de la etapa de fatiga se hace en función de la tensión en la cara inferior de la capa reciclada. Algunos métodos consideran leyes de fatiga en función del valor del esfuerzo de tensión (σ_t) y otros en función del valor de deformación de tensión (ϵ_t).

La nueva guía AASHTO presenta la ecuación No. 6:

$$\log Nf = \frac{\left(0.972\beta_{c1} - \left(\frac{\sigma_t}{MR}\right)\right)}{0.0825\beta_{c2}} \quad \text{ECUACIÓN 6}$$

Donde: Nf: Número de repeticiones hasta alcanzar la falla = $31,8 \times 10^6$
MR: Módulo de rotura a 28 días.

σ_t : Esfuerzo de tensión en la base de la capa.

β_{c1} y β_{c2} : Coeficientes de calibración (1 por defecto).

– Propiedades Estructurales Básicas

Las propiedades estructurales del suelo-cemento dependen del tipo de suelo, condiciones de curado, y edad. Los rangos típicos para una amplia variedad de tipos de suelo-cemento, a sus respectivos contenidos de cemento requeridos para durabilidad, son:

– **Propiedad Valores a 28 días**

- Resistencia a la compresión, saturada 400 - 900 psi
- Módulo de ruptura 80 - 180 psi (0,56- 1,26 MPa) ~ 1,0 MPa
- La relación de Poisson típica es de 0.10 a 0.20 para los agregados estabilizados con cemento, y de 0.15 a 0.25 para el suelo-cemento. Se adopta un valor de 0,25

Aplicando la expresión No. 6 de la guía AASHTO, se despeja σ_t : admisible

$$\text{Log}(31,8 \times 10^6) = [0,972 \times 1 - (\sigma_t/1,0)] / (0,0825 \times 1)$$

$$(\sigma_t/1,0) = 0,3131 \text{ MPa}$$

h) Modelización de la estructura

La modelización estructural a incorporar en los software de computador para el cálculo de las deformaciones actuantes y verificarlas con las admisibles, contempla los valores de caracterización dinámica de los materiales que se han evaluado anteriormente, en cuanto a los módulos dinámicos de capas asfálticas y capas granulares, así como el módulo resiliente de la subrasante, considerando además las relaciones de Poissons.

Para efectos del cálculo de deformaciones, se utiliza el programa DEPAV de la Universidad del Cauca, basado en el Alize III (Francia), incorporando adicionalmente los siguientes datos:

- Radio de Carga: Se toma 10,80 cm
- Presión de Contacto: 5,60 kg/ cm² (80,0 psi)
- Distancia entre ejes de llantas: 32,40 cm (tres veces el radio)

h.1) Resultados del DEPAV metodología SHELL

Se efectúa el análisis considerando una confiabilidad del 85%

Características de las estructuras a verificar para CBR $\geq$ 15%

En las TABLAS VII-26, VII-27 y VII-28, se presentan las características de las estructuras a verificar.

TABLA VII-28. ESTRUCTURA A VERIFICAR ALTERNATIVA 1

Capa	Espesor cm	Módulos kg/cm ²	Relación de Poisson	Deformación Admisible 10 ⁻⁴	
				ϵ_t	ϵ_z
Concreto Asfáltico	10,0	10.600	0,35	3,4396	
Material Granular	55,0	3045	0,40		
Subrasante		890	0,45		2,80

TABLA VII-29. ESTRUCTURA A VERIFICAR ALTERNATIVA 2

Capa	Espesor cm	Módulos kg/cm ²	Relación de Poisson	Deformación Admisible 10 ⁻⁴	
				Et	ϵ_z
Concreto Asfáltico	10,0	10.600	0,35	3,4396	
B EE-1	15,0	8000	0,35	1,91	
Material Granular	35,0	2485	0,40		
Subrasante		890	0,45		2,80

