

DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO EL ESPINO – SANTANDER PR84+0400  
A PR88+0000 DEL TRAMO JUNÍN - PEDREGAL EN EL DEPARTAMENTO DE  
NARIÑO

GLORIA ALICIA ERAZO MELO  
JOSE FLORENCIO MINGAN SANCHEZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE CARRETERAS  
SAN JUAN DE PASTO  
2011

DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO EL ESPINO – SANTANDER PR84+0400  
A PR88+0000 DEL TRAMO JUNÍN - PEDREGAL EN EL DEPARTAMENTO DE  
NARIÑO

GLORIA ALICIA ERAZO MELO  
JOSE FLORENCIO MINGAN SANCHEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialistas en Ingeniería de Carreteras

Directora del Trabajo de Grado:  
OLGA LUCÍA MESÍAS TIBAQUIRÁ  
Ingeniera Civil Especialista en Pavimentos

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE CARRETERAS  
SAN JUAN DE PASTO  
2011

## NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este Proyecto de Trabajo de Grado, son de responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1ª del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

-----  
-----  
-----  
-----  
-----

-----  
Firma del presidente del jurado

-----  
Firma del jurado

-----  
Firma del jurado

Pasto, Mayo de 2011

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento:

A la Ingeniera OLGA LUCÍA MESÍAS TIBAQUIRÁ, directora del trabajo de grado, por su acompañamiento profesional y gran colaboración durante todo el proceso del desarrollo del trabajo de grado.

Al Ingeniero HECTOR JESÚS CORDOBA OBANDO (q.e.p.d.), quien trabajó como supervisor de INVIAS e hizo parte de este proyecto. Agradecemos su gestión, los aspectos técnicos que su gran experiencia profesional le aportaron al presente trabajo y su gran calidad humana.

A la UNIVERSIDAD DE NARIÑO, en especial a los directivos y docentes de la FACULTAD DE INGENIERÍA, que nos han permitido realizar este postgrado contando con altas calidades profesionales, académicas y personales, cumpliendo de excelente manera, nuestras expectativas.

A la ingenieros ROSY ARTEAGA ORTEGA, y MARTIN PANTOJA, por su gran colaboración y aporte relevante para el desarrollo del presente proyecto.

## DEDICATORIA

A Dios, mi padre y mi guía

A Laureano (Q.E.P.D.) y Margoth, mis padres que todo me lo han dado

A Oscar, compañero de mi vida y apoyo incondicional

A Julián David, Sebastián y Nicolás, mis mayores motivos y alegrías

A mis hermanos, familia y amigos

A la memoria de Héctor Córdoba, mi gran amigo, precursor de este trabajo

GLORIA ALICIA ERAZO MELO

## DEDICATORIA

Este proyecto de grado lo dedico a Dios, por estar a mi lado siempre y acompañándome en el proceso de mi vida. A mis padres Aura Marina Sánchez y Heriberto Mingán al darme ánimo y palabras de aliento en los momentos en que más lo he necesitado. A mi esposa Doris Esperanza Rosas Realpe, por su invaluable amor, esmero, confianza y apoyo incondicional en mi lucha incansable por salir adelante. A mis hijos: José Alejandro, Andrés Felipe y Juan David, por ser el motor de mi vida y la motivación para superarme. A mis hermanos y familiares y a todas las personas y amigos que han hecho parte de mi proceso de superación personal.

JOSE FLORENCIO MINGAN SANCHEZ

## TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	19
1. MARCO REFERENCIAL	25
1.1 INFORMACIÓN SOBRE EL TRAMO EN ESTUDIO	25
1.2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	28
1.3 MARCO CONTEXTUAL	30
1.4 MARCO NORMATIVO	30
2. METODOLOGÍA	31
2.1 FASES DE LA METODOLOGÍA	31
3. TRABAJO INGENIERIL	33
3.1 ANALISIS DE DETERIORO VIA JUNIN –TUQUERRES – PEDREGAL SECTOR PR 84+400 - PR 88+000	33
3.1.1 Inspección visual inicial.	33
3.2.2 Inspección visual detallada.	33
4. LABORES DE PARCHEO	41
4.1 DETERIOROS PRESENTADOS.	41
4.1.1 Baches (BCH):	41
4.1.2 Piel de cocodrilo (PC	42
4.1.3 Fisura en bloque (FB	43
4.1.4 Severidad	43
4.2 DETERIOROS EN EL TRAMO PR 84+400 - PR 88+000.	44
5. ESTUDIO DE SUELOS	46
5.1 INTRODUCCIÓN	46
5.2 OBJETIVOS	46
5.3 TRABAJO DE CAMPO	46
5.4 PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL TRAMO EN ESTUDIO	47



5.4.1	Apique No. 1: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)	47
5.4.2	Apique No. 2: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)	48
5.4.3	Apique No. 3: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)	48
5.4.4	Apique No. 4: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)	49
5.4.5	Apique No. 5: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)	50
5.4.6	Apique No. 6: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)	50
5.4.7	Apique No. 7: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)	51
5.4.8	Apique No. 8: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)	51
5.5	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	54
6.	DISEÑO DE PAVIMENTO	55
6.1	ASPECTOS GENERALES DEL TRAMO DE DISEÑO	55
6.1.1	Estado actual del sector	55
6.1.2	Características climáticas	56
6.1.3	Estación de conteo del tránsito	56
6.2	ANÁLISIS DE TRANSITO	56
6.2.1	Volúmenes de tránsito.	57
6.2.2	Determinación de la serie histórica de tránsito equivalente	58
6.2.3	Ecuación de variación del tránsito	59
6.2.4	Proyección del tránsito equivalente.	60
6.2.5	Análisis de la confiabilidad en la estimación del tránsito.	60
6.3	DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO DEL TRAMO DE ESTUDIO	64
6.3.1	Determinación del CBR inicial o de referencia	65

6.3.2	Diseño de capa de remplazo en el sector del apique 3	66
6.3.3	Determinación del CBR de diseño del tramo	68
6.4	DISEÑO DEL PAVIMENTO	69
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	81

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Cuadro de orden de valores de CBR de muestras inalteradas de subrasante	65
Cuadro 2. Cálculo y chequeo de capa de mejoramiento de subrasante	67
Cuadro 3. Orden de valores de CBR de muestras inalteradas de subrasante	68

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estado de la carretera con criterio visual.	20
Tabla 2. Convenciones para el estado de la carretera con criterio visual.	20
Tabla 3. Estado de la carretera con criterio técnico.	21
Tabla 4. Convenciones para el estado de la carretera con criterio técnico.	21
Tabla 5. Marco Normativo.	30
Tabla 6. Información base de tránsito. Estación No. 319. El Espino – Túquerres	57
Tabla 7. Distribución porcentual de camiones. Estación No. 319. El Espino – Túquerres	57
Tabla 8. Distribución absoluta de camiones. Estación 319 El Espino – Túquerres	58
Tabla 9. Cálculo de factores de daño	58
Tabla 10. Determinación de la serie histórica de tránsito equivalente a 8.2 ton	59
Tabla 11. Proyección del tránsito equivalente	60
Tabla 12. Comparación de tránsitos equivalentes en el periodo de análisis	61
Tabla 13. Calculo del cuadrado de las diferencias entre cada año y el valor promedio de los años	62
Tabla 14. Resumen del cálculo del límite superior del tránsito proyectado con un nivel de confianza del 90%	63
Tabla 15. Números estructurales requeridos	72
Tabla 16. Determinación del espesor de carpeta asfáltica según el método AASHTO	73
Tabla 17. Números estructurales requeridos	73
Tabla 18. Determinación del espesor de carpeta asfáltica con base estabilizada según el método AASHTO	74
Tabla 19. Estructura a verificar	77
Tabla 20. Estructura de pavimento	80

## LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Estado del tramo Junín – Pedregal (1002) con criterio técnico	22
Grafica 2. Perfil estratigráfico del tramo en estudio.	53
Grafica 3. Determinación del CBR percentil 87.5%	65
Grafica 4. Determinación del CBR percentil 87.5% para diseño	68

## LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Hundimiento PR 63 +0250 - Piel de cocodrilo PR 63+0000	23
Imagen 2. Piel de cocodrilo PR 82+0100 - Descascaramiento PR 83+0365	23
Imagen 3. Piel de cocodrilo PR 85+0650 - Descascaramiento PR 87+0125	23
Imagen 4. Tramo PR69+0300 a PR72+0000	27
Imagen 5. Tramo PR77+0200 a PR80+0150:	27
Imagen 6. PR84+0800	34
Imagen 7. PR84+0950	34
Imagen 8. PR85+0350	35
Imagen 9. PR 85+0480	35
Imagen 10. PR85+0900	36
Imagen 11. PR86+0120	36
Imagen 12. PR86+0400	37
Imagen 13. PR86+0480	37
Imagen 14. PR86+0900	38
Imagen 15. PR87+0350	38
Imagen 16. PR87+0560	39
Imagen 17. PR87+610	39
Imagen 18. PR87+0800	40
Imagen 19. PR87+0800	40
Imagen 20. Mapa de ubicación del sector de diseño	55

## GLOSARIO

**AHUELLAMIENTO:** en pavimentos flexibles es una forma de deterioro superficial asociado con las condiciones de carga y climáticas a las que está sometido el pavimento en servicio. Deterioro superficial causado por el comportamiento plástico de los materiales que altera significativamente el nivel de servicio de la estructura.

**ASFALTO:** El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de bitumen.

**CBR:** es la relación de la carga unitaria en Kilos/cm<sup>2</sup> (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada.

**DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO:** es el equipo de evaluación del estado estructural de firmes cuyo empleo se ha generalizado ampliamente a nivel mundial a partir de la década de los 80. Su aparición mejora este tipo de auscultación o control, ya que por una parte incrementa notablemente los rendimientos o número de datos de los que se puede disponer respecto métodos más antiguos como la viga Benkelman, y por otra, se simula mejor el paso de un eje de un vehículo pesado mediante la aplicación de una carga de corta duración.

**DEFLEXIÓN:** hace referencia al grado de deformación de un elemento estructural vial (Subrasante, subbase, base, carpeta) bajo la aplicación de una fuerza o carga, a partir de su cota inicial.

**FATIGA:** fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas (fuerzas repetidas aplicadas sobre el material) se produce ante cargas inferiores a las cargas estáticas que producirían la rotura. Disminución de la resistencia mecánica de los materiales al someterlos a esfuerzos repetidos.

**ISOTRÓPICO:** Condición de un material de una estructura, que presenta características y propiedades físicas invariables o idénticas en todas las direcciones.

**MÓDULO DE ELASTICIDAD:** Es la relación del esfuerzo a la deformación en los materiales bajo determinadas condiciones de carga; numéricamente, a la inclinación de la tangente o secante de una curva esfuerzo-deformación.

**MÓDULO RESILIENTE:** es un parámetro que se utiliza para comprobar el estado de una capa estructural de pavimento. Da una idea de la calidad de la capa y de la durabilidad, ya que se obtiene al aplicar cargas cíclicas, lo cual origina un estado tensional similar al de servicio.

**PAVIMENTO:** es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas.

**PAVIMENTO ASFÁLTICO:** pavimento compuesto de una capa de áridos envueltos y aglomerados con betún asfáltico, de espesor mínimo de 25 mm, sobre capas de sustentación como base granular, asfáltica, hormigón o pavimento de bloques

**RELACIÓN DE POISSON:** es la relación entre la tensión normal al esfuerzo que se aplica y la tensión paralela a dicho esfuerzo. Es la relación entre la deformación transversal y la longitudinal.

**SUBBASE GRANULAR:** capa de una estructura de pavimento constituida por material granular, la cual es capaz de ofrecer estabilidad para soportar las cargas del tránsito. Generalmente esta capa granular está formada por fragmentos de roca, escorias, gravas y mezclas de suelo y agregado, suelo estabilizado químicamente con asfalto, cal entre otros.

**SUBRASANTE:** suelo que proporciona un valor mínimo de soporte a la estructura de pavimento, de tal manera que limite las deflexiones a valores tolerables, además de ser un soporte continuo y estable a través del tiempo de servicio.



## RESUMEN

El presente trabajo de grado se organizó inicialmente, con el planteamiento del problema, los antecedentes relacionados y la justificación del mismo, posteriormente, después de la definición de los objetivos, tanto el general como los específicos, se planteó la metodología a seguir, la programación de las actividades, la inversión de recursos y los resultados esperados.

Dentro de la Red Nacional de Carreteras, administrada por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS, se encuentra la Transversal Tumaco – Mocoa, Ruta 10, eje importante que comunica por vía terrestre el Departamento de Nariño con el Putumayo. A cargo de la Territorial Nariño están los tramos Tumaco – Junín (1001) y Junín – Pedregal (1002), que unen la región montañosa del Departamento de Nariño con la costa pacífica, principalmente con Tumaco, puerto importante del país.

## ABSTRACT

This graduate work is initially organized with the problem statement, the related background and justification of it, then after defining the objectives, both general and specific, the methodology was proposed to follow the schedule activities, the investment of resources and expected results.

Inside the National Highway Network, administered by the National Roads Institute - INVIAS, is the Cross Tumaco - Mocoa, Route 10, major route that connects by road with the Department of Putumayo, Nariño. In charge of Territorial Tumaco Nariño are sections - Junín (1001) and Junín - Pedregal (1002), linking the mountainous region of Nariño in the Pacific coast, mainly Tumaco port in the country.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la Red Nacional de Carreteras, administrada por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS, se encuentra la Transversal Tumaco – Mocoa, Ruta 10, eje importante que comunica por vía terrestre el Departamento de Nariño con el Putumayo. A cargo de la Territorial Nariño están los tramos Tumaco – Junín (1001) y Junín – Pedregal (1002), que unen la región montañosa del Departamento de Nariño con la costa pacífica, principalmente con Tumaco, puerto importante del país.

Esta vía presenta diferentes tipos de estructura de pavimento, con características igualmente diferentes. Un sector que demanda especial interés y que es objeto del presente trabajo, se constituye en tramo más crítico por el estado de deterioro en que se encuentra; se trata del sector El Espino – Santander (PR84+0400 a PR88+0000), del tramo Junín – Pedregal (1002).. El sector presenta un tratamiento superficial sobre capas granulares.

En este proyecto se realiza la evaluación estructural y funcional del tramo, con lo cual se diseña el Pavimento.

El presente trabajo de grado se organizó inicialmente, con el planteamiento del problema, los antecedentes relacionados y la justificación del mismo, posteriormente, después de la definición de los objetivos, tanto el general como los específicos, se planteó la metodología a seguir, la programación de las actividades, la inversión de recursos y los resultados esperados.

El problema

Título: Diseño de pavimento del tramo el espino – Santander pr84+0400 a pr88+0000 del tramo Junín - pedregal en el departamento de Nariño

MODALIDAD: Trabajo de aplicación.

