

# Diseño de la estructura de pavimento para la "recta san Rafael" (Tibasosa)

## Pavement Structure Design for the "San Rafael's Straight Road" (Tibasosa Town)

Heyler Yezid Pinto Rosas\*

### Resumen

Se exponen las actividades consideradas para el diseño de la rehabilitación del pavimento en un sector de la vía Duitama-Tibasosa (Boyacá). Con base en los datos de la serie histórica de tránsito se obtuvo el número de cargas estándar que circularon y circularán durante el periodo de diseño; posteriormente se presenta la auscultación de la vía para evidenciar la condición del pavimento con la determinación del índice de deterioro, capacidad de respuesta ante las cargas y determinación de los parámetros de resistencia a través de ensayos de los materiales de la estructura o formulaciones reconocidas; finalmente se presentan diferentes alternativas de solución, que incluyen el reciclado y la reconstrucción en profundidad.

**Palabras clave:** Pavimentos, Vía Duitama-Tibasosa, Recta san Rafael, Rehabilitación de pavimentos.

### Abstract

This text shows the activities taken into account in the rehabilitation design of the pavement, in a road sector between Duitama and Tibasosa, in the department of Boyacá. Based upon the traffic data of the historical series, the standard number of loads that have circulated and will circulate during the period of design was obtained. The auscultation of the road is presented to evidence the condition of the pavement based upon the determination of the deterioration index, the response capacity that need the loads and the definition of the resistance parameters, found through rehearsals of the structure's materials or reckognized formulations. Finally there are presented different solution alternatives, that include, the recycled one and the reconstruction in depth.

**Key Words:** Pavements, Duitama-Tibasosa road, San Rafael's Straight Lane.

\* Ingeniero de Transporte y Vías, Especialista en Infraestructura Vial, UPTC. Correo e.: jezid@gmail.com

## 1. Introducción

Dentro de las actividades de rehabilitación de la vía que comunica a Duitama con Tibasosa y Sogamoso existe un sector en particular, denominado "recta san Rafael", que presenta un mayor deterioro de la estructura de pavimento que el resto del trayecto, por lo que demanda para su rehabilitación un tratamiento

con mayor intensidad, diferente al establecido en los diseños de pavimento.

### 1.1 Localización

El área de estudio se encuentra localizada en la zona centro-norte del departamento de Boyacá y corresponde a un tramo de la vía concesionada que de Duitama conduce al municipio de Tibasosa.



Figura 1. Localización general del área del estudio.

Fuente: Estudios y diseños de la concesión Briceño - Tunja - Sogamoso

### 1.2 Geología

Para la realización de este ítem se desarrolló una recopilación de estudios de la región [1, 2] y se extractó lo más significativo de cada una de las formaciones geológicas que afloran regionalmente.

La formación sobre la cual se asienta el tramo en evaluación es del cuaternario, aluviales (Qal) correspondiente al valle del río Chicamocha y abanicos aluviales de algunas quebradas, los cuales están cubiertos con mantos de suelo, con espesor variable.

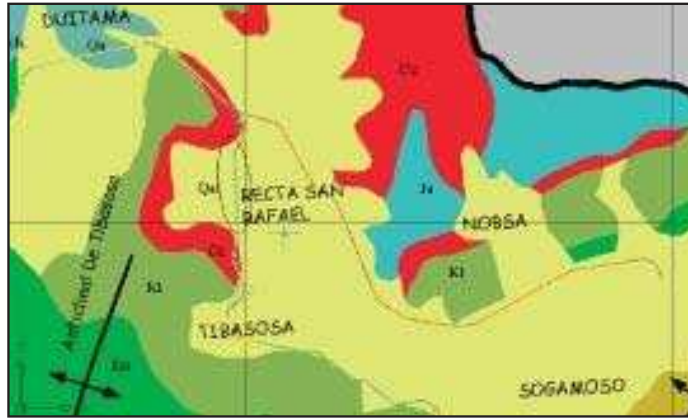


Figura 2. Plano geológico regional.

Fuente: Estudio general de los suelos de los municipios de Aquitania, Cúitiva, Firavitoba, Iza, Monguí, Nobsa, Sogamoso, Tibasosa, Tópaga y Tota, desarrollado por Álvaro González Flercher y Abdón Giles Lombana, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1978.

### 1.3 Climatología

Para el análisis de los valores de temperatura y precipitación se utilizaron los datos disponibles en la Estación san Rafael desde el año de 1981.

Cuadro 1. Valores medios mensuales multianuales de precipitación y temperatura de la Estación san Rafael.

	Estación san Rafael	
	T(°C)	P(mm)
Enero	15,4	23,88
Febrero	15,6	45,7
Marzo	15,8	69,51
Abril	15,9	117,58
Mayo	15,7	112,72
Junio	15,4	60
Julio	14,8	43,8
Agosto	14,9	54,62
Septiembre	14,9	69,57
Octubre	15,2	113,58
Noviembre	15,6	93,9
Diciembre	15,2	40,58
Promedio	15,4	
Precipitación media anual		845,4

Fuente: IDEAM

### 1.4 Características del proyecto

El ancho total de la calzada debe ser de 10,9 m, que incluya dos carriles, uno en cada sentido, de ancho 3,65 m y dos bermas de 1,8 m. La velocidad de diseño es de 80 km/h, sin embargo, dado que los vehículos comerciales generalmente se desplazan más despacio, se utilizará 60 km/h como velocidad de operación, para efectos del cálculo del tiempo de aplicación de las cargas. La vía se compone de tramos rectos en el alineamiento horizontal, unidos por curvas verticales, haciendo que la pendiente no supere el 3,5%.