TABLA VII-30. ESTRUCTURA A VERIFICAR ALTERNATIVA 3 CAPA ESTABILIZADA CON CEMENTO, BASE GRANULAR Y CONCRETO ASFÁLTICO

Capa	Espesor cm	Módulos kg/cm ²	Relación de Poisson	Esfuerzo Admisible Kg/cm ²	Deformación Admisible 10 ⁻⁴	
				σ_t	Et	ϵ_z
Concreto Asfáltico	10,0	10.600	0,35		3,4396	
Material Granular	25,0	3500	0,40			
BEC	25,0	22.000	0,25	3,131		
Subrasante		890	0,45			2,80

Evaluación de resultados

☞ Alternativa 1

En las TABLAS VI-29, VI-30 y VI-31, se presentan los datos de entrada y el resumen de los resultados arrojados con el programa DEPAV, aplicando la metodología SHELL.

TABLA VII-31. DATOS DE ENTRADA ALTERNATIVA 1, CBR $\geq 15\%$

Número de Capas [2..6] 3				
Radio de Carga [cm]			10.8	
Presión de Contacto [Kg/cm ²]			5.6	
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]			32.4	
Capas	E [Kg/cm ²]	μ []	H [cm]	Ligada ó No
1 ^a	10600	0.35	10	L
2 ^a	3045	0.40	55	L
3 ^a	890	0.45		
4 ^a				
5 ^a				
6 ^a				

TABLA VII-32. RESULTADOS VERIFICACIÓN METODOLOGÍA SHELL ALTERNATIVA 1, CAPAS GRANULARES Y CAPAS ASFÁLTICA

Capa	Esp. cm.	Módulo Dinámico k/cm ²	Relación de Poissons	Et X 10 ⁻⁴ DEPAV	Ez X 10 ⁻⁴ DEPAV	Et X 10 ⁻⁴ Admisi	Ez X 10 ⁻⁴ Admisi
Concreto Asfáltico	10,0	10600	0,35	3,02 OK		3,4396	
Material Granular	55,0	2982	0,40				
Subrasante Mejorada		890	0,45		2,42 OK		2,80 (85%)

Aplicando la metodología Shell, La Alternativa 1 cumple satisfactoriamente, con la deformación admisible de tracción y de compresión en la subrasante para confiabilidad del 85%.

TABLA VII-33. RESULTADOS PROGRAMA DEPAV ALTERNATIVA 1 CBR $\geq$ 15%

Título del Trabajo : UARIANTE PALMAR DE VARELA Número de Capas : 3 Alternativa : 1					
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1º	0.00 10.00	3.3700E-04 B -3.0200E-04 B	8.1168E+00 B -3.0795E+00 A	-1.1300E-04 C 4.7200E-04 A	5.5982E+00 A 2.9061E+00 B
2º	10.00 65.00	-3.0200E-04 B -1.1500E-04 C	5.1903E-01 B -4.1094E-01 C	8.1300E-04 A 1.7700E-04 C	2.9061E+00 B 2.2535E-01 C
3º	65.00	-1.1500E-04 C	6.5567E-03 B	2.4200E-04 C	2.2535E-01 C
Deflexión = 37.390 mm/100 Radio de Curvatura = 130.420 m					

☞ **Alternativa 2**

En las TABLAS VII-32 a la VII-35, se presentan los resultados y los datos de entrada, obtenidos de la modelación aplicando la metodología SHELL utilizando Bases estabilizadas con emulsión:

TABLA VII-34. RESULTADOS VERIFICACIÓN METODOLOGÍA SHELL ALTERNATIVA 2

Capa	Esp. cm.	Módulo Dinámico k/cm2	Relación de Poissons	Et X 10 ⁻⁴ DEPAV	Ez X 10 ⁻⁴ DEPAV	Et X 10 ⁻⁴ Admisi	Ez X 10 ⁻⁴ Admisi
Concreto Asfáltico	10,0	10600	0,35	1,13 OK		3,4396	
BEE-1	15,0	8000	0,35	1,84 OK		1,91	
Material Granular	35,0	2485	0,40				
Subrasante Mejorada		890	0,45		2,51 (OK)		2,80

Aplicando la metodología Shell, La Alternativa 2 cumple satisfactoriamente, con la deformación admisible de tracción (et) tanto en la capa de concreto asfáltico como las bases estabilizadas con emulsión y con la de compresión en la subrasante (ez) para confiabilidad del 85%.