Línea de investigación: Pavimentos.

Alcance y delimitación: El desarrollo del proyecto comprende el estudio del sector La Verbena – Túquerres (PR84+0400 a PR88+0000), del tramo Junín – Pedregal (1002); la evaluación estructural y funcional del tramo y el diseño de pavimento del mismo.

Descripción del problema: De acuerdo con el informe de la Administración de Mantenimiento Vial Grupo No. 2, a septiembre de 2009, el tramo objeto del presente proyecto corresponde al sector más crítico del tramo Junín – Pedregal (1002) por su mal estado, ya que ha rebasado su vida útil, a excepción de 4.42 Km que fueron intervenidos en el año 2003 y en el año 2007. El estado del sector del tramo 1002 puede observarse en los siguientes cuadros, y posterior gráfico:

Tabla 1. Estado de la carretera con criterio visual.

CODIGO VIA	PR INICIAL	PR FINAL	CARRETERA	Km.	TIPO DE SUPERFICIE	ESTADO
1002	0+0000	29+0000	Junín- Pedregal	28.87	PR	B
	29+0000	31+0000		2.00	PR	R
	31+0000	48+0000		17.74	P	R
	48+0000	68+0700		20.48	P	M
	68+0700	71+0000		2.37	P	B
	71+0000	77+0200		6.20	P	M
	77+0200	78+0100		0.90	TS	M
	78+0100	80+0150		2.05	P	B
	80+0150	95+0000		14.85	TS	M

Fuente: Informe de la Administración de Mantenimiento Vial Grupo No. 2

Tabla 2. Convenciones para el estado de la carretera con criterio visual.

CONVENCIONES			
B	BUENO	P	PAVIMENTO CON CARPETA ASFÁLTICA
R	REGULAR	PR	PAVIMENTO RÍGIDO
M	MALO	TS	TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Tabla 3. Estado de la carretera con criterio técnico.

CODIGO VIA	PR INICIAL	PR FINAL	CARRETERA	Km.	TIPO DE SUPERFICIE	ESTADO
1002	0+0000	8+0000	Junín – Pedregal	7.83	PR	B
1002	8+0000	15+0000	Junín – Pedregal	7.04	PR	R
1002	15+0000	29+0000	Junín – Pedregal	14.00	PR	B
1002	29+0000	31+0000	Junín – Pedregal	2.00	P	R
1002	31+0000	35+0000	Junín – Pedregal	3.95	P	M
1002	35+0000	48+0000	Junín – Pedregal	13.79	P	R
1002	48+0000	61+0000	Junín – Pedregal	12.88	P	M
1002	61+0000	65+0000	Junín – Pedregal	3.89	P	MM
1002	65+0000	68+0700	Junín – Pedregal	3.71	P	M
1002	68+0700	69+0700	Junín – Pedregal	1.00	P	B
1002	69+0700	71+0000	Junín – Pedregal	1.37	P	R
1002	71+0000	77+0100	Junín – Pedregal	6.20	P	M
1002	77+0200	78+0100	Junín – Pedregal	0.90	TS	M
1002	78+0100	80+0150	Junín – Pedregal	2.05	P	B
1002	80+0150	88+0000	Junín – Pedregal	7.87	TS	MM
1002	88+0000	95+0000	Junín – Pedregal	6.90	TS	M

Fuente: Informe de la Administración de Mantenimiento Vial Grupo No. 2.

Tabla 4. Convenciones para el estado de la carretera con criterio técnico.

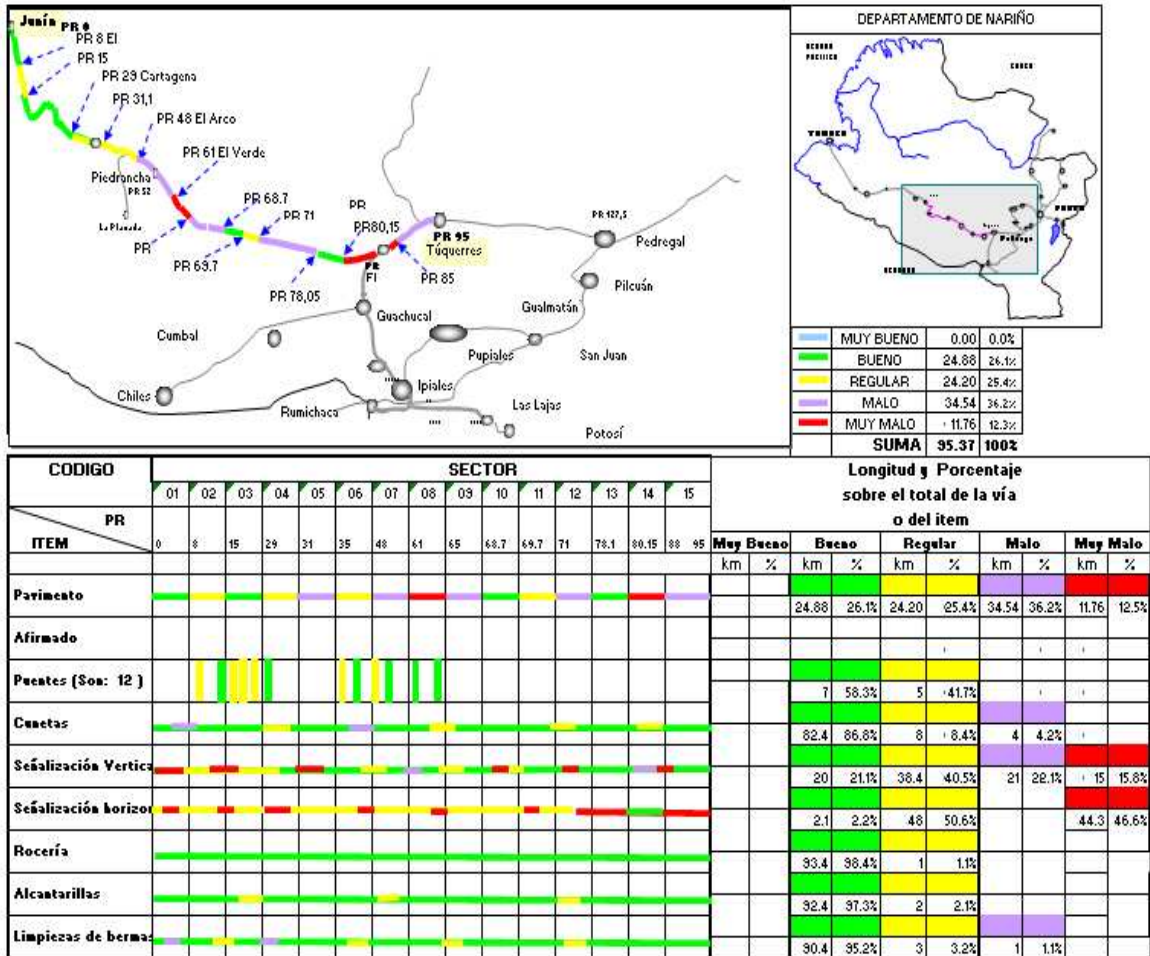
CONVENCIONES			
MB	MUY BUENO	P PR TS	PAVIMENTO CON CARPETA ASFÁLTICA PAVIMENTO RÍGIDO TRATAMIENTO SUPERFICIAL
B	BUENO		
R	REGULAR		
M	MALO		
MM	MUY MALO		

El estado en detalle de los sectores del tramo Junín – Pedregal (1002) se presentan en el siguiente gráfico:

Grafica 1. Estado del tramo Junín – Pedregal (1002) con criterio técnico

INGENIERO RESIDENTE: ROSY ARTEAGA ORTEGA

TRIMESTRE EVALUADO ENE-FEB-MAR DE 2009



Fuente: Informe de la Administración de Mantenimiento Vial Grupo No. 2.

Las condiciones de transitabilidad y seguridad son bajas debido al mal estado de la carretera en estos sectores. Se ha rebasado la vida útil del pavimento, el clima es adverso y las inversiones para mantenimiento, lejos de ser suficientes, se consideran muy bajas, de acuerdo al informe del Grupo 2 de Administración de Mantenimiento vial. Se requiere una estructura nueva de pavimento y mientras esto se cumple, se deberá realizar bacheo con mezcla asfáltica de forma continua.

El tramo considerado en el presente proyecto presenta estructuras de pavimento diferentes, así como también su estado general es diferente:

El tramo Peña Blanca – La Verbena tiene una capa de rodadura en concreto asfáltico con alto deterioro, lo que indica, según un estudio de diseño de pavimento en el sector PR69+0300 a PR81+0000, realizado para la empresa

PANAVIAS S. A., que la estructura de pavimento está alcanzando sus niveles finales de vida en fatiga.

El tramo La Verbena – Túquerres, tiene una capa de rodadura en tratamiento superficial, con un nivel de deterioro alto con presencia de fisuras, desprendimientos del tratamiento superficial y baches.

Imagen 1. Hundimiento PR 63 +0250 - Piel de cocodrilo PR 63+0000



Imagen 2. Piel de cocodrilo PR 82+0100 - Descascaramiento PR 83+0365



Imagen 3. Piel de cocodrilo PR 85+0650 - Descascaramiento PR 87+0125



- FORMULACIÓN

¿Cuál es la caracterización, estado actual y el diagnóstico del sector PR84+0400 al PR88+0000 y cuál es el diseño de estructura de Pavimento más adecuada para el tramo?

- JUSTIFICACIÓN

Considerando que el sector en estudio corresponde al sitio más crítico del tramo Junín – Pedregal (1002), el diseño de pavimento permitirá establecer la solución más favorable para la problemática presente.

El diseño de pavimento constituirá la solución más económica que lleve a cumplir los objetivos de disminuir los costos de operación de tránsito del sector, de mantener excelentes condiciones de transitabilidad, seguridad y comodidad para el usuario, la disminución de los tiempos de viaje; incrementar la productividad del sector, así como mejorar las condiciones y calidad de vida de los usuarios y habitantes del sector y de las demás poblaciones que se conectan a través del corredor Tumaco – Junín – Pedregal.

- OBJETIVOS

- OBJETIVO GENERAL:

Diseñar el Pavimento más adecuado para el tramo PR84+0400 al PR88+0000 del tramo Junín – Pedregal (1002), en el Departamento de Nariño.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Determinar las características particulares de la estructura de pavimento del tramo en estudio.

Con base a las condiciones de tránsito, clima y características físico-mecánicas de las estructuras de pavimento, establecer la funcionalidad del tramo.

Caracterizar las fallas presentes en el tramo.

Establecer que parte de la estructura de pavimento ha fallado en el tramo y sus causas.

Realizar el diseño de pavimento para el tramo en estudio.



## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 INFORMACIÓN SOBRE EL TRAMO EN ESTUDIO

De acuerdo al más reciente informe del Grupo No. 2 de Mantenimiento Vial contratada por el INVIAS, expresa: En esta ruta Junín – Pedregal, entre el PR 31 Ricaurte y el PR 95 Túquerres, carretera con superficie de rodadura en carpeta asfáltica en un tramo y tratamiento superficial doble en otro, cuya longitud es de 64,5 Km., solamente dos pequeños sectores de carretera que sumados dan 4,42 Km., que se intervinieron en los años 2003 y 2007, se encuentran en Buen Estado, los restantes 60,08 Km. Se encuentran en MAL y MUY MAL ESTADO, debido a que la vida útil de esas estructuras ya se ha rebasado y mientras el clima de la región es adverso, también las inversiones para el Mantenimiento de esta carretera han sido insignificantes.

Estos 60,08 km de carretera necesitan una Estructura de Pavimento nueva, y mientras esto sea posible, es necesario realizar el bacheo con mezcla asfáltica de manera continua dado el estado de la vía. Entre el PR 61+0000 y el PR 68+0700 y entre el PR 80+0150 y el PR 95+0000 sumados 22,36 km. Para lograr una solución parcial se necesitarían más de 15.000 millones de pesos.

Durante el año 2008 la inversión para el Mantenimiento de la carretera en cuanto a la superficie de rodadura es muy baja, mientras se necesita no menos de 2.000 millones de pesos para Bacheo con mezcla asfáltica, se asignaron 450 millones para Mantenimiento, mediante contrato No. 1622 de 2008, suscrito con el ingeniero Rubén Darío Tamayo Espitia, que inició el 15 de septiembre de 2008. Con estos recursos la actividad principal fue el bacheo con mezcla asfáltica, debido al pésimo estado de la superficie de rodadura, como ya se dijo, sin embargo se deja de ejecutar otras necesidades puntuales de Mantenimiento, igualmente importantes. Los trabajos de bacheo se iniciaron desde Túquerres (PR 95) y con un avance del 100% del contrato, el bacheo apenas llega al PR 89 y al finalizar el mismo gracias a recursos adicionales, se estima que el bacheo escasamente llegará hasta el PR 86, cubriendo apenas el 15% de la necesidad, 9 km de 60,08 km. Debe aclararse que el estado de deterioro de la superficie de rodadura es tal, que gracias al bacheo actual se mejora un poco la transitabilidad de los vehículos, pero este tramo se sigue considerando en Estado Malo.

El sector en estudio PR 84+0400 a PR 88+0000 presenta una altitud media de 2800 metros sobre el nivel del mar, una pluviosidad de 1200 mm/año y una temperatura media de 12°C.

De acuerdo al estudio realizado por los ingenieros Carlos Benavides y Amparo Polanco para la empresa Panavías LTDA. Que cubre dos tramos separados PR69+300 a PR72+000 y PR77+200 a PR81+0150, actualmente el sector presenta un tránsito promedio diario semanal del orden de 1300 vehículos, con una composición representativa de 68% de autos, 9% de buses y 23 % de camiones, predominando dentro de los camiones los tipos C2 y C3 que alcanzan el 81% y 12% respectivamente, únicamente el 7% de los camiones corresponden a camiones con más de 5 ejes (Tractomulas). El tránsito de esta vía se puede clasificar como mediano.

El perfil estratigráfico del tramo PR 69+0300 a PR72+0000 en términos generales, está conformado por las siguientes capas de suelo:

Una carpeta asfáltica con espesor variable entre 4.0 cm y 10.0 cm.

Una base granular con espesor variable entre 10.0 cm y 20.0 cm.

Una subbase granular con espesor variable entre 25.0 cm y 35.0 cm.

Una capa de afirmado granular con espesor variable entre 0.0 cm y 30.0 cm.

Subrasante de características granulares.

El perfil estratigráfico del tramo PR77+0200 a PR80+0150 está conformado de la siguiente manera:

Una capa de rodadura conformada por 2.0 cm de un tratamiento superficial doble.

Una base granular con espesor variable entre 8.0 cm y 18.0 cm.