## 2. Metodología

Para el estudio se tuvo en cuenta el método mecanicista, propuesto en la Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras, del INVIAS, con el cual se tiene, a partir de los datos recopilados de la estructura de pavimento, un ajuste de las propiedades mecánicas del modelo estructural existente, y con la ayuda de un programa de cálculo (DEPAV) se determina la magnitud de los esfuerzos y deformaciones en los puntos críticos del diseño, valores que, al ser

comparados con los admisibles obtenidos de la caracterización de las capas de la estructura propuesta, determinen la eficacia de la solución.

## 2.1 Determinación del tránsito

La información del tránsito circulado se actualizó con base en los conteos de la estación de aforo INV - No. 128, sector La Ye - Sogamoso (vía por Tibasosa); además, se tiene en cuenta como eje de diseño un eje sencillo de rueda doble que pesa 8,2 toneladas.

A partir de la serie histórica de tránsito, se obtiene el

tránsito por el carril de diseño; al afectar los datos por el factor de distribución direccional, que de acuerdo con la guía de diseño de rehabilitación es del 60% [3], y dado que la rehabilitación de la calzada tendrá un carril en cada sentido, el valor del factor de distribución por carril es del 100%. De acuerdo con los documentos de diseño del proyecto de concesión, se determinó que el periodo de diseño más adecuado es de 7 años, y teniendo en cuenta que se prevé la rehabilitación en el presente año, se realiza la extrapolación del tránsito hasta el año 2013. En el cuadro 2 se muestran los tipos y ecuaciones utilizados para cada tipo de vehículo.

Cuadro 2. Ecuaciones de proyección de tránsito para cada tipo de vehículo

Vehículo	Ecuación utilizada		F. Correlación
Bus	Lineal	$y = 19586 * X - 533994$	0,7556
C2P	Lineal	$y = 2975,6 * X + 169741$	0,2729
C2G	Potencial	$y = 36708 * X^{0,7389}$	0,7189
C3C4	Exponencial	$y = 63661e^{-0,0169 * X}$	0,2155
C5	Lineal	$y = 982,35 * X$	0,9909
>C5	Potencial	$y = 899,37 * X^{1,2858}$	0,6119

Del proceso de cálculo, presentado en el anexo A, se obtiene que el tránsito que ha circulado desde la última intervención es de 17 millones de ejes equivalentes, y el tránsito que se espera circule durante la vida útil de la estructura es de 9,54 millones de ejes simples de 8,2 toneladas, en carril de diseño y durante el periodo de diseño.

## 2.2 Establecimiento de la condición del pavimento

### 2.2.1 Determinación del índice de deterioro superficial.

Para determinar el índice de deterioro superficial se utilizó la metodología del sistema de calificación VIZIR [3], con la cual se obtiene una adecuada identificación de los deterioros considerando tres factores: el primero es el tipo de la degradación, de acuerdo con la relación que las fallas tengan con el comportamiento estructural del pavimento; se

distinguen dos casos: fallas estructurales (del tipo A) y fallas funcionales (del tipo B). El segundo factor es la gravedad, que representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión. Y el tercero es la extensión, área o longitud del tramo evaluado, que es afectado por determinado tipo de deterioro.

Dado que la presencia de degradaciones del tipo A requiere generalmente trabajos importantes de rehabilitación y que las degradaciones del tipo B o funcionales solo se intervienen en el caso de ausencia de las estructurales, para el cálculo del índice de deterioro superficial con fines de evaluación únicamente se tuvieron en cuenta las del tipo A, sin embargo, el inventario se hace considerando todos los tipos de deterioros. Una vez identificado el tipo de deterioro, se realizó la evaluación de la gravedad de los daños con la ayuda del cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de la gravedad de daños en los pavimentos asfálticos.

Tipo de daño	Nivel de gravedad	Descripción
Piel de cocodrilo	Bajo	Fisuras finas formando mallas grandes, sin pérdida de materiales.
	Medio	Mallas más cerradas con pérdida ocasional de materiales.
	Severo	Mallas muy cerradas, de menos de 20 mm de lado, con grietas abiertas, con o sin pérdida de materiales.
Ahuellamiento	Bajo	Flecha menor de 20 mm.
	Medio	Flecha entre 20 mm y 40 mm.
	Severo	Flecha mayor de 40 mm.
Exudación	Bajo	Puntual.
	Medio	Relativamente continua.
	Severo	Continua y bien marcada.
Áreas parchadas	Bajo	Áreas reconstruidas total o parcialmente, en buen estado.
	Medio	Reparaciones superficiales puntuales en buen estado.
	Severo	Reparaciones en regular o mal estado.