TABLA VII-35. DATOS DE ENTRADA PROGRAMA DEPAV ALTERNATIVA 2 CBR $\geq$ 15%

Número de Capas [2..6] 4				
Radio de Carga [cm]			10.8	
Presión de Contacto [Kg/cm ²]			5.6	
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]			32.4	
Capas	E [Kg/cm ²]	μ []	H [cm]	Ligada ó No
1 ^a	10600	0.35	10	L
2 ^a	8000	0.35	15	L
3 ^a	2485	0.40	35	L
4 ^a	890	0.45		
5 ^a				
6 ^a				

TABLA VII-36. RESULTADOS PROGRAMA DEPAV ALTERNATIVA 2 CBR $\geq$ 15%

Título del Trabajo : VARIANTE PALMAR DE VARELA					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1 ^a	0.00 10.00	2.4400E-04 B -1.1300E-04 A	6.7198E+00 B 2.4983E-01 C	-1.0900E-04 C 3.2500E-04 A	5.5982E+00 A 3.4874E+00 B
2 ^a	10.00 25.00	-1.1300E-04 A -1.8400E-04 C	5.9041E-01 B -1.4480E+00 B	3.9100E-04 A 2.2200E-04 B	3.4874E+00 B 8.9530E-01 B
3 ^a	25.00 60.00	-1.8400E-04 C -1.1900E-04 C	-5.0985E-02 C -3.1713E-01 C	3.5600E-04 B 1.9200E-04 C	8.9530E-01 B 2.3453E-01 C
Deflexión		= 34.150 mm/100			
Radio de Curvatura		= 202.740 m			

TABLA VII-37. CONTINUACIÓN ALTERNATIVA 2

Título del Trabajo : VARIANTE PALMAR DE VARELA					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
4 ^a	60.00	-1.1900E-04 C	7.5764E-03 B	2.5100E-04 C	2.3453E-01 C
5 ^a					
6 ^a					
Deflexión		= 34.150 mm/100			
Radio de Curvatura		= 202.740 m			

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

☞ Alternativa 3

En las TABLAS VI-36 - VI-39, se presentan los datos de entrada y los resultados obtenidos de la modelación aplicando la metodología SHELL utilizando Base estabilizada con cemento:

TABLA VII-38. RESULTADOS VERIFICACIÓN METODOLOGÍA SHELL ALTERNATIVA 3

Capa	Esp. cm.	Módulo Dinámi. k/cm^2	Relación de Poisson s	$\epsilon_t \times 10^{-4}$ DEPAV	$\epsilon_z \times 10^{-4}$ DEPAV	$E_t \times 10^{-4}$ Admisi	$\epsilon_z \times 10^{-4}$ Admisi	σ_t : k/cm^2 DEPAV	σ_t : k/cm^2 Admis
Concreto Asfáltico	10,0	10600	0,35	2,66 OK		3,4396			
Base granular	25,0	3500	0,40						
BEC	25,0	22000	0,25					1,825 OK	3,131
Subrasante Mejorada		890	0,45		2,71 OK		2,80		

Aplicando la metodología Shell, La Alternativa 3 cumple satisfactoriamente, con la deformación admisible de tracción (ϵ_t) tanto en la capa de concreto asfáltico, con el esfuerzo admisible de tracción en la capa estabilizada con cemento y con la de compresión en la subrasante (ϵ_z) para confiabilidad del 85%.