Una capa de arena con espesor variable entre 0.0 cm y 5.0 cm.

Una capa de material granular con arena tipo subbase con espesor variable entre 30.0 cm y 110.0 cm.

La subrasante en un sector está constituida por un suelo fino color negro de características orgánicas, con un espesor variable entre 30.0 cm y 90.0 cm aproximadamente.

Debajo de la capa de suelo orgánico descrita como subrasante, en un tramo se encontró una arena con vetas de suelo fino color negro.

La subrasante en los tramos estudiados presenta valores de CBR entre 5.0% y 12%, con excepción de una muestra que presenta el valor de CBR de 26%.

El estudio recomienda las siguientes soluciones de pavimento flexible:

Imagen 4. Tramo PR69+0300 a PR72+0000

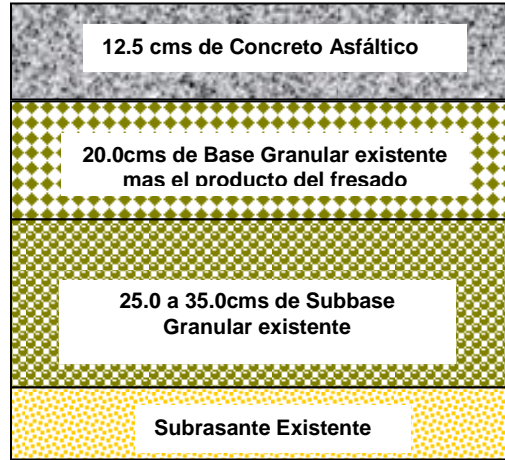
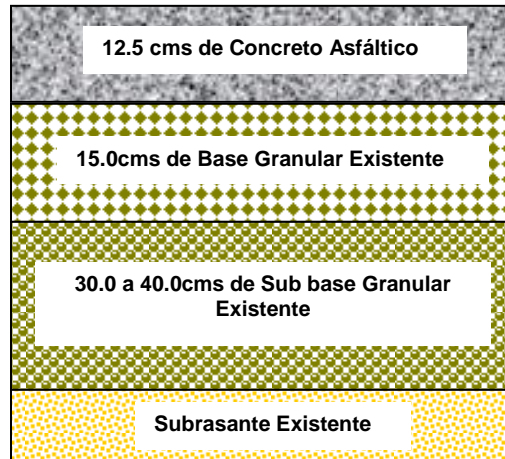


Imagen 5. Tramo PR77+0200 a PR80+0150:



El presente proyecto plantea el estudio del tramo comprendido entre los puntos de referencia PR84+0400 a PR88+0000, sector más crítico por su mal estado del tramo 1002 Junín-Pedregal. Dentro del estudio se hará la evaluación estructural y funcional del tramo con una estructura de pavimento, subbase y base granulares y se presentarán las conclusiones resultantes del análisis. Se hará el estudio geotécnico correspondiente y otros estudios del caso, para la generación de la solución a todo el tramo en estudio y las recomendaciones finales.

## 1.2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

La repetida acción del tránsito y las condiciones ambientales producen el deterioro en un pavimento flexible hasta llevarlo a la falla por la fatiga de los materiales de la estructura.

El estudio de la transmisión de esfuerzos que las cargas verticales del tránsito generan en una estructura de pavimento inició con Boussinesq, quien consideró la acción del tránsito como una carga vertical concentrada, actuando sobre una masa de suelo semi-infinita, linealmente elástica e isotrópica. Una mayor aproximación a la situación real de un pavimento, por ser un conjunto de capas de muy diversas características, se debe a Burmister quien estudió el problema de la distribución de esfuerzos en un sistema Bi-capa, siendo cada una de las dos capas, homogénea, isotrópica y linealmente elástica. El esfuerzo obtenido es función de la relación de módulos de elasticidad de las dos capas. Se observó que a medida que la capa es de mejor calidad, menor es la magnitud del esfuerzo transmitido a la subrasante<sup>1</sup>.

Los métodos de diseño de pavimentos flexibles más modernos aplican teorías elásticas sobre modelos multi-capas para distribución de esfuerzos.

La falla del pavimento ocurre cuando se da una elevada deformación de la estructura considerando que el esfuerzo normal sobre el suelo de subrasante no debe superar los límites permitidos por ésta, o cuando se observan agrietamientos de la superficie de rodadura asfáltica, producidos cuando el esfuerzo y por consiguiente, la deformación máxima admisible por tracción de la fibra inferior de la capa asfáltica es excedida a causa de la flexión repetida de estas capas bajo las sollicitaciones del tránsito. Se deben verificar como valores críticos la deformación de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas y el esfuerzo de compresión sobre la subrasante<sup>2</sup>.

Si al realizar el análisis estructural del pavimento flexible existente, se identifica un estado de deterioro o insuficiencia en su capacidad estructural, se requiere llevar a cabo un trabajo de rehabilitación, el cual es frecuentemente más económico realizarlo antes de que su avanzado estado de deterioro se vuelva muy severo.

La recuperación de pavimentos mediante capas de refuerzo requiere de la utilización de un concreto asfáltico o hidráulico como material para la sobrecarga, cuyo espesor se determina analíticamente a partir de la evaluación

---

<sup>1</sup> GARCÉS CÁRDENAS, Claudia María, GARRO COSSIO, Olga María, Pavimentos. Universidad de Medellín, División de Investigaciones y Asesorías. Medellín, 1997. Página 41.

<sup>2</sup> Ibíd. Página 42.

semicuantitativa de la capacidad estructural del pavimento existente. Una alternativa de rehabilitación es la de reciclaje del pavimento existente, que consiste en la reutilización de parte de las capas de la estructura existente para mejorar su capacidad estructural, dado que un concreto asfáltico degradado trabaja como una base y un concreto asfáltico degradado reciclado, trabaja como una base asfáltica.

En este caso la adición de nuevos materiales es necesaria para mejorar la resistencia y el comportamiento del pavimento mejorado. La alternativa de restauración, llevada a cabo para mejorar las condiciones superficiales de la capa de rodadura no aplicaría a este caso, dadas las condiciones del estado de deterioro de los tramos.

Por otro lado, la aplicación de la alternativa de reconstrucción, que consiste en la remoción de las capas existentes y reemplazo total o parcial de la estructura, se realiza cuando la estructura existente tiene un deterioro tal que no genera mayor aporte estructural (se toma como una subrasante mejorada). Esta opción, considerada como la más costosa, está condicionada a los resultados de la evaluación realizada a través del presente proyecto.

El diseño de pavimentos se basa en la determinación de la capacidad de la estructura modelada, bajo las solicitaciones de carga. Existen diferentes metodologías, como el enfoque empírico-mecanicista, el enfoque de los espesores efectivos ó el enfoque de las deflexiones.

La evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos flexibles con tiempo de servicio se realiza básicamente mediante la utilización de la Viga Benkelman (instrumento cuya aplicación en la tecnología de pavimentos permite cuantificar las deflexiones recuperables de la estructura al paso de los vehículos), la cual mide en términos de deformaciones la vida útil remanente del pavimento. La deflexión es producida por esfuerzos tanto elásticos como plásticos, son éstos últimos los que producen el ahuellamiento en la capa de rodadura por acción del tránsito durante un tiempo de servicio. La modelización estructural para el diseño de pavimento, determina los módulos resilientes y las relaciones de Poisson de los materiales de las diferentes capas de pavimento y de la subrasante, mediante un procesamiento de convergencia de las deflexiones calculadas a través de un programa elástico y las deflexiones medidas en campo.

Otro método para evaluar la capacidad estructural del pavimento es el Deflectómetro de impacto FWD (Falling Weight Deflectometer), que genera un gráfico característico de las deflexiones, que se asignan a las capas de la estructura, de acuerdo al registro de cada sensor. Cuando se utiliza el deflectómetro de impacto para la obtención de las deflexiones, los métodos de retrocálculo nos ayudan a determinar las propiedades de las capas de la estructura de pavimento.

De otra parte, para la evaluación geotécnica, los ensayos de resistencia tradicionales, que miden la respuesta de la subrasante para soportar cargas, incluyen, el ensayo de CBR, estabilómetro o valor de resistencia HVEEM Valor-R, el ensayo de Placa o Módulo de reacción K, el ensayo de compresión triaxial y el penetrómetro dinámico de cono.

El método directo más utilizado en nuestro medio para determinar la capacidad estructural de la subrasante (y como referencia de las capas granulares) se basa en el ensayo de Relación de Soporte de California CBR, con el cual, por correlación, se obtienen el Módulo de Reacción K y el Módulo Resiliente.

### 1.3 MARCO CONTEXTUAL

El sitio donde se realizó la investigación y las muestras que se tomaron está ubicado en el tramo El Espino – Santander PR84+0400 a PR88+0000 del tramo Junín - Pedregal en el departamento de Nariño.

### 1.4 MARCO NORMATIVO

Tabla 5. Marco Normativo.

NORMA	TEMA	DESCRIPCIÓN
I.N.V. E - 125 - 07	Límite líquido.	Determinación del límite líquido.
I.N.V. E - 126 - 07	Límite plástico.	Determinación del límite plástico.
I.N.V. E - 148 - 07	CBR.	Determinación del CBR.
I.N.V. E - 156 - 07	Modulo resiliente.	Determinación del módulo resiliente.
Guide for desing of pavement structures 1993.	Diseño de pavimentos	Diseño AASHTO.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología aplicada corresponde a la normatividad actual, tanto para la evaluación funcional y estructural, así como para el diseño de pavimentos adoptadas por el Instituto Nacional de Vías. Para el diseño de se aplicaron diferentes metodologías: Mecanicista y AASHTO con método general y simplificado con modelo bicapa.

### 2.1 FASES DE LA METODOLOGÍA

- Caracterización visual de los daños presentes en el tramo PR84+0400 a PR88+0000

Esta caracterización se hará con base en el Manual de inspección visual de pavimentos flexibles del INVIAS.

Recolección de antecedentes.

Recolección de información de daños presentes en el tramo de estudio y su caracterización: fisuras, deformaciones, pérdida de capa de estructura, daños superficiales y otros daños.

Registro de daños.

Reporte de daños: análisis y procesamiento de datos, determinación de causas, severidad y evolución probable.

- Estudio de suelos:

Introducción

Objetivos

Trabajo de campo

Perfil estratigráfico

Determinación de CBR

Observaciones y recomendaciones

Ensayos de laboratorio

Informe fotográfico

- Análisis estructural y funcional en el tramo PR84+0400 a PR88+0000.

Caracterización de daños del tramo en estudio.

Evaluación estructural del tramo. Evaluación deflectométrica con Deflectómetro de impacto FWD (Falling Weight Deflectometer) a disposición, evaluación geotécnica y caracterización de las capas de rodadura existente.

Evaluación de las condiciones de drenaje

Evaluación del tránsito

Evaluación estructural del tramo

Conclusiones

- Diseño de pavimento.

Con base en el análisis de resultados conclusiones del paso anterior, se procede a la sectorización del tramo por características o secciones homogéneas de diseño.

Modelización, o aplicación de modelos estructurales. Determinación de los módulos resilientes y las relaciones de Poisson de los materiales de las diferentes capas de pavimento y de la subrasante.

Caracterización dinámica de la estructura de pavimento.

Diseño de la estructura de pavimento

- Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones.

Recomendaciones.

Especificaciones particulares.



### 3. TRABAJO INGENIERIL

#### 3.1 ANALISIS DE DETERIORO VIA JUNIN –TUQUERRES – PEDREGAL SECTOR PR 84+400 - PR 88+000

- Inspección visual.

Revisión de forma visual, para observar los tipos de fallas del pavimento en concreto asfáltico. La inspección visual se realizó en dos etapas:

3.1.1 Inspección visual inicial. En esta etapa se obtiene una inspección general del proyecto y se definen las zonas en las que se tienen tipos y niveles similares de deterioro para posteriormente realizar la inspección visual detallada. Este método utiliza un vehículo conducido a baja velocidad (20 Km/h) comprendiendo toda la extensión del tramo de vía.

3.2.2 Inspección visual detallada. En esta fase se debe recorrer la vía a luz del día y el sol tiene que estar a la espalda del auscultor, tomando todas las medidas de seguridad necesarias. Para el análisis de las secciones iguales o los tramos parcializados se toma nota detallada de las fallas encontradas en la superficie y las observaciones al respecto.

Los diferentes tipos de falla que se presentan en la auscultación son determinados por medio de ciertas medidas los cuales son:

El tipo de falla.

La severidad.

El área.

- Fallas que se observan en el pavimento asfáltico del tramo.

La compilación de daños visibles es, generalmente, el primer paso requerido para valorar la condición general de un pavimento. Dicha información es la que determina la ubicación y extensión de las investigaciones posteriores, con la necesidad de construir un análisis apropiado sobre la condición del pavimento que es centro de una buena investigación.

Para determinar los daños anteriormente mencionados existe el método de la auscultación, la cual se puede desarrollar de forma visual, encontrando daños presentados en la vía.

- Auscultación

Esta actividad fue realizada en la vía JUNIN –TUQUERRES – PEDREGAL SECTOR PR 84+400 - PR 88+000. Los tipos de fisuras más frecuentes encontradas en el proceso realizado fueron: FISURA EN BLOQUE (FB), PIEL DE COCODRILO (PC), DESCASCARAMIENTOS (DC), BACHES (BCH) y PARCHEOS.

Imagen 6. PR84+0800



Imagen 7. PR84+0950



- Descascaramientos - Parches

Imagen 8. PR85+0350



Imagen 9. PR 85+0480



- Piel de cocodrilo

Imagen 10. PR85+0900

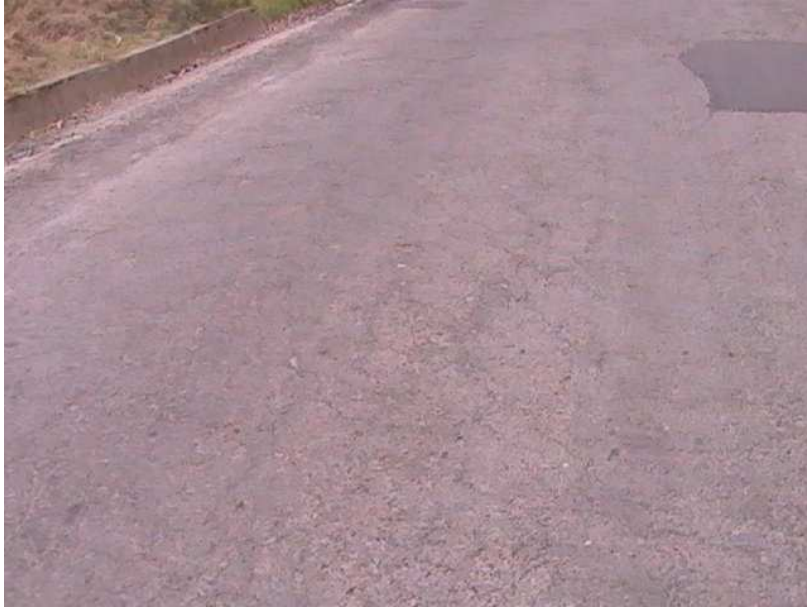


Imagen 11. PR86+0120



- Piel de cocodrilo

Imagen 12. PR86+0400



Imagen 13. PR86+0480



- Piel de cocodrilo - Descascaramientos

Imagen 14. PR86+0900



Imagen 15. PR87+0350



- Piel de cocodrilo - Fisura En Bloque

Imagen 16. PR87+0560



Imagen 17. PR87+610



- Descascaramiento - Piel de cocodrilo

Imagen 18. PR87+0800



Imagen 19. PR87+0800





## 4. LABORES DE PARCHEO

### 4.1 DETERIOROS PRESENTADOS.

- Descascaramiento (DC): Desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin llega a afectar las capas asfálticas subyacentes.

- Causas. Limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales  
Espesor insuficiente de la capa de rodadura asfáltica  
Riego de liga insuficiente  
Mezcla asfáltica muy permeable

- Severidad:

Baja. Profundidad menor que 10 mm  
Media Profundidad entre 10 mm y 25 mm  
Alta Profundidad mayor a 25 mm

- Evolución: Piel de cocodrilo, bache

4.1.1 Baches (BCH): Desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuesto los materiales granulares lo cual lleva a un aumento del área afectada y de su profundidad debido a la acción del tránsito.

- Causas:

Ocurre siempre como evolución de varios daños especialmente el de piel de cocodrilo

Deficiencia de espesores de capas estructurales

- Severidad:

Baja. Profundidad menor que 25 mm  
Media Profundidad entre 25 mm y 50 mm, deja expuesta la base.  
Alta Profundidad mayor a 50 mm, afecta la base granular.

- Evolución: Destrucción de la estructura.

4.1.2 Piel de cocodrilo (PC): Serie de fisuras interconectadas con patrón irregular, generalmente en zonas de repetición de carga, la fisuración tiende a iniciarse en el fondo de la capa asfáltica, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de la carga. Ante la repetición de cargas de tránsito, las fisuras forman piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de cocodrilo, tales piezas tienen por lo general un diámetro promedio menor que 30 centímetros.

La piel de cocodrilo ocurre generalmente en áreas que están sometidas a cargas de tránsito, sin embargo es usual encontrar este daño en otras zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con la falla estructural (POR TRANSITO O POR DEFICIENCIA DE ESPESORES DE LAS CAPAS), sino por problemas de drenaje que afectan los materiales granulares, falta de compactación en las capas, reparaciones mal ejecutadas y subrasantes expansivas.

- Causas:

Falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

Espesor de la estructura del pavimento asfáltico insuficiente

Deformaciones en la subrasante

Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (oxidación del asfalto o envejecimiento).

Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares

Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.

Deficiencia en la elaboración de la mezcla asfáltica

Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación.

Todos estos factores reducen la capacidad estructural o inducen esfuerzos adicionales en cada una de las capas de pavimento haciendo que ante el paso del tránsito se generen deformaciones que no son admisibles para el pavimento que se pueden manifestar mediante fisuración

- Severidad:

Baja. Fisuras que pueden tener abertura aproximada a 3 mm principalmente en la huella, no hay desportillamiento, con poca o ninguna conexión entre ellas y no existe evidencia de bombeo.

Media Fisuras que forman un patrón de polígonos pequeños y angulosos que pueden tener un ligero desgaste en los bordes y abertura entre 1 mm y 3mm, sin evidencia de bombeo

Alta fisuras han evolucionado (abertura mayor a 3 mm) presenta desgaste o desportillamiento en los bordes y los bloques se encuentran sueltos o se mueven ante el tránsito

- Evolución: Descascaramientos, baches y deformaciones.

4.1.3 Fisura en bloque (FB): La superficie del asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular, los bloques tienen lado promedio mayor a 30 centímetros. Generalmente aparecen en áreas no cargadas, sin embargo es usual encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo por acción del tránsito.

Por otra parte, la piel de cocodrilo está formada por bloques con más lados y ángulos agudos.

- Causas: Contracción del concreto asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo cual se traduce en ciclos esfuerzo – deformación sobre la mezcla.

Estas fisuras indican que el asfalto se ha endurecido significativamente lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inadecuado por las condiciones climáticas de la zona.

Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.

Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.

4.1.4 Severidad: Baja: Los bloques se han comenzado a formar, pero no están claramente definidos, las fisuras tienen una abertura menor a 1 mm, no presenta desportillamiento en los bordes.

Media Bloques definidos por fisuras de abertura entre 1mm y 3 mm, que pueden o no presentar desportillamiento en los bordes.

Alta. Bloques bien definidos por fisuras de abertura mayor a 3 mm, que pueden presentar un alto desportillamiento en los bordes.

- Evolución: Piel de cocodrilo, Descascaramientos.

#### 4.2 DETERIOROS EN EL TRAMO PR 84+400 - PR 88+000.

Realización de los formatos de análisis de deterioro. Anexo

- Informe de reporte de daños.

El levantamiento se realiza desde el PR 84+0400 hasta el PR 88+0000.

El área total inspeccionada es de 32.535m<sup>2</sup>.

El área total afectada de la vía corresponde a 9.694,5m<sup>2</sup>.

El Porcentaje de afectación total de la vía es del 29,8%.

El deterioro más frecuente en el tramo de la vía inspeccionada es el PARCHEO con un área total de 7.193,6m<sup>2</sup> lo cual corresponde al 22,11% del área total inspeccionada. De ésta área total de parcheo, 4891,3m<sup>2</sup> corresponden al de severidad baja, por lo que su porcentaje de afectación es del 15,03%, convirtiéndose en el más común entre este tipo de deterioro.

Otro deterioro frecuente corresponde a la PIEL DE COCODRILO con un área total de 1.930,4m<sup>2</sup> lo cual corresponde al 5,93% del área total inspeccionada. De ésta área total de piel de cocodrilo, 968,97m<sup>2</sup> corresponden al de severidad media, por lo que su porcentaje de afectación es del 2,98%, convirtiéndose en el segundo deterioro más común en la vía inspeccionada.

El deterioro menos frecuente en el tramo de la vía inspeccionada es la FISURA LONGITUDINAL con un área total de 6m<sup>2</sup> lo cual corresponde al 0,02% del área total inspeccionada y corresponde también al área con severidad alta, convirtiéndose en el más común entre este tipo de deterioro.

El tramo de la vía más afectado es el T22 localizado entre el PR 86+0400 y 86+0500 ya que de 900m<sup>2</sup>, 659m<sup>2</sup> es decir el 73,2% se encuentra dañado por los siguientes deterioros: 9m<sup>2</sup> por descascaramiento, 40m<sup>2</sup> por piel de cocodrilo y 610m<sup>2</sup> por parcheo.

Otro tramo visiblemente afectado es el T13 localizado entre el PR 85+0600 y 85+0700 ya que de 900m<sup>2</sup>, 547,3m<sup>2</sup> es decir el 60,8% se encuentra dañado por los siguientes deterioros: 16,3m<sup>2</sup> por descascaramiento y 531m<sup>2</sup> por parcheo.

## Conclusiones del informe de deterioro

La información presentada se obtiene de realizar una medición aproximada sobre el tramo de la vía y del concepto ingenieril de los diferentes tipos de deterioro.

Hasta la fecha de evaluación 18 de Enero de 2010 el área neta de deterioro es aproximadamente del 29,8 %. Sin embargo, los daños se presentan de manera muy escalada, por lo que realmente no se pueden establecer tramos de tránsito normal y a nivel general el tramo se evalúa como mal estado.

La estructura de pavimento se presenta deteriorada, con incidencia sobre las capas subyacentes a la rodadura (tratamiento superficial con espesor de 2 a 4 cm), dada la gran cantidad de fisuración y baches que han permitido el paso del agua a las capas inferiores de la estructura y la contaminación de las mismas.

Por otro lado, la vida útil del pavimento en el tramo en estudio supera los veinte (20) años de uso en el cual se han ejecutado una gran cantidad de parcheos y rellenos, generando una gran inversión en mantenimiento, que solo podrá disminuir si se construye una estructura de pavimento como se plantea en el presente trabajo.

Existen varias razones para determinar que la estructura de pavimento presente en su estado actual no presenta vida residual, una de ellas es que ha superado el periodo de diseño puesto que su uso supera los 20 años desde su construcción, además el tratamiento superficial, de acuerdo a la metodología AASHTO, se establece para tránsito equivalente al final del periodo de diseño menor a 50.000, valor que es ampliamente superado de acuerdo a los estudios aquí presentados.

De acuerdo al capítulo 7 de la Guía para Rehabilitación de pavimentos flexibles del Invías, cuando ya no hay vida residual y el deterioro alcanza las capas inferiores de la estructura, como en el caso presente, la solución para rehabilitación en este caso es la más drástica y corresponde a reconstrucción, por lo tanto el diseño corresponde a la conformación de la estructura nueva de pavimento.

## 5. ESTUDIO DE SUELOS

### 5.1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio de suelos se realizó con el fin de obtener los parámetros necesarios para elaborar el perfil estratigráfico, establecer las diferentes unidades de diseño y definir la capacidad de carga de la sub rasante para diseñar la estructura del pavimento de la vía EL ESPINO – SANTANDER PR84+0400 A PR88+0000 DEL TRAMO JUNIN - PEDREGAL EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO. Para esto se realizaron 8 apiques en el tramo de estudio, cuyas profundidades están entre 1.60 y 1.80 metros. Los apiques se ubicaron en distancias aproximadas de 500 metros. Se realizaron los ensayos de clasificación, granulometría, límites, índice de plasticidad, y humedad natural. Se realizaron los correspondientes ensayos también de densidad en el terreno con el método del cono y la arena. Adicionalmente se realizaron ensayos de penetración dinámica con el fin de establecer los valores de CBR, tanto en la rasante, como en las profundidades de influencia de las cargas del tránsito, con el fin de determinar los parámetros de diseño de la estructura de pavimento.

### 5.2 OBJETIVOS

Obtener el perfil estratigráfico del subsuelo de la sub rasante de la vía.

Determinar los parámetros necesarios para el dimensionamiento de la estructura del pavimento que se pretende colocar.

Recomendar el mejoramiento de los sectores críticos si los hay.

### 5.3 TRABAJO DE CAMPO

Para realizar el presente trabajo, se acometieron los trabajos de campo y laboratorio en los meses de noviembre y diciembre de 2009, iniciando con los trabajos de perforación y muestreo en el sitio del proyecto con el fin de determinar la estratigrafía, las características de los suelos y los espesores de las capas que constituyen la estructura del pavimento actual. En el tramo de estudio PR 84+400 al PR 88+000 se efectuaron ocho apiques a cielo abierto cuya profundidad se determinó con el cálculo de la profundidad de influencia del bulbo de presión del eje más crítico hasta una profundidad de 1.80 m.

En cada estrato se tomaron muestras alteradas para realizar los ensayos de humedad natural, granulometría y límites de Atterberg que nos permitieron

clasificar el suelo para la elaboración del perfil estratigráfico de la sub rasante. En los apiques cuyo suelo es marcadamente cohesivo se hicieron ensayos de PDC (Penetración con cono dinámico) para obtener el CBR en forma indirecta y en los apiques cuyo suelo es marcadamente friccionante se tomaron muestras alteradas para realizar el ensayo de CBR método I en laboratorio.

#### 5.4 PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL TRAMO EN ESTUDIO

##### 5.4.1 Apique No. 1: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)

Material de base actual: Recebo en matriz arenosa.

Espesor 0.15m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 4.74%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

*Densidad seca máxima gr/cm3* = 1,89

*Humedad óptima %* = 10,7

Material de sub base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.15m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 6.25%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

*Densidad seca máxima gr/cm3* = 1,79

*Humedad óptima %* = 10,7

Relleno: Recebo.

Espesor 1.45m profundidad explorada. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humed. Natural 14.11%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

No se encontró presencia del nivel freático.

5.4.2 Apique No. 2: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)

Material de base actual: recebo arenoso.

Espesor 0.15m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 5.71%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

Material de mejoramiento: arena limosa, compacidad media.

Espesor 1.45m. Hasta la profundidad explorada. LL: 42,92. IP= 14,27. IL= -1,1. Humedad natural 13.57%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	SM	A-7-6

No se encontró presencia del nivel freático.

Rasante	CBR corregido a 0.1"=	18.10
	CBR corregido a 0.2"=	14.53

5.4.3 Apique No. 3: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)

Material de base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.30m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 5.85%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

Material de sub base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.15m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 4.97%.



Clasificación:        SUCS        AASHTO  
                             GM            A-2-4

Limo arenoso de alta compresibilidad, consistencia media.

Espesor 1.25m hasta la profundidad explorada. LL: 56,44. IP= 25,90. IL= 1,0.  
Humedad natural 57.38%.

Clasificación:        SUCS        AASHTO  
                             MH            A-7-5

No se encontró presencia del nivel freático.

Rasante        CBR corregido a 0.1"=        3.10  
CBR corregido a 0.2"=        3.00

5.4.4 Apique No. 4: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)

Material de base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.30m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 6.61%.

Clasificación:        SUCS        AASHTO  
                             GM            A-2-4

Rasante: Recebo fino.

Espesor 1.40m. Hasta la profundidad explorada. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 14,41%.

Clasificación:        SUCS        AASHTO  
                             GM            A-2-4

No se encontró presencia del nivel freático.

5.4.5 Apique No. 5: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)

Material de base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.15m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 5.05%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

Material de mejoramiento: Recebo arenoso.

Espesor 0.15m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 6.70%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

Arena limosa, compacidad media.

Espesor 1.20m hasta la profundidad explorada. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 4.46%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	SM	A-2-4

No se encontró presencia del nivel freático.

5.4.6 Apique No. 6: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)

Material de base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.15m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 6.22%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

Material de mejoramiento: Recebo.

Espesor 1.0m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 17.28%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

Pedraplén tamaño medio.

Espesor 0.65m hasta la profundidad explorada.

Clasificación: SUCS  
GP

No se encontró presencia del nivel freático.

#### 5.4.7 Apique No. 7: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)

Material de base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.18m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 6.17%.

Clasificación: SUCS AASHTO  
GM A-2-4

Material de sub base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.57m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 6.30%.

Clasificación: SUCS AASHTO  
GM A-2-4

Arena limosa, compacidad media.

Espesor 0.90m hasta la profundidad explorada. LL: 45,96. IP= 16,91. IL= 0,2. Humedad natural 32.80%.