TABLA VII-39. DATOS DE ENTRADA ALTERNATIVA 3 CBR $\geq$ 15%

Número de Capas [2..6] 4				
			Radio de Carga [cm]	10.8
			Presión de Contacto [Kg/cm ²]	5.6
			Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]	32.4
Capas	E [Kg/cm ²]	μ []	H [cm]	Ligada ó No
1ª	10600	0.35	10	L
2ª	3500	0.40	25	L
3ª	22000	0.25	25	N
4ª	890	0.45		
5ª				
6ª				

TABLA VII-40. RESULTADOS PROGRAMA DEPAV ALTERNATIVA 3 CBR≥15%

Título del Trabajo : UARIANTE PALMAR DE VARELA Número de Capas : 4 Alternativa : 1					
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1ª	0.00 10.00	2.7300E-04 B -2.6600E-04 B	7.1685E+00 B -2.4983E+00 A	-5.4300E-05 C 4.5200E-04 A	5.5982E+00 A 3.0999E+00 B
2ª	10.00 35.00	-2.6600E-04 B 4.4900E-06 B	6.3119E-01 B 7.0461E-01 C	7.4400E-04 A 1.2500E-04 C	3.0999E+00 B 1.0064E+00 C
3ª	35.00 60.00	4.4900E-06 B -6.6200E-05 C	4.9048E-01 C -1.8253E+00 C	3.3400E-05 C 4.7300E-05 C	1.0064E+00 C 1.6621E-01 C
Deflexión = 28.820 mm/100 Radio de Curvatura = 157.260 m					

TABLA VII-41. CONTINUACIÓN ALTERNATIVA 3

Título del Trabajo : UARIANTE PALMAR DE VARELA Número de Capas : 4 Alternativa : 1					
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
4ª	60.00	1.4200E-05 C	1.5907E-01 C	2.7100E-05 C	1.6621E-01 C
5ª					
6ª					
Deflexión = 28.820 mm/100 Radio de Curvatura = 157.260 m					

VII.8 Resumen estructuras obtenidas para la Variante Palmar de Varela

En esta sección, se presenta un resumen de las estructuras obtenidas para el período de diseño solicitado de 20 años aplicando la metodología del Manual del Instituto Nacional de Vías para diseño de pavimentos asfálticos de medios y altos volúmenes de tránsito y su verificación por métodos racionales aplicando las Leyes de Fatiga de la SHELL, para una confiabilidad del 85%.

VII.8.1 Sobre Terraplenes y/o cortes con rellenos con Subrasante Mejorada CBR ≥ 15%

Para este caso se analizaron las estructuras sobre terraplenes y/o rellenos para obtener resistencias de subrasante mejorada de CBR ≥ 15%, resultados que se presentan en la TABLA VII-40.

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,

Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel

Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

Como se comprobó en el numeral anterior, las estructuras obtenidas por el Manual del INVÍAS, para diseño de pavimentos para medios y altos volúmenes de tránsito cumplen el análisis por métodos racionales aplicando las leyes de fatiga de la SHELL bajo confiabilidad del 85% y para un período de diseño de 20 años.

TABLA VII-42. ESTRUCTURAS OBTENIDAS POR EL MANUAL DEL INVÍAS Y VERIFICADAS POR MÉTODOS RACIONALES (CBR $\geq$ 15%)

Metodología	Capas	Espesores (cm)		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
INVÍAS	Concreto asfáltico/ MDC-2	10,0	10,0	10,0
	Base Granular BG-2	25,0		25,0
	BEE-1		15,0	
	Subbase Granular SBG-1	30,0	35,0	
	BEC			25,0
	Subrasante mejorada			
	Total	65,0	60,0	60,0

Como se comprobó en el numeral anterior, las estructuras obtenidas por el Manual del INVÍAS, para diseño de pavimentos para medios y altos volúmenes de tránsito cumplen el análisis por métodos racionales aplicando las leyes de fatiga de la SHELL bajo confiabilidad del 85% y para un período de diseño de 20 años.

VII.9 Estructuras recomendadas para la pavimentación de la Variante Palmar de Varela

Para el proyecto en estudio se puede adoptar cualquiera de las Alternativas analizadas por la metodología del Manual de Diseño del INVÍAS para pavimentos flexibles con medios y altos volúmenes de tránsito y a su vez verificadas por la metodología racional aplicando las Leyes de fatiga de la SHELL con una confiabilidad del 85%.