Clasificación: SUCS AASHTO  
SM A-7-6

No se encontró presencia del nivel freático.

Rasante CBR corregido a 0.1"= 6.80  
CBR corregido a 0.2"= 6.13

#### 5.4.8 Apique No. 8: (Anexo No. 15 Ensayos de Laboratorio, Cuadro Resumen de Clasificación de Suelos e informes de laboratorio)

Material de base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.15m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 4.88%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

Material de sub base actual: Recebo arenoso.

Espesor 0.25m. LL: NL. IP= 0. IL= 0. Humedad natural 8.84%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	GM	A-2-4

Limo arenoso de baja compresibilidad, consistencia media.

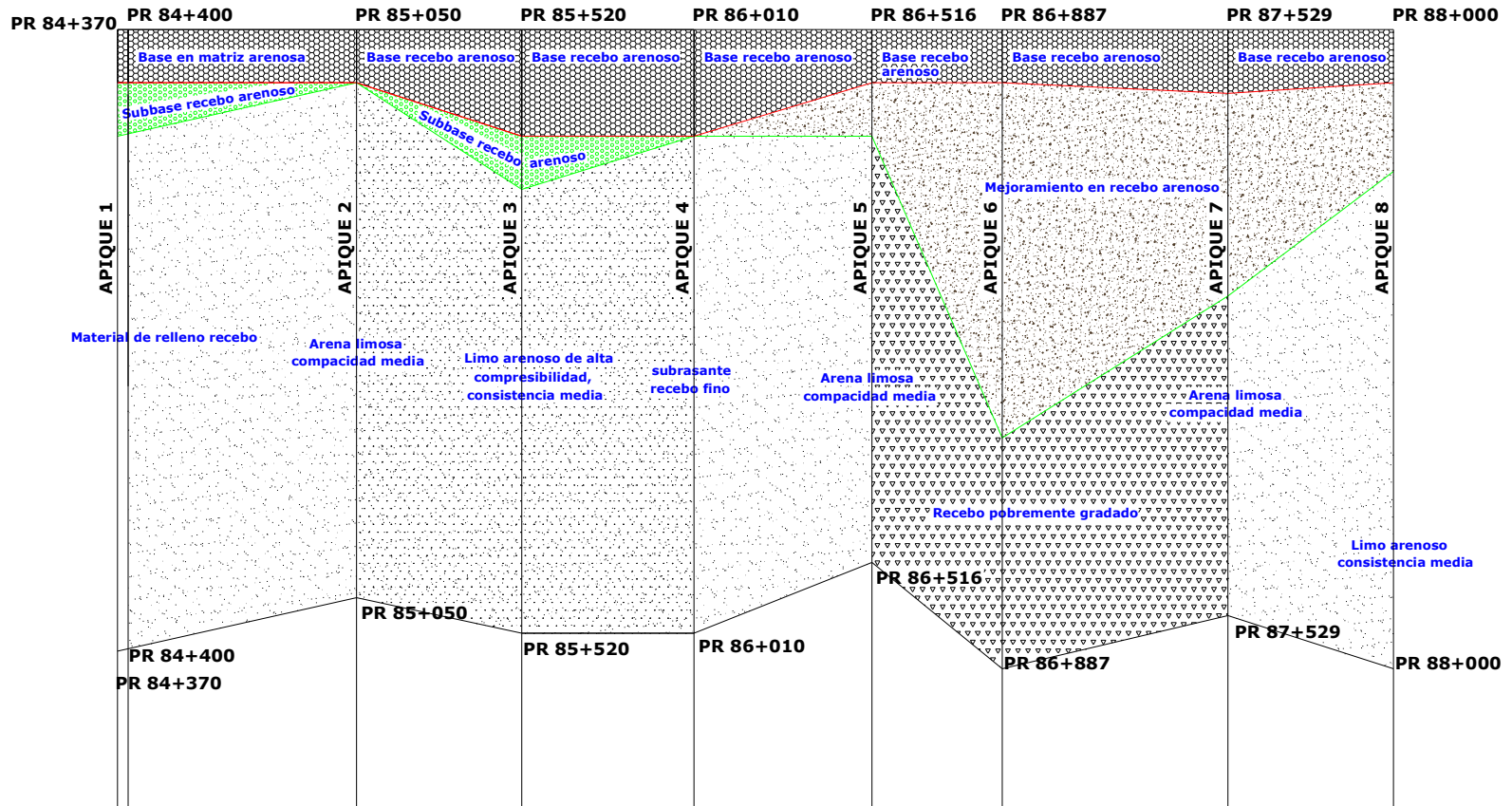
Espesor 1.40m hasta la profundidad explorada. LL: 47,71. IP= 16,55. IL= 0,3. Humedad natural 35.56%.

Clasificación:	SUCS	AASHTO
	ML	A-7-5

No se encontró presencia del nivel freático.

Rasante	CBR corregido a 0.1"=	8.10
	CBR corregido a 0.2"=	7.47

Grafica 2. Perfil estratigráfico del tramo en estudio.



Relación Escala Vertical: Escala Horizontal 1000:1

## 5.5 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados de laboratorio obtenidos, observamos la presencia de suelos marcadamente areno-limosos con espesores para base de 0.15m y de sub base de 0.30m, a excepción del apique No. 2 en el PR 85+050 (población El Espino) donde la sub base está conformada por arena limosa de compactación media.

De acuerdo a lo anterior se nota la necesidad de hacer exploraciones intermedias para definir las unidades de diseño con mayor precisión en la etapa de replanteo del proyecto.

Para mayor facilidad en el manejo del diseño de la estructura del pavimento es necesario plantear dos unidades de diseño, así:

Unidad de diseño No. 1: Desde el K84+400 al K85+770.  
CBR de referencia = 3.0

Unidad de diseño No. 2: Desde el K85+770 al K88+000.  
CBR de referencia = 6.1

Es necesario homogenizar la compactación de la sub rasante en ambos casos hasta el 95% del próctor modificado.

## 6. DISEÑO DE PAVIMENTO

### 6.1 ASPECTOS GENERALES DEL TRAMO DE DISEÑO

El diseño se realiza para el sector El Espino – Santander PR 84+0400 a PR 88+0000, de la Vía Pasto - Tumaco, localizada al sur oriente del departamento de Nariño, como se ubica en la siguiente figura.

Imagen 20. Mapa de ubicación del sector de diseño

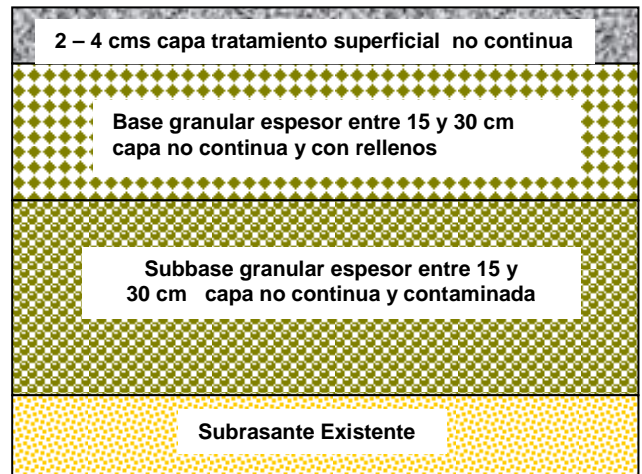


6.1.1 Estado actual del sector. El tramo de vía presenta una calzada de 7.30 metros y bermas de 1.20 m, con buenas condiciones de geometría vertical y horizontal y amplias distancias de visibilidad.

La evaluación inicial establece que el tramo presenta altas condiciones de deterioro, desconfiguración de la estructura de pavimento inicial, con una capa de rodadura de tratamiento superficial de espesor entre 2 y 4 centímetros, una capa de base con espesor variable entre 15 y 30 cms, subbase de espesor variable, entre 15 y 30 cm. En algunos sectores se presentan cambios marcados en la estructura, con presencia de rellenos en recebo, pedraplenes y suelos de bajas características fisicomecánicas.

La evaluación muestra un alto nivel de fisuración, descascamientos y piel de cocodrilo.

La vida útil del pavimento se ha rebasado hace ya varios años, su funcionamiento ya ha superado los 20 años desde su construcción, además de que se trata de un tratamiento superficial, el cual se considera para volúmenes de tránsito muy bajos, que no corresponden a la representatividad actual de este sector.



6.1.2 Características climáticas. El sector de diseño está ubicado a una altitud de 2800 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 12°C, correspondiente a piso térmico frío.

La pluviosidad se registra en 1200 milímetros por año.

6.1.3 Estación de conteo del tránsito. La estación correspondiente al presente sector de estudio es la 319 El Espino – Túquerres, de la cual se toman los datos de la serie histórica para el estudio de tránsito correspondiente. El último registro de conteos nacionales presentado por el Invías, corresponde al año 2007, y para la estación 319 presenta la siguiente información:

El tránsito promedio diario para 2007 es de 2042 vehículos, con una composición del 77% correspondiente a autos, 4% para buses y 20% para camiones.

Dentro de la distribución por tipo de camión, se establece para el año de registro presentado, una asignación del 18.56% para C2P, 65.43% para C2G, 9.6% para C3-4, y 6.41% para mayores de C5. No se registraron vehículos tipo C5.

## 6.2 ANÁLISIS DE TRANSITO

El tránsito se analiza para un período de diseño de 10 años, utilizando la serie histórica de datos de la estación de conteo 319 El Espino – Túquerres del registro anual del Instituto Nacional de Vías. La proyección y ajuste del tránsito se realiza con base en el análisis estadístico de la información de base. El tránsito futuro para el diseño de pavimento flexible se expresa en número de ejes equivalentes a 8.2 toneladas.



6.2.1 Volúmenes de tránsito. De la estación de conteo correspondiente, se utilizaron los valores de tránsito comprendidos entre el periodo 1989 a 2007. Incluyendo los valores de tránsito promedio diario semanal TPDS, la composición vehicular y la distribución de camiones. No se incluyen los datos de los años 1992 y 2002, ya que no presentan datos de distribución de camiones.

Tabla 6. Información base de tránsito. Estación No. 319. El Espino – Túquerres

AÑO	TPD	COMPOSICION			DISTRIBUCION DE CAMIONES				
		A	B	C	C2P	C2G	C3-4	C5	>C5
1989	1002	60	4	36	1481	824	197	15	4
1990	788	57	6	37	889	934	219	17	8
1991	1129	67	4	29	917	1097	223	23	10
1993	1096	66	4	30	1056	882	279	30	40
1994	1329	67	8	25	1144	722	384	42	49
1995	1661	66	4	29	1565	1191	416	126	129
1996	1565	69	3	28	1216	1356	387	53	36
1997	867	62	6	32	584	1005	279	23	31
1998	810	64	7	29	503	653	364	59	58
1999	1533	67	7	26	1374	954	302	60	64
2000	1505	72	5	23	1208	708	300	122	105
2001	1692	69	5	26	1547	1044	363	42	65
2003	2126	75	10	15	1491	1385	265	93	115
2004	2139	75	3	22	1573	1107	299	108	134
2005	2403	76	3	21	974	1956	305	103	192
2006	3041	72	5	23	1080	2721	396	241	355
2007	2402	76	4	30	617	2175	319	0	213

Seguidamente se presenta la información del tránsito del periodo comprendido entre los años 1987 a 2007, con la distribución porcentual y absoluta de acuerdo al tipo de camión, así como los valores representativos del periodo.

Tabla 7. Distribución porcentual de camiones. Estación No. 319. El Espino – Túquerres

AÑO	TPD	COMPOSICION			DISTRIBUCION PORCENTUAL DE CAMIONES				
		%A	%B	%C	%C2P	%C2G	%C3-4	%C5	%>C5
1989	1002	60	4	36	58.7	32.7	7.8	0.6	0.2
1990	788	57	6	37	43.0	45.2	10.6	0.8	0.4
1991	1129	67	4	29	40.4	48.3	9.8	1.0	0.4
1993	1096	66	4	30	46.2	38.6	12.2	1.3	1.7
1994	1329	67	8	25	48.9	30.8	16.4	1.8	2.1
1995	1661	66	4	29	45.7	34.8	12.1	3.7	3.8
1996	1565	69	3	28	39.9	44.5	12.7	1.7	1.2
1997	867	62	6	32	30.4	52.3	14.5	1.2	1.6
1998	810	64	7	29	30.7	39.9	22.2	3.6	3.5
1999	1533	67	7	26	49.9	34.6	11.0	2.2	2.3
2000	1505	72	5	23	49.4	29.0	12.3	5.0	4.3
2001	1692	69	5	26	50.5	34.1	11.9	1.4	2.1
2003	2126	75	10	15	44.5	41.4	7.9	2.8	3.4
2004	2139	75	3	22	48.8	34.4	9.3	3.4	4.2
2005	2403	76	3	21	27.6	55.4	8.6	2.9	5.4
2006	3041	72	5	23	22.5	56.8	8.3	5.0	7.4
2007	2402	76	4	20	18.6	65.4	9.6	0.0	6.4
PROMEDIO		68	5	27	41	42	12	2	3

Tabla 8. Distribución absoluta de camiones. Estación 319 El Espino – Túquerres

AÑO	TPD	COMPOSICION			DISTRIBUCION ABSOLUTA DE CAMIONES				
		A	B	C	C2P	C2G	C3-4	C5	>C5
1989	1002	601	40	361	589	328	78	6	2
1990	788	449	47	292	339	356	83	6	3
1991	1129	756	45	327	456	546	111	11	5
1993	1096	723	44	329	506	423	134	14	19
AÑO	TPD	COMPOSICION			DISTRIBUCION ABSOLUTA DE CAMIONES				
		A	B	C	C2P	C2G	C3-4	C5	>C5
1994	1329	890	106	332	649	410	218	24	28
1995	1661	1096	66	482	759	577	202	61	63
1996	1565	1080	47	438	624	696	199	27	18
1997	867	538	52	277	263	453	126	10	14
1998	810	518	57	235	249	323	180	29	29
1999	1533	1027	107	399	765	531	168	33	36
2000	1505	1084	75	346	744	436	185	75	65
2001	1692	1167	85	440	855	577	201	23	36
2003	2126	1595	213	319	947	879	168	59	73
2004	2139	1604	64	471	1045	735	199	72	89
2005	2403	1826	72	505	663	1332	208	70	131
2006	3041	2190	152	699	685	1726	251	153	225
2007	2402	1826	96	480	446	1572	231	0	154
PROMEDIO		1116	80	396	623	700	173	40	58

6.2.2 Determinación de la serie histórica de tránsito equivalente. De acuerdo al tipo de tránsito presente y las características vehiculares para diseño se establecen los correspondientes factores de daño, que se muestran como sigue:

Tabla 9. Cálculo de factores de daño

VEHICULO TIPO	TPD	PESO DE EJES (KN)						FACTOR DAÑO
		SRS		SRD	TRD		TRIDEM	
FACTOR DAÑO		$(P/66)^4$	$(P/66)^4$	$(P/82)^4$	$(P/150)^4$	$(P/150)^4$	$(P/230)^4$	S
B	211	30	45					
FD		0.043	0.216	0.000	0.000	0.000	0.000	0.259
C2 P	431	40	0	50	0	0	0	
FD		0.135	0.000	0.138	0.000	0.000	0.000	0.273
C2 G	431	45	0	100	0	0	0	
FD		0.216	0.000	2.212	0.000	0.000	0.000	2.428
C3	116	50	0	0	200	0	0	
FD		0.329	0.000	0.000	3.160	0.000	0.000	3.490
C3-S2	27	55	0	0	180	200	0	
FD		0.482	0.000	0.000	2.074	3.160	0.000	5.716
C3-S3	32	60	0	0	220	0	240	
FD		0.683	0.000	0.000	4.627	0.000	1.186	6.496

Para cada tipo de vehículo comercial se establece la equivalencia a ejes de 8.2 toneladas a través de los factores de daño, para determinar la serie histórica de ejes equivalentes, con base en la cual, se hará la respectiva proyección y ajuste para diseño.

Tabla 10. Determinación de la serie histórica de tránsito equivalente a 8.2 ton

AÑO	TPD	VEHICULOS COMERCIALES						TOTAL EJES EQUIVALENTES POR AÑO
		B	C2P	C2G	C3-4	C5	>C5	
FACTOR DAÑO		0.259	0.273	2.428	3.49	5.716	6.496	
1989	1002	10	161	796	272	34	13	1287
1990	788	12	93	864	290	34	19	1313
1991	1129	12	124	1326	387	63	32	1945
1993	1096	11	138	1027	468	80	123	1848
1994	1329	27	177	995	761	137	182	2280
1995	1661	17	207	1401	705	349	409	3088
1996	1565	12	170	1690	695	154	117	2838
1997	867	13	72	1100	440	57	91	1773
1998	810	15	68	784	628	166	188	1849
1999	1533	28	209	1289	586	189	234	2535
2000	1505	19	203	1059	646	429	422	2778
2001	1692	22	233	1401	701	131	234	2723
2003	2126	55	259	2134	586	337	474	3846
2004	2139	17	285	1785	695	412	578	3771
2005	2403	19	181	3234	726	400	851	5411
2006	3041	39	187	4191	876	875	1462	7629
2007	2402	25	122	3817	806	0	1000	5770

Se encuentra que el TPD y el total de ejes equivalentes resulta atípico para el año 2006, por tanto se descarta este año como dato para el análisis de regresión lineal y la posterior proyección del tránsito.

6.2.3 Ecuación de variación del tránsito. La estimación del tránsito normal para los próximos 10 años, se realizó con base en el análisis de regresión. Para este análisis se estableció el modelo de crecimiento lineal del Tránsito, ya que registra una tendencia moderada en el crecimiento del tránsito para el periodo de diseño y por presentar un elevado coeficiente de correlación lineal, superior al 80%.

Para este análisis se descartó el registro correspondiente al año de 2006, por considerarse como un dato atípico de la serie, igualmente no fueron ingresados los datos de los años 1992 y 2002, los cuales no registraban la distribución clasificada de camiones.

Se proyecta entonces el tránsito equivalente para cada año mediante el modelo de Regresión Lineal, aplicado a los datos de tránsito equivalente para la serie histórica disponible y el cual está dado por las siguientes características:

Ecuación de regresión lineal:

$$Y = -413042.16 + 208.18 X \quad \text{para cada año de proyección } X$$

Coeficiente de correlación lineal:  $r = 0.84$

Coeficiente de determinación:  $R^2 = 0.71$

6.2.4 Proyección del tránsito equivalente. Con base en la ecuación de regresión, se calculó el tránsito equivalente futuro, para el periodo de diseño de 10 años (2010 – 2020):

Tabla 11. Proyección del tránsito equivalente

AÑO	TE
2010	5392
2011	5600
2012	5808
2013	6017
2014	6225
2015	6433
2016	6641
2017	6849
2018	7058
2019	7266
2020	7474

6.2.5 Análisis de la confiabilidad en la estimación del tránsito. Con el fin de estimar el tránsito con un nivel de confiabilidad superior al 50%, se incluyen los siguientes análisis:

- Cálculo del error del modelo de proyección
- Cálculo del error de pronóstico
- Corrección del tránsito de acuerdo al Nivel de Confianza de estimación de la variable.

Cálculo del error estándar del modelo de proyección

Para el cálculo del error estándar del modelo de proyección, inicialmente se calcula la sumatoria del cuadrado de las diferencias entre los tránsitos equivalentes diarios observados y los tránsitos equivalentes diarios asumidos por el modelo de proyección.

Tabla 12. Comparación de tránsitos equivalentes en el periodo de análisis

AÑO	TRANSITO EQUIVALENTE CALCULADO	TRANSITO EQUIVALENTE PROYECTADO	DIFERENCIA DE TRANSITOS	CUADRADO DE LAS DIFERENCIAS
1989	1287	1020	266,58	71,066
1990	1313	1229	84,41	7,124
1991	1945	1437	508,23	258,298
1993	1848	1853	-5,12	26
1994	2280	2061	218,70	47,830
1995	3088	2269	818,53	669,983
1996	2838	2478	360,35	129,851
1997	1773	2686	-912,83	833,254
1998	1849	2894	-1045,00	1,092,033
1999	2535	3102	-567,18	321,693
2000	2778	3310	-532,36	283,403
2001	2723	3519	-795,53	632,872
2003	3846	3935	-88,88	7,901
2004	3771	4143	-372,06	138,430
2005	5411	4351	1059,76	1,123,097
2007	5770	4768	1002,41	1,004,826
N =16			Σ	5,616,861

Error estándar ( $\sigma$ ) del modelo de estadístico seleccionado durante la serie histórica:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} (\text{Transito estimado} - \text{Transito medido})^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{5616861}{16 - 2}} = 633.41$$

Cálculo del error de pronóstico para cada año de la serie de proyección en el periodo de diseño.

Se realiza a través de los siguientes pasos:

- Determinación del valor promedio de los años registrados en la serie histórica:

Año

$$\text{prom} = (1989 + 1990 + 1991 + 1993 + 1994 + 1995 + 1996 + 1997 + 1998 + 1999 + 2000 + 2001 + 2003 + 2004 + 2005 + 2007) / 16$$

$$\text{Año promedio} = 1997.625$$

- Cálculo de la diferencia entre el valor de cada año de la serie histórica y el valor promedio (1998), al cuadrado:

Tabla 13. Calculo del cuadrado de las diferencias entre cada año y el valor promedio de los años

AÑO X	(AÑO - AÑO PROMEDIO) <sup>2</sup> (X - X <sub>MED</sub> ) <sup>2</sup>
1989	74.39
1990	58.14
1991	43.89
1993	21.39
1994	13.14
1995	6.89
1996	2.64
1997	0.39
1998	0.14
1999	1.89
AÑO X	(AÑO - AÑO PROMEDIO) <sup>2</sup> (X - X <sub>MED</sub> ) <sup>2</sup>
2000	5.64
2001	11.39
2003	28.89
2004	40.64
2005	54.39
2007	87.89
n =16	451.75

- Calculo del error de pronóstico del número de ejes equivalentes, para cada año del periodo de proyección.

$$\sigma_{\text{pronostico } i} = \sigma \times \sqrt{\frac{(X_i - X_{MED})^2}{\sum (X - X_{MED})^2} + \frac{1}{n}}$$

$$\sigma_{\text{pronostico } 2007} = 633.41 \times \sqrt{\frac{(2007 - 1997.625)^2}{451.75} + \frac{1}{16}} = 321.14$$

$$\sigma_{\text{pronostico } 2010} = 633.41 \times \sqrt{\frac{(2010 - 1997.625)^2}{451.75} + \frac{1}{16}} = 401.35$$

Cálculo del tránsito equivalente normal con el nivel de confianza asumido.

Asumiendo un nivel de confianza del 90% se estima el tránsito corregido para un periodo de diseño de 10 años, contados a partir del año 2010.

- Determinación de la corrección para cada año de proyección:

El nivel de confianza al estimar la variable para el proyecto es de 90%, para el cual la desviación normal estándar ( $Z_r$ ) es de 1.645. De esta manera se calcula el valor de corrección  $C_j$  de cada uno de los años  $j$  de proyección.

$$C_j = \sigma_{\text{pronóstico } j} \times Z_r$$

- Determinación del límite superior del modelo con nivel de confianza:

Para la determinación del límite superior de la serie proyectada en cada uno de los años del periodo de diseño se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Limite Superior}_j = \text{Tránsito Estimado}_j + \text{Corrección del Modelo}_j$$

Tabla 14. Resumen del cálculo del límite superior del tránsito proyectado con un nivel de confianza del 90%

AÑO	$(\text{AÑO}_{\text{PROY}} - X_{\text{MED}})^2$	TRANSITO EQUIVALENTE PROYECTADO	ERROR DE PRONOSTICO $\square$ pronostico	ERROR PROYECTADO ( $\square$ pronost $\times Z_r$ )	LIMITE SUPERIOR DEL TE DIARIO $N_j$
2010	153.14	5392	401	660	6052
2011	178.89	5600	429	706	6306
2012	206.64	5808	457	751	6560
2013	236.39	6017	485	797	6814
2014	268.14	6225	513	844	7069
2015	301.89	6433	541	891	7324
2016	337.64	6641	570	938	7579
2017	375.39	6849	599	985	7834
2018	415.14	7058	628	1032	8090
2019	456.89	7266	656	1080	8345
2020	500.64	7474	685	1127	8601
SUMA					80574

- Cuantificación del tránsito futuro en condiciones normales:

La acumulación de ejes equivalentes en el periodo de diseño se calcula de la siguiente manera:

$$N = [ \sum N_j \times 365 ] \times F_{DS} \times F_{DC}$$

Donde:

- $N$  = Tránsito normal que se espera en la vía, ejes equivalentes a 8.2 ton.
- $N_j$  = Tránsito en el año de análisis

$F_{DS} =$  Factor de distribución por sentido = 0.5  
 $F_{DC} =$  Factor de distribución por carril = 1.0

- Tránsito anual en ambos sentidos:

80574 x 365 días = 29'409.510 ejes de 8.2 Ton

Para la vía con una calzada de dos carriles, donde cada uno de ellos lleva un sentido diferente de circulación.

- Tránsito equivalente por carril:

$N = 29'409.510$  ejes de 8.2 Ton \* 0.5 \* 1.0

$N = 14' 704.792$  ejes de 8.2 Ton

TRANSITO DE DISEÑO  $N = 14.7 \times 10^6$  ejes de 8.2 ton

### 6.3 DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO DEL TRAMO DE ESTUDIO

El valor obtenido de CBR de 3.0% para la subrasante en el apique 3, constituye este suelo de soporte como subrasante débil, para la cual se debe diseñar una capa de reemplazo que mejore las condiciones en este sector. Para determinar el valor de CBR para el diseño de pavimento del tramo de estudio, primeramente se establecerá el valor de CBR inicial para todo el tramo, tomando el percentil 87.5% de los valores obtenidos sobre las muestras inalteradas de los apiques restantes (sin tomar el del apique 3), con el objeto de determinar un valor de CBR de referencia para el cálculo de la capa de reemplazo en el sector del apique 3, entre el PR 85+050 y el PR 86+010. Una vez mejorado el suelo, se obtiene el valor resultante de CBR para este sector y se procede a establecer el de diseño general para el tramo considerando los demás datos representativos.

VALORES DE CBR

PENETRACION DINAMICA	PROFUND (CM)	%CBR
	14	17,5
APIQUE 2	25,4	22,6
	39,5	17,5
	57	17,5
APIQUE 2 SUBRASANTE		18,1
Muestra inalterada		14,53
	21,8	1,4
APIQUE 3	39,1	2,9
	58,8	2,4
	76,3	3,9
APIQUE 3 SUBRASANTE		3,1
Muestra inalterada		3
	18,8	6,6
APIQUE 7	36,9	9,9
	53,8	5,3
	71,8	4,8
APIQUE 7 SUBRASANTE		6,8
Muestra inalterada		6,13
	9,4	11,7
APIQUE 8	24	9,9
	42,6	5,6
	62,7	6,3
APIQUE 8 SUBRASANTE		8,1
Muestra inalterada		7,47

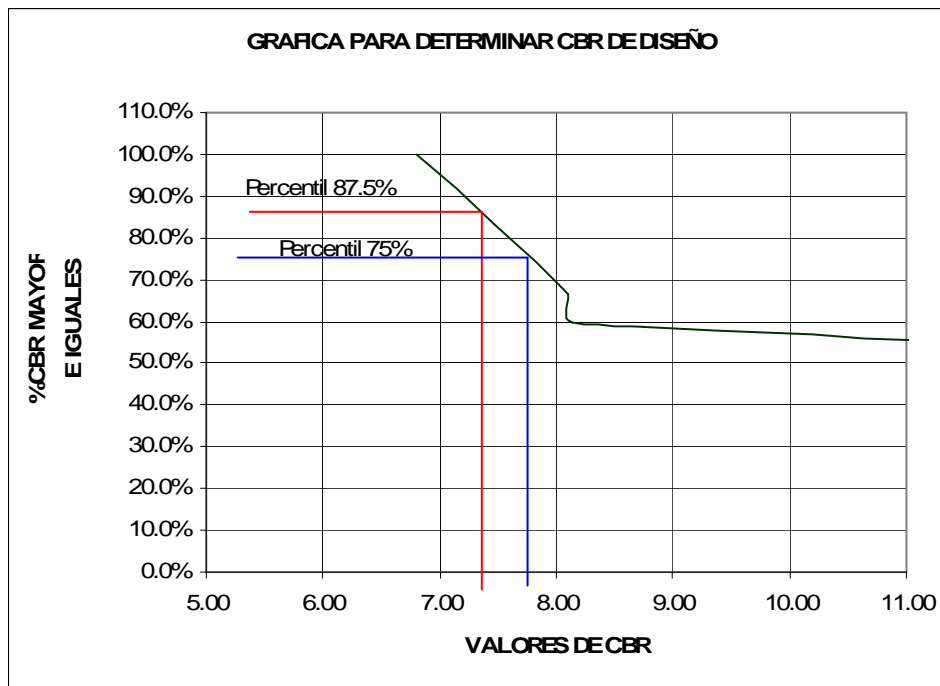


6.3.1 Determinación del CBR inicial o de referencia. Se determina por el percentil 87.5 del orden de valores mayores o iguales a cada valor de CBR representativo. El cálculo y gráfico correspondientes muestran el proceso y resultado.