Las estructuras así recomendadas se verificaron por las Leyes de Fatiga de la metodología SHELL, tanto para las deformaciones de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas (ϵ_t) ya sea de concreto asfáltico ó bases estabilizadas con emulsión, como la deformación vertical en la subrasante (ϵ_z). En el caso de las bases estabilizadas con cemento se verificó el valor de los esfuerzos admisibles de tracción en la fibra inferior de la capa estabilizada con ligante hidráulico.

VII.9.1 Estructuras sobre subrasante mejorada con rellenos en terraplén con CBR $\geq 15\%$

En las TABLAS VII-41, VII-42 y VII-43, se consignan las estructuras recomendadas, una vez verificadas con métodos racionales.

**TABLA VII-43. ESTRUCTURA RECOMENDADA VARIANTE PALMAR DE VARELA
ALTERNATIVA 1, SOBRE SUBRASANTE MEJORADA CBR $\geq 15\%$, CON CAPAS
GRANULARES Y CONCRETO ASFÁLTICO**

Alternativa	Capa	Esp. cm.	ϵt $\times 10^{-4}$ DEPAV	ϵz $\times 10^{-4}$ DEPAV	$E t$ $\times 10^{-4}$ Adm	ϵz $\times 10^{-4}$ Adm	σt : k/cm ² DEPAV	σt : k/cm ² Adm
ALT 1	CA/ MDC-2	10,0	3,02 OK		3,4396			
	BG-2	25,0						
	SBG-1	30,0						
	Subrasante Mejorada			2,42 OK		2,80		
TOTAL	65,0							

**TABLA VII-44. ESTRUCTURAS RECOMENDADAS VARIANTE PALMAR DE VARELA
ALTERNATIVA 2 SOBRE SUBRASANTE MEJORADA CON CBR $\geq 15\%$ UTILIZANDO BASES
ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN, CAPAS GRANULARES Y CONCRETO ASFÁLTICO**

Alternativa	Capa	Esp. cm.	ϵt $\times 10^{-4}$ DEPAV	ϵz $\times 10^{-4}$ DEPAV	$E t$ $\times 10^{-4}$ Adm	ϵz $\times 10^{-4}$ Adm	σt : k/cm ² DEPAV	σt : k/cm ² Adm
ALT2	CA/ MDC-2	10,0	1,13 OK		3,4396			
	BEE-1	15,0	1,84 OK		1,91			
	SBG-1	35,0						
	Subrasante Mejorada			2,51 OK		2,80		
Total	60,0							

**TABLA VII-45. ESTRUCTURAS RECOMENDADAS VARIANTE PALMAR DE VARELA
ALTERNATIVA 3, SOBRE SUBRASANTE MEJORADA CBR $\geq 15\%$ UTILIZANDO BASE
ESTABILIZADA CON CEMENTO, CAPAS GRANULARES Y DE CONCRETO ASFÁLTICO**

Alternativa	Capa	Esp. cm.	ϵt $\times 10^{-4}$ DEPAV	ϵz $\times 10^{-4}$ DEPAV	$E t$ $\times 10^{-4}$ Adm	ϵz $\times 10^{-4}$ Adm	σt : k/cm ² DEPAV	σt : k/cm ² Adm
ALT 3	CA MDC-2	10,0	2,66 OK		3,4396			
	BG-2	25,0						
	BEC	25,0					1,825 OK	3,131
	Subrasante Mejorada			2,71 OK		2,80		
Total	60,0							