Cuadro 1. Cuadro de orden de valores de CBR de muestras inalteradas de subrasante

CBR	No. VALORES MAYORES O IGUALES	% CORRESPONDIENTE
6.80	6	100.0%
7.47	5	83.3%
8.10	4	66.7%
8.13	3	60.0%
14.53	2	50.0%
18.10	1	33.3%

Grafica 3. Determinación del CBR percentil 87.5%



El CBR inicial o de referencia por el percentil 87.5 es 7.3%. Por lo cual se establece un valor igual o superior al 7% de CBR para el mejoramiento del sector de subrasante débil del tramo en estudio.

6.3.2 Diseño de capa de remplazo en el sector del apique 3. Debido a que en el sector del apique 3 se presentan valores de CBR muy bajos, desde la superficie hasta la profundidad de 0.80 metros, con valores entre 1.4 y 3.9, siendo representativo el valor por debajo de 3.0% por lo que se considera subrasante débil, esto nos lleva a diseñar el mejoramiento de la subrasante con el remplazo del material hasta la profundidad de influencia de las cargas del tránsito, por un material que cumpla los requerimientos para tratar de uniformizar el CBR de diseño en todo el tramo de estudio.

CBR de subrasante débil

El valor del CBR adoptado para la subrasante débil se tomara de 2.4%, por la profundidad de influencia del tránsito para el cálculo del reemplazo del material.

Modulo resiliente de la capa de soporte

El módulo resiliente para la capa de subrasante débil se calcula por relación empírica, mediante la fórmula:

$$MR SR = 130 CBR^{0.714}$$

$$MR SR = 130 (2.4)^{0.714}$$

$$MR SR = 242.89 \text{ Kg/cm}^2$$

CBR a obtener para diseño de pavimento.

Se diseña el material de reemplazo, para que el conjunto con la subrasante actual, generen un CBR mínimo de 7.0, de acuerdo al valor designado para diseño de los demás sectores del tramo. Por norma el CBR resultante del conjunto debe ser superior al 5% y el espesor de capa mínimo es de 0.30 m.

Determinación de la capa de mejoramiento

El módulo de conjunto se obtiene a partir de la relación de módulos del modelo de Ivanov, establecida por la siguiente fórmula:

$$E_{conjunto} = \frac{E_2}{\left[ 1 - \left[ \frac{2}{\Pi} \times \left[ 1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right] \times \text{ArcTan} \left[ \frac{n \cdot h_1}{2a} \right] \right] \right]} \quad n = \left[ \frac{E_1}{E_2} \right]^{0.4}$$

E1 = Modulo de la capa de mejoramiento en Kg/cm2

E2 = Modulo de la capa de subrasante en Kg/cm2

h1 = Espesor de la capa de mejoramiento en metros

a = radio de área de contacto para un eje de 8.2Ton= 10.76 cm

$\arctg=$  en radianes

Seguidamente se muestra el análisis de características del suelo de reemplazo, en conjunto con la subrasante débil, para diferentes valores de espesor de mejoramiento y se determinara cual es el adoptado para el diseño.

Cuadro 2. Cálculo y chequeo de capa de mejoramiento de subrasante

h1 (m)	CBR% mat reemplazo	E1(kg/cm2)	E2(kg/cm2)	E1/E2	n	a (m)	E conjunto	CBR% conjunto	CBR>5%
0.30	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	444.65	5.60	OK
0.35	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	466.36	5.98	OK
0.40	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	485.03	6.32	OK
0.45	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	501.19	6.62	OK
0.50	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	515.26	6.88	OK
0.55	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	527.62	7.11	OK
0.60	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	538.53	7.32	OK
0.65	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	548.23	7.51	OK
0.70	7	522	243	2.15	1.36	0.1076	556.90	7.67	OK
0.30	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	476.53	6.17	OK
0.35	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	502.61	6.65	OK
0.40	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	525.20	7.07	OK
0.45	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	544.88	7.44	OK
0.50	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	562.13	7.77	OK
0.55	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	577.35	8.07	OK
0.60	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	590.85	8.34	OK
0.65	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	602.90	8.57	OK
0.70	8	574	243	2.36	1.41	0.1076	613.72	8.79	OK
0.30	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	505.94	6.71	OK
0.35	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	536.23	7.28	OK
0.40	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	562.63	7.78	OK
0.45	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	585.76	8.23	OK
0.50	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	606.15	8.64	OK
0.55	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	624.21	9.00	OK
0.60	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	640.30	9.33	OK
0.65	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	654.73	9.62	OK
0.70	9	624	243	2.57	1.46	0.1076	667.72	9.89	OK
0.30	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	533.29	7.22	OK
0.35	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	567.62	7.88	OK
0.40	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	597.72	8.47	OK
0.45	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	624.23	9.00	OK
0.50	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	647.69	9.48	OK
0.55	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	668.56	9.91	OK
0.60	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	687.24	10.30	OK
0.65	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	704.03	10.65	OK
0.70	10	673	243	2.77	1.50	0.1076	719.21	10.98	OK

A partir del valor de CBR de 7% del material de reemplazo, se cumplen los requerimientos mínimos, pero se debe establecer el requerimiento para el diseño con menor costo.

De acuerdo al análisis del cuadro, se establece una capa de reemplazo de 35 cm con un material cuyo CBR sea del 10%, o ligeramente mayor para que el CBR de conjunto corresponda al 7.88% y con las siguientes características.

Tamaño máximo	75 mm
Pasa tamiz de 75 $\mu$ m (No.200)	$\leq$ 25% en peso
C.B.R. de laboratorio	$\geq$ 10
Expansión en prueba C.B.R.	0%
Contenido de materia orgánica	0%
Límite líquido	$<$ 30
Índice plástico	$<$ 10

6.3.3

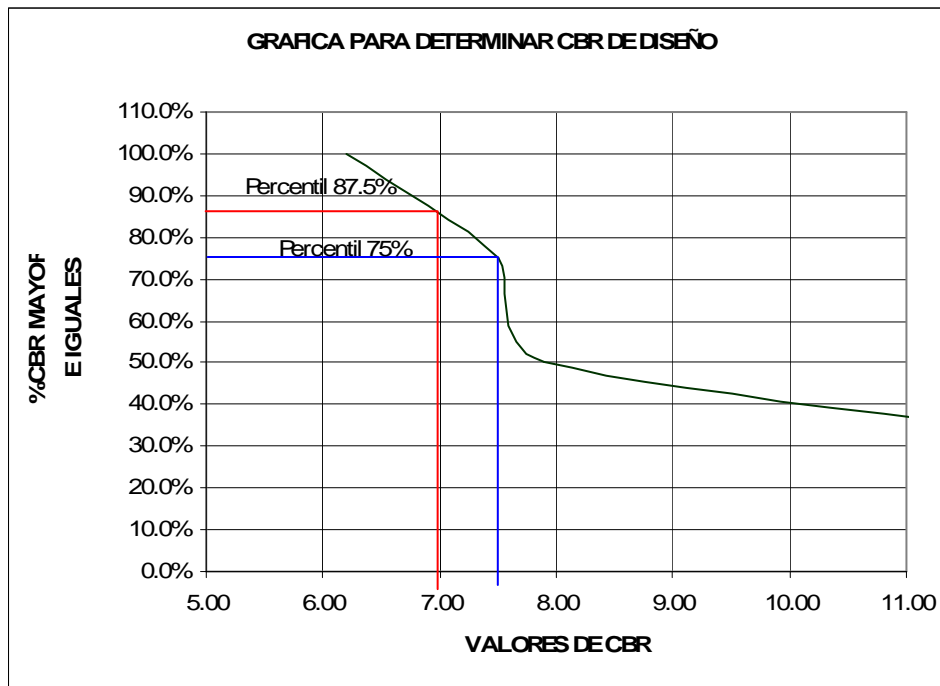
Determinación del CBR de diseño del tramo. Para determinar el valor de diseño, se toman como representativos los menores valores de CBR obtenidos de las muestras inalteradas de subrasante, incluyendo el valor obtenido de CBR del tramo mejorado.

Se determina el valor de CBR de diseño por el percentil 87.5 del orden de valores superiores o iguales a cada valor representativo de CBR.

Cuadro 3. Orden de valores de CBR de muestras inalteradas de subrasante

CBR	No. VALORES MAYORES O IGUALES	% CORRESPONDIENTE
6.2	4	100.0%
7.5	3	75.0%
7.9	2	50.0%
14.5	1	25.0%

Grafica 4. Determinación del CBR percentil 87.5% para diseño



De acuerdo al gráfico resultante, se toma como valor de CBR de 7% para el respectivo diseño de pavimento.

#### 6.4 DISEÑO DEL PAVIMENTO

El diseño del pavimento para el sector comprendido entre las abscisas PR 84+400 a PR 88+000 del tramo EL Espino-Santander, se realizó por el método AASHTO y posteriormente se realizó una verificación de la estructura mediante el método Racional.

- Parámetros generales de diseño

##### Periodo de Diseño

El período de diseño es de 10 años a partir del año 2010.

##### Tránsito

El tránsito de diseño es  $N = 14.7 \times 10^6$  repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, para el período de diseño de 10 años, con un nivel de confianza de 90%.

##### Características Climáticas

WMAAT= Temperatura media anual del aire ponderado de la zona del Espino: 12°C

##### Resistencia de la Subrasante

CBR de diseño = 7%. Con lo cual se puede estimar un valor de Módulo Resiliente de  $521.61 \text{ kg/cm}^2 = 7452 \text{ psi}$ .

##### Estructura del pavimento existente

La estructura representativa de este sector está compuesta por una rodadura de 2 a 4 cm de tratamiento superficial, la cual está deteriorada; 15 cm de un material de base granular y una capa de 15 a 30 cm de subbase, de acuerdo al estudio geotécnico y caracterización con PDC. El sector a partir del PR 86+516 al PR 86+887 presenta un material de relleno bajo la capa superficial de base, con profundidades entre 15 y 115 cms. Se puede establecer que la estructura de pavimento inicial está desconfigurada, no se aprecia una estructura constante a lo largo del tramo de estudio.

Debido al nivel de deterioro de la capa asfáltica existente (tratamiento superficial), y de las demás capas subyacentes, habiendo rebasado su vida útil, de acuerdo a las conclusiones del análisis de deterioro realizado en la fase inicial de este estudio, ya no es aportante estructuralmente, la estructura ya no tiene vida residual y las capas granulares ya no poseen las características requeridas de base y de subbase, por lo que se requiere la Reconstrucción de la estructura de pavimento. De acuerdo al capítulo 7 de la Guía metodológica<sup>3</sup> para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos flexibles, dada la calificación obtenida para la estructura existente, y al tipo de solución requerida, se procede al diseño de una nueva estructura de pavimento en el sector, con las condiciones de la subrasante presentes.

#### Estructura de pavimento nueva

El módulo dinámico de la nueva capa de rodadura se estima a partir de las curvas maestras del método SHELL y de experiencias de caracterización dinámica de mezclas asfálticas a nivel nacional. El diseño de las capas de la estructura se rige por la metodología AASHTO y se comprueba por método Racional o mecanicista.

- Dimensionamiento de la estructura según método AASHTO

Inicialmente deben establecerse los coeficientes iniciales de las capas componentes de la estructura.

#### Coeficientes estructurales

Se adoptan los siguientes valores de coeficientes estructurales para cada capa:

Coeficiente estructural del concreto asfáltico: 0.44

Coeficiente estructural del material de base: 0.14

Coeficiente estructural del material de subbase: 0.11

#### Coeficientes de drenaje

---

<sup>3</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, "Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras", Bogotá D.C. marzo 2002.

Se adoptan los siguientes coeficientes de drenaje  $m_i$  para un drenaje regular o medio:

Coeficiente de drenaje para Base:  $m_i = 1.0$

Coeficiente de drenaje para Subbase:  $m_i = 0.8$

Determinación del número estructural requerido

Se establecen los siguientes parámetros para el cálculo del SN para diseño:

Nivel de Confiabilidad. De acuerdo al tipo de vía y considerando los criterios del Manual AASHTO, se asumió un valor de 90%.

Desviación estándar.  $S_o = 0.45$ . Por la variación en la predicción del comportamiento sin errores en la estimación del tránsito.

Modulo Resiliente de la subrasante. El valor del Módulo Resiliente de la subrasante se establece mediante correlaciones con el CBR de laboratorio:

$$M_{\text{RESILIENTE}} = 1500 \times \text{CBR} \quad (\text{PSI})$$

Pérdida de de serviciabilidad. El índice de serviciabilidad inicial se establece en 4.2 y el índice final en 2.0.

Con base en la información del tránsito y los parámetros de diseño anteriormente consignados se obtuvo el Número estructural requerido, utilizando para el cálculo, la siguiente ecuación básica de diseño de estructuras flexibles:

$$\text{Log}(N) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}(MR) - 8.07$$

$N = 14.7 \times 10^6$  Número de ejes equivalentes esperados

$Z_r = -1.282$  Desviación normal estándar para nivel de confianza 90%

$S_o = 0.45$  Error estándar

$\square \text{PSI} = 2.2$  Pérdida del índice de serviciabilidad

Tabla 15. Números estructurales requeridos

DATOS DE LAS CAPAS DE ESTRUCTURA PARA DISEÑO	
SUBRASANTE	
SUBRASANTE	7%
MODULO RESILIENTE MR <sub>SR</sub> (PSI)	7452
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO	4.89
SUBBASE GRANULAR	
MODULO RESILIENTE MR <sub>SBG</sub> (PSI)	15000
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO	3.89
BASE GRANULAR	
MODULO RESILIENTE MR <sub>BG</sub> (PSI)	30000
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO	3.07

#### Determinación del espesor de las capas

Se establecen los espesores de las capas de lá estructura con base en la expresión:

$$SN = a_1 h_1 + a_2 h_2 m_2 + a_3 h_3 m_3$$

Dónde:

SN = Número estructural

$a_i$  = coeficiente estructural de la capa  $i$

$h_i$  = espesor de la capa  $i$

$m_i$  = Coeficiente de la las condiciones de drenaje

Dimensionamiento de la estructura

Considerando los números requeridos y los coeficientes estructurales de los materiales previsto como capa de rodadura se realiza el diseño estructural del pavimento del sector. Análisis que se presenta sintetizado en las siguientes tablas.