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

CAPITULO VIII

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las fuerzas hidrodinámicas producidas por el flujo ascendente de agua, pueden generar que el suelo pierda su capacidad de carga o al infiltrarse a través de éste con un gradiente hidráulico superior al crítico (suelo de cimentación) arrastre las partículas influyendo en la estabilidad. A lo anterior se le aúna el fenómeno que se pueden producir por la saturación de las arenas relativamente sueltas, que ante una sollicitación dinámica rápida debilita el contacto entre los granos disminuyendo la resistencia al esfuerzo cortante hasta valores nulos, ocasionando un comportamiento como fluido. La posible ocurrencia de cualquiera de estos fenómenos debe ser eliminada cortando el flujo o reduciendo el gradiente a niveles convenientes.
- El resultado de los análisis geotécnicos realizados ante los posibles fenómenos que pueden generarse por la posible exposición de las arenas a la saturación, estableció que debido a las características del material encontrado y las condiciones hidráulicas predominantes en la mayor parte del corredor, se requiere una interface entre el material de subrasante encontrado y el material que conformará el terraplén (relleno) que deberá colocarse para aislar los efectos del agua de éste y del material que conformará las capas de la estructura del pavimento.

Para el caso en que se requieren cortes en el terreno, de igual manera se deberá separar el material existente de la subrasante natural, del mejoramiento (con material de terraplén) que es necesario colocar para cimentar la estructura del pavimento. El material que conformará la interface deberá poseer características tales que, bajo las condiciones más críticas del sector permita eliminar los efectos generados por el agua en el suelo que conforma la subrasante natural.

- Con base en los resultados de la TABLA VII-8 se puede concluir que para un CBR = 2%, en la subrasante, se requiere una altura de mejoramiento de 90 cm, para lograr un CBR en la superficie de 15%, lo cual permite inferir que, para los terraplenes más bajos del proyecto cuya altura alcanza un metro (1.0 m.), se logrará en la superficie del terraplén que subyace la estructura de pavimento, un valor de CBR de 15%, valor que es la base de los cálculos para el diseño del pavimento. Para CBR hasta 2,5% y menores, es recomendable colocar los primeros 50 cm en rajón o gravilla y/o el resto en material seleccionado, según especificación INV-220.
- En el Manual del INVÍAS para diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito, capítulo 5, numeral 5.3, página 48, caso 2, recomienda que cuando se encuentren suelos de subrasante con módulos inferiores de 300 Kg/cm^2 y tránsitos superiores a $0,5 \times 10^6$, el espesor mínimo a reemplazar es de 0,50 m, que es similar al analizado en el estudio para los casos más críticos y que se sugiere adoptar en todos los casos que se presente esta situación. Para CBR hasta 2,5% y menores, es recomendable colocar los primeros 25 cm en rajón y/o el resto en material seleccionado, según especificación INV-220.

- La definición de la sectorización definitiva se determinó teniendo en cuenta los estudios geológicos, de tránsito, de clima y los geotécnicos preliminares. Para este caso se estableció una única unidad homogénea de diseño; en razón a que la estructura del pavimento no se cimentará sobre la subrasante natural sino bajo una subrasante mejorada a lo largo de todo corredor con características suficientes para absorber los esfuerzos generados por el tráfico que la misma estructura del pavimento no alcanzara a disipar.
- Para la aplicación del Manual del INVÍAS, se determinó la temperatura promedio de la zona, la cual es de 27.5 °C con variaciones promedios entre 24.9 a 29.8 °C; siendo la máxima promedio de 34.8 °C y la mínima promedio de 22.1°C, la precipitación total anual es de 802 mm, con valores máximos en 24 horas entre 48 a 123 mm, con 75 números de días con lluvia y la humedad relativa media es del 80%, con variaciones estacionales entre 73 a 93%.

Con base en esta información se determinó que el proyecto se encuentra en la región climática descrita como “Cálido Húmedo” a la cual le corresponde una asignación “R3”, con características de TMAP entre 20 °C – 30 °C y Temperatura Media Anual menor de 2000 mm.

- La nueva plataforma de trabajo conformada por los materiales para la interface subrasante-relleno, junto con el terraplén y/o mejoramiento, generan más que un aporte, una nueva condición de terreno; la cual, elimina todos los posibles efectos directos que sobre la estructura del pavimento pueda ocasionar el suelo que conforma la subrasante natural.

Por este motivo en el diseño también se deben consultar las alturas de relleno y/o terraplén requerido que cumpla con las características de calidad exigidas por INVÍAS en su Artículo INV-220, de tal forma que se garanticen las capacidades de soporte con $CBR \geq 15\%$ ó cuando se presente suelos blandos en corte para poder obtener un $CBR \geq 6\%$., para ser coherentes con las estructuras selecciones en las cartas de diseño R3 del Manual del INVÍAS.

El material de relleno de mejoramiento, deberá tener un CBR mínimo de laboratorio del 15% al 95% de compactación.

- Los diseños se han realizado bajo la hipótesis de que no serán necesarias intervenciones estructurales importantes durante la vida útil del pavimento, mientras se mantengan las condiciones de resistencia del suelo donde se cimentará la estructura del pavimento y los niveles de tránsito se conserven dentro de los rangos contemplados.
- Para que estos diseños sean vigentes, a partir del tránsito analizado es indispensable como mínimo lo siguiente:
 - i) La estructura del pavimento debe cimentarse y/o contar con una plataforma sobre un suelo o material de características tales que cumplan con las especificadas

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

para conformar terraplenes (material seleccionados) que cumplan el Artículo INV-220, para garantizar la estabilidad de los diseños.

- ii) Dependiendo de las características del suelo de subrasante y en todo caso que se presente suelos blandos, deben utilizarse las alturas de relleno recomendadas en este estudio, con la calidad del material establecida (CBR mínimo 15%).
- En relación con las fuentes de materiales es importante complementar los estudios en el desarrollo del proyecto, ya que la información que se presenta a la fecha de elaboración del estudio puede cambiar principalmente en lo que viabilidad ambiental y minera de las fuentes se refiere. Adicionalmente, se acota que el contratista de obra se debe hacer responsable de la utilización de la fuente, de la calidad del material y de los requisitos de exploración.
- Para realizar una comparación adecuada que permita determinar la selección de una u otra alternativa de diseño para un periodo de diseño estipulado, se requiere una base común, que generalmente son los costos. Una comparación puede ser hecha tomando en cuenta la capacidad estructural inicial del pavimento (periodo de diseño para cada alternativa) y las estimaciones de las medidas de rehabilitación que probablemente serán necesarias para mantener el pavimento en una condición de servicio aceptable durante un periodo de análisis adecuado.
- Todos los materiales y procesos deberán cumplir con lo estipulado en las NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, del INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS – Versión 2007.
- Respecto de la carpeta asfáltica de rodadura, cuando los espesores encontrados sean mayores a 10 cm entonces se recomienda distribuir el espesor total en dos (2) capas así: La primera constituida por una base asfáltica tipo MDC-1 y la segunda por una capa en mezcla tipo MDC-2. de espesor mínimo de 5,0 cm.

Referentes a las Alternativas de Pavimentos 1, 2 y 3:

- El diseño estructural de pavimento se realizó con el manual del INVÍAS para diseño de pavimentos flexibles con medios y altos volúmenes de tránsito y se verificó por métodos racionales, aplicando las Leyes de fatiga de materiales de la SHELL bajo una confiabilidad del 85%.

Para el dimensionamiento estructural de los espesores del pavimento, se contemplaron alternativas de estructuras en pavimento flexible, con base granular y base estabilizada con emulsión asfáltica y base estabilizada con cemento, teniendo en cuenta el comportamiento elástico de la subrasante y de las diferentes capas que integrarán la estructura del pavimento; además, del número de ejes equivalentes estimado para el período de diseño.

- Las estructuras seleccionadas para un período de diseño de veinte (20) años, evaluadas por el Manual del Instituto Nacional de Vías para medios y altos volúmenes de tránsito se verificaron por la teoría racional y/o elástica, aplicando las ecuaciones de fatiga de la metodología SHELL, para una confiabilidad del 85%, cotejando que las deformaciones admisibles de tracción en fibra inferior de las capas asfálticas y la de compresión en la subrasante no superen los valores admisibles.
- Las estructuras recomendadas fueron verificadas por las Leyes de Fatiga de la metodología SHELL, tanto para las deformaciones de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas (ϵ_t) ya sea de concreto asfáltico ó bases estabilizadas con emulsión, como la deformación vertical en la subrasante (ϵ_z). En el caso de las bases estabilizadas con cemento se verificó el valor de los esfuerzos admisibles de tracción en la fibra inferior de la capa estabilizada con ligante hidráulico.