Tabla 16. Determinación del espesor de carpeta asfáltica según el método AASHTO

CAPA DE LA ESTRUCTURA	COEFICIENTE ESTRUCTURAL		MODULO ELASTICO ME - MODULO RESILIENTE MR	NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO			DRENAJE	ESPESOR REQUERIDO H				
	a <sub>i</sub>	VALOR		VALOR (PSI)	SN	DADO		REAL	m <sub>i</sub>	H <sub>i</sub>	CALC	RED (CM)
RODADURA PAVIMENTO NUEVO	a <sub>1</sub>	0.44	450,000						H1	4.7	12.0	4.80
BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO	a <sub>b<sub>e</sub></sub>	0.25	250,000						H <sub>be</sub>	4	10.0	4.00
BASE GRANULAR	a <sub>2</sub>	0.14	30,000	SN1	3.07	3.11	1.0		H2	5.6	15.0	6.00
SUBBASE GRANULAR	a <sub>3</sub>	0.11	15,000	SN2	3.89	3.95	0.8		H3	10.7	27.0	10.80
SUBRASANTE			7,452	SN3	4.89							

El resultado de los cálculos establece la siguiente estructura:

- Carpeta asfáltica de 17.5 cm de espesor
- Base granular de 15 cm de espesor
- Subbase granular de 27.5 cm de espesor

El espesor de la carpeta asfáltica es alto, por encima de 6 pulgadas, por lo que se establece una base estabilizada con asfalto de 10 cm de espesor y determinar posteriormente el espesor de la carpeta asfáltica para las condiciones dadas.

Determinación del espesor de refuerzo según el método AASHTO con base estabilizada

Tabla 17. Números estructurales requeridos

DATOS DE LAS CAPAS DE ESTRUCTURA PARA DISEÑO	
SUBRASANTE	
SUBRASANTE	7%
MODULO RESILIENTE MR <sub>SR</sub> (PSI)	7452
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO	0,00
SUBBASE GRANULAR	
MODULO RESILIENTE MR <sub>SBG</sub> (PSI)	15000
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO	3,89
BASE GRANULAR	
MODULO RESILIENTE MR <sub>BG</sub> (PSI)	30000
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO	3,07

Tabla 18. Determinación del espesor de carpeta asfáltica con base estabilizada según el método AASHTO

CAPA DE LA ESTRUCTURA	COEFICIENTE ESTRUCTURAL		MODULO ELASTICO ME - MODULO RESILIENTE MR	NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO			DRENAJE	ESPESOR REQUERIDO H			
	a <sub>i</sub>	VALOR		VALOR (PSI)	SN	DADO		REAL	m <sub>i</sub>	H <sub>i</sub>	CALC
RODADURA PAVIMENTO NUEVO	a <sub>1</sub>	0,44	450.000					H1	4,7	12,0	4,80
BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO	a <sub>be</sub>	0,25	250.000					H <sub>be</sub>	4	10,0	4,00
BASE GRANULAR	a <sub>2</sub>	0,14	30.000	SN1	3,07	3,11	1,0	H2	5,6	15,0	6,00
SUBBASE GRANULAR	a <sub>3</sub>	0,11	15.000	SN2	3,89	3,95	0,8	H3	10,7	27,0	10,80
SUBRASANTE			7.452	SN3	0,00						

La estructura de pavimento queda definida de la siguiente manera:

CA	CARPETA ASFALTICA	H = 12 cm
BA	BASE ASFALTICA	H = 10 cm
BG	BASE GRANULAR	H = 15 cm
SBG	SUBBASE GRANULAR	H = 30 cm
SR	SUBRASANTE	

H = 67 cm  
Espesor total de la estructura

Chequeo del diseño por método racional

Para el chequeo por el método racional se utilizaron los siguientes parámetros:

Parámetros de diseño

- Tránsito.

Tránsito de diseño en la vía  $N = 14.7 \times 10^6$  repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño de 10 años.

- Características Climáticas

La temperatura WMAAT de la Zona de EL Espino es de 12°C, para la cual se estima la temperatura de la mezcla TMIX de 17.5°C, para un espesor de 22cm de capas asfálticas.

- Caracterización de la Subrasante

Módulo Resiliente MR de la subrasante, determinado mediante correlaciones con el CBR de laboratorio: 7452 psi.

La relación de Poisson se determina en el ensayo triaxial dinámico, en este caso se asumió  $\mu = 0.5$

- Caracterización de los materiales de las capas granulares

Para la caracterización de los materiales granulares se utilizó la fórmula de la SHELL, la cual permite determinar el módulo resiliente en la mitad de la capa, en función de las características del material de apoyo y del espesor de la capa.

$$E_g = 0.206 \times H_g^{0.45} * MR_{\text{apoyo}}$$

Donde:

$E_g$  = Módulo resiliente de la capa granular

$H_g$  = Espesor en mm de la capa granular

$MR_{\text{apoyo}}$  = Módulo resiliente de la capa de apoyo

La relación de Poisson para las capas granulares se halla a través del ensayo triaxial dinámico; por referencias se empleará un módulo  $\mu = 0.45$  para subbase y de  $\mu = 0.40$  para el material de base.

- Caracterización del concreto asfáltico de capa de rodadura

El valor de módulo dinámico se determinó de las curvas maestras del método SHELL y de estudios nacionales para caracterización dinámica de mezclas asfálticas<sup>4</sup>, estableciéndose un valor de 35000 Kg/cm<sup>2</sup>, para una temperatura de mezcla de 17.5°C correspondiente a las condiciones climáticas de la zona de EL Espino y espesor a verificar de capas asfálticas de 22 cm.

---

<sup>4</sup> El valor del módulo dinámico establecido se verificó a través de la caracterización de una mezcla dinámica para el resultado de un diseño MDC-2 método Marshall de la empresa TRAE, para una composición volumétrica de 84.9% de agregados; 3.6% de vacíos con aire y 11.5% de asfalto efectivo, utilizando el nomograma Van Der Poel.

Las relaciones de Poisson para base asfáltica y carpeta es de  $\nu=0.35$ .

- Deformación admisible unitaria de tracción en la base de la capa asfáltica

Para la capa asfáltica de rodadura se determinó la deformación admisible de tracción para las condiciones previstas de tránsito, utilizando las leyes de fatiga de laboratorio sugeridas por los métodos SHELL.

Ley de fatiga de SHELL

$$\epsilon_r = (0.856 * Vb + 1.08) * (E)^{-0.36} * (N / K)^{-0.2}$$

$Vb = \text{Volumen..de..asfalto}$

$E = \text{Modulo..}(N / m^2)$

$N = \text{Transito}$

$K = \text{Factor..de..Calage} = 10$

- Deformación unitaria de compresión en la superficie de la subrasante

Se siguen los modelos de comportamiento propuestos por la SHELL con base a las condiciones de tránsito y el nivel de confianza para el diseño.

Modelo de Comportamiento a deformación para la Subrasante Según SHELL

$$\epsilon_z = 0.021 \times N^{-0.25}$$

- Chequeo racional del diseño

Se verifica la estructura a través del método racional, con el uso del programa BISAR3, evaluando los requerimientos de diseño por tracción en las capas asfálticas y por compresión en la subrasante.

Tabla 19. Estructura a verificar

CA	CARPETA ASFALTICA	$\square$ =	0,35	H =	12 cm	E =	3500 MPa
BA	BASE ASFALTICA	$\square$ =	0,35	H =	10 cm	E =	2400 MPa
BG	BASE GRANULAR	$\square$ =	0,40	H =	15 cm	E =	275 MPa
SBG	SUBBASE GRANULAR	$\square$ =	0,45	H =	30 cm	E =	140 MPa
SR	SUBRASANTE	$\square$ =	0,50			E =	52,2 MPa

Resultados del programa y verificación del diseño

Se chequean los datos obtenidos del programa Bisar 3 para las capas de carpeta asfáltica, base asfáltica y subrasante:

Control de agrietamientos Método Shell capas asfálticas

$$\epsilon_t = (0.856 V_b + 1.08) E^{-0.36} (N/k)^{-0.2}$$

$E = 3.5 \times 10^9$  Módulo de la mezcla  
 $E = 2.4 \times 10^9$  Módulo de la base asfáltica  
 $k = 10$  Factor de Calage  
 $V_b = 13$  Volumen de betún %  
 $N = 14'700.000$  Ejes equivalentes a 8.2 ton

Control de ahuellamiento Método Shell subrasante

$$\epsilon_z = 0.021 N^{-0.25}$$

VALORES OBTENIDOS VALORES ADMISIBLES  
BISAR 3

EJE SIMPLE RUEDA SIMPLE

CA $\epsilon_{yy} =$	5,93E-05	<	$\epsilon_t =$	2,37E-04	O.K.
BA $\epsilon_{yy} =$	1,06E-04	<	$\epsilon_t =$	2,99E-04	O.K.
SR $\epsilon_{zz} =$	-3,45E-05	<	$\epsilon_z =$	3,39E-04	O.K.

EJE SIMPLE RUEDA DOBLE

CA $\epsilon_{yy} =$	6,59E-05	<	$\epsilon_t =$	2,37E-04	O.K.
BA $\epsilon_{yy} =$	1,32E-04	<	$\epsilon_t =$	2,99E-04	O.K.

SR  $\epsilon_{zz}$  = -5,15E-05 <  $\epsilon_z$  = 3,39E-04 O.K.

#### EJE TANDEM RUEDA DOBLE

CA  $\epsilon_{yy}$  = 6,56E-05 <  $\epsilon_t$  = 2,37E-04 O.K.

BA  $\epsilon_{yy}$  = 1,28E-04 <  $\epsilon_t$  = 2,99E-04 O.K.

SR  $\epsilon_{zz}$  = -5,32E-05 <  $\epsilon_z$  = 3,39E-04 O.K.

#### EJE TRIDEM

CA  $\epsilon_{yy}$  = 5,82E-05 <  $\epsilon_t$  = 2,37E-04 O.K.

BA  $\epsilon_{yy}$  = 1,06E-04 <  $\epsilon_t$  = 2,99E-04 O.K.

SR  $\epsilon_{zz}$  = -3,99E-05 <  $\epsilon_z$  = 3,39E-04 O.K.

De los análisis realizados se puede concluir que la estructura diseñada cumple con los requerimientos de diseño por tracción en la capa asfáltica y por compresión en la subrasante.

## CONCLUSIONES

La vida útil del pavimento en el tramo en estudio supera los veinte (20) años de uso en el cual se han ejecutado una gran cantidad de parcheos y por ende una gran inversión en mantenimiento, que solo podrá disminuir si se construye una estructura de pavimento que se plantea en el presente trabajo.

La estructura de pavimento existente presenta un alto nivel de deterioro, con incidencia sobre las capas subyacentes a la rodadura, consistente en un tratamiento superficial con espesor de 2 a 4 cm, dada la gran cantidad de fisuración, descascaramientos y baches, que han permitido el paso del agua a las capas inferiores de la estructura.

De acuerdo a las metodologías aplicadas para diseño de rehabilitación, una rodadura consistente en un tratamiento superficial no se considera como aporte estructural para diseño de rehabilitación, se considera como capa de base.

Existen varias razones para determinar que la estructura de pavimento considerada en el presente proyecto, en su estado actual no presenta vida residual, una de ellas es que ha superado el periodo de diseño puesto que su uso supera los 20 años desde su construcción, además el tratamiento superficial, de acuerdo a la metodología AASHTO, se establece para tránsito equivalente al final del periodo de diseño menor a 50.000, valor que es ampliamente superado de acuerdo a los estudios aquí presentados.

De acuerdo al capítulo 7 de la Guía para Rehabilitación de pavimentos flexibles del Invías, cuando ya no hay vida residual y el deterioro alcanza las capas inferiores de la estructura, como en el caso presente, la solución para rehabilitación en este caso es la más drástica y costosa, que corresponde a la reconstrucción, por lo tanto el diseño debe corresponder a la conformación de la estructura nueva de pavimento.

Cuando el espesor de la capa asfáltica de rodadura es alto (mayor a 6 pulgadas) se considerar el uso de una capa de base asfáltica por razones de costos y constructivas.

Las obras de rehabilitación son más costosas, mientras más tiempo éstas tardan en ejecutarse, es decir, mientras se permita más tiempo a la acción del deterioro sobre la vía, que no se incrementa de forma lineal, sino exponencial cuando no existe mantenimiento o es insuficiente.

## RECOMENDACIONES

Excavar en una profundidad igual a la estructura total de pavimento diseñada, es decir 67 centímetros, con el fin de mantener el nivel de rasante actual y dadas las condiciones de las capas subyacentes a la rodadura existente. Al nivel de excavación se establece la subrasante, la cual debe homogeneizarse debidamente para poder colocar la nueva estructura. Preferiblemente, dadas las condiciones existentes, se recomienda colocar geotextil para separación de la subrasante y la estructura.

Observar las condiciones reales a lo largo de todo el tramo, por lo cual se deben hacer los ajustes que se consideren pertinentes, tanto si las características geotécnicas encontradas son inferiores a las determinadas en el muestreo y estudios previos, como también si éstas son superiores.

Diseñar e implementar programas de rehabilitación de las redes viales existentes que permitan establecer la ejecución pertinente, oportuna y más económica de las obras de rehabilitación que se requieren, y tener elementos para la correspondiente gestión de recursos para acometerlas.

Construir con la estructura definitiva de pavimento recomendada que de acuerdo al diseño es la siguiente:

Tabla 20. Estructura de pavimento

CA	CARPETA ASFALTICA	H = 12 cm
BA	BASE ASFALTICA	H = 10 cm
BG	BASE GRANULAR	H = 15 cm
SBG	SUBBASE GRANULAR	H = 30 cm
SR	SUBRASANTE	



## BIBLIOGRAFÍA

AASHTO [1993] AASHTO guide for Design of Pavement Structures , American Association of State Highway and Transportation Officials , Washington D.C., USA

Apuntes Especialización en Ingeniería de Carreteras.

CORRO, Santiago y PRADO Guillermo. "Diseño estructural de carreteras con pavimentos flexibles". Editorial UNAM.

Especificaciones Generales de Construcción. INVIAS 2002

GARCÉS CÁRDENAS, Claudia María. GARRO COSSIO, Olga María. Pavimentos. Universidad de Medellín. 1997.

LONDOÑO N, Cipriano Alberto. Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto. ICPC. Editorial Piloto S.A. 2001

Manual de Inspección Visual de Pavimentos Flexibles, INVIAS 2006.

MUÑOZ RICAURTE, Guillermo. Pavimentos de concreto asfáltico diseño y construcción. Tercera Edición. Editorial Universidad de Nariño. 2005.

REYES LIZCANO, Fredy Alberto. "Diseño racional de pavimentos". Escuela Colombiana de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana. Marzo de 2009. Tercera reimpresión.

SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos, Teoría, Diseño, Geología, Estudio Económico y Fallas. Instituto Nacional de Vías. 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, "Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras", Bogotá D.C. marzo 2002.

LILLI, Félix J. "Curso sobre diseño racional de Pavimentos". Popayán Septiembre de 1987.