Referentes a la Alternativa de Pavimentos 4:

- El diseño para 5 años no es recomendable para la Concesión, ya que si bien la inversión inicial puede ser un poco menor, en comparación con la de 10 años, los costos de mantenimiento y conservación serán mucho más elevados. Por cuanto se recomienda para el proyecto, la estructura de pavimento para 10 años, la cual debe ser reforzada para garantizar una vida de servicio de 20 años.
- De acuerdo con la solicitud de actualización de la estructura de pavimento para veinte (20) años, se propuso el reforzamiento de la estructura de pavimento de 10 años, en los años 8 y 16, que consistirá en un fresado y refuerzo de mezcla asfáltica. Los espesores propuestos se presentan a continuación para cada alternativa.
- Los materiales granulares y estabilizados no tendrán que ser cambiados o mejorados durante el periodo de servicio de las estructuras, por cuanto sólo se tendrá que intervenir parte del espesor de la capa asfáltica existente en el momento de las actividades de mantenimiento y conservación. Lo anterior siempre y cuando no se presente deformaciones importantes de la subrasante, que afecten la funcionalidad de la estructura.
- Los reforzamientos fueron propuestos con el fin que las estructuras logren el periodo de servicio requerido por la concesión y que permitan tener una vida remanente luego de un periodo de 20 años. Lo anterior considerando que no es recomendable hacer un diseño de estructura de pavimento para un periodo de 20 años. No obstante, los tiempos y espesores planteados son de referencia, dado que el Concesionario deberá hacer los estudios necesarios para establecer los espesores en esa época, considerando todos los aspectos tanto funcionales como estructurales.
- El tiempo real de intervención para mantenimiento y conservación estará definido por la condición de deterioro que presente la vía, los cuales pueden ser antes o después de los tiempos propuestos en el presente informe (año 8 y año 16). A efectos de tener

un presupuesto inicial de conservación se presentan los espesores de acuerdo a lo que habitualmente se considera como periodos de reforzamiento.

CAPITULO IX

IX. BIBLIOGRAFÍA

AASHTO: Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.

MONTEJO: “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”, 2006.

INVIAS: “Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Transito”, 1998.

INVIAS:” Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras” - Versión 2007.

INVIAS:” Normas de Ensayo para la Construcción de Carreteras” - Versión 2007.

FERNANDO SANCHEZ SABOGAL”: Pavimentos”, 1989.

AASHTO: Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002.

NCHRP Report. 128: Evaluation of AASHO Interim Guides for Design of the Design of Pavement Structures, VanTil, C. ., B. F. McCullough, B. A. Vallerger, and R. G. Hicks. NCHRP Report. 128: Evaluation of AASHO Interim Guides for Design of Pavement Structures, HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1972.

HD 25/94 Foundations, Design Manual For Roads And Bridges, Volume 7 Pavement Design and Maintenance, Section 2 Pavement Design and Construction, Part 2, the Highways Agency.

ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO: “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, 1982. Cuarta Reimpresión.

A N E X O A

REGISTRO DE EXPLORACIONES Y ENSAYOS DE LABORATORIO

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

A N E X O B

SECTORIZACIÓN DE ACUERDO AL DISEÑO GEOMÉTRICO

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

ANEXO C

CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE MATERIALES

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento

A N E X O D
INFORME DE AJUSTE DE LOS DISEÑOS DE PAVIMENTO DEL
PROYECTO DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA
INCLUYENDO EL DISEÑO DE CINCO (5) INTERSECCIONES A
NIVEL

TC-2082-135

Estudios y Diseños de la doble calzada de la Variante de Palmar de Varela,
Incluyendo el diseño de cinco (5) Intersecciones a nivel
Estudio de Geotecnia para Diseño del Pavimento