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Guía metodológica para el diseño de rehabilitaciones de pavimentos asfálticos. Bogotá: El Instituto, 2002, p. 72. Se extractó del cuadro original la calificación del nivel de gravedad para la metodología VIZIR.

De acuerdo con el análisis de deterioro, se definieron zonas con valores que van desde un índice de 3 (zonas con agrietamiento estructural y pocas deformaciones, que necesitarían de rehabilitación de mediana intensidad) hasta uno de 7 (con áreas fatigadas en más de un 20% de su extensión, lo que requiere de la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación o reconstrucción, según la valoración de los demás

aspectos relacionados con el diseño). Sin embargo, dada la corta extensión de tramo en estudio, no es recomendable sectorizar para obtener unidades homogéneas de diseño, por lo cual no se presenta una sectorización de los deterioros y por el contrario se asume el sector completo con un índice de deterioro entre 5 y 7, que seguramente requerirá de reciclados de alta intensidad.

Cuadro 4. Calificación de los sectores de acuerdo con el índice de deterioro.

Sector De	A	Índice de fisuración	Índice de deformación	Índice de deterioro
K 164+200	K 164+300	4	1	5
K 164+300	K 164+400	3	1	4
K 164+400	K 164+500	4	1	5
K 164+500	K 164+600	2	2	3
K 164+600	K 164+700	2	2	3
K 164+700	K 164+800	2	2	3
K 164+800	K 164+900	2	1	3
K 164+900	K 165+000	2	1	3
K 165+000	K 165+100	3	1	4
K 165+100	K 165+200	2	1	3
K 165+200	K 165+300	5	3	6
K 165+300	K 165+400	5	3	6
K 165+400	K 165+500	5	3	6
K 165+500	K 165+600	3	4	7
K 165+600	K 165+700	4	3	6
K 165+700	K 165+800	4	3	6
K 165+800	K 165+900	3	3	5
K 165+900	K 166+000	4	1	5
K 166+000	K 166+100	2	1	3
K 166+100	K 166+200	0	0	1

**2.2.2 Medición deflectométrica.** Para la medición de dicha deformación se utilizó la viga Benkelman, dispositivo que permite medir la recuperación elástica sobre la superficie del pavimento cuando deja de actuar la carga producida por un semieje de rueda doble de determinadas características. Para el caso particular de este estudio, se utilizó como carga el semieje simple de doble rueda, de 8,2 toneladas, presión de contacto de 5,6 kg/cm<sup>2</sup>, distancia entre ejes de las llantas de 32,4 cm.

Para el análisis de los datos recolectados se utilizó el programa de cálculo INPACO, módulo DEFLEX, de acuerdo con el cual se obtiene que la deflexión característica para el tramo es de 186 mm/100, y los puntos críticos establecidos como los de mayor deformación y menor radio de curvatura se localizan en las abscisas K164+400, K164+850 y K165+550. De acuerdo con el análisis estadístico de los datos se tiene que la abscisa representativa es K164+850 (obtenida con una confiabilidad del 95,5%).

**2.2.3 Verificación geotécnica.** Se realizaron exploraciones del suelo, obteniendo muestras alteradas representativas de cada una de las capas constitutivas de la estructura del pavimento, con las cuales se ejecutaron ensayos de clasificación y de resistencia, tales como granulometrías, índice plástico, CBR de muestras alteradas y densidad de compactación en la vía [4].

La inspección de la estructura del pavimento se programó en las abscisas K164+400, K164+900, K165+600 y K165+980, correspondiendo con los sitios en los que el análisis deflectométrico arrojó los valores más desfavorables, bien sea por radios de curvatura bajos o valores de deformación recuperable altos.

### 3. Juicio sobre la capacidad del pavimento

De acuerdo con la clasificación de deterioro que se presenta en el esquema itinerario, se observan índices que varían desde calificación de 3 hasta 7, valores elevados debido a la gran cantidad de fisuras y deformaciones; daños que varían sin ser graduales, debido tal vez a la magnitud de los trabajos de mantenimiento que se limitan únicamente a la

reparación puntual de los sitios deteriorados y, muy seguramente, no se realizan con la oportunidad debida. El caso específico en el que la evaluación alcanza valores de 7 (25% del área evaluada) demuestra el alto grado de deterioro del pavimento en sitios donde la evaluación deflectométrica no resulta representativa y por tanto la elaboración de modelos a través de criterios mecanicistas carece de valor práctico. Bajo estas condiciones es casi seguro que el pavimento posee muy poca o casi nula vida residual, y, por lo tanto, las medidas de rehabilitación por ejecutar corresponden con trabajos de reciclado de alta intensidad o reconstrucciones parciales del pavimento.

La razón de tan baja capacidad del pavimento y, por ende, de la alta magnitud de los deterioros puede explicarse por la poca capacidad de soporte que brindan los materiales granulares, dado que no cumplen con las especificaciones para ser instalados como capas de estructura de pavimento (bases o subbases granulares), por la evidente falta de compactación de las capas, por los niveles freáticos altos y por la baja capacidad de soporte de los suelos de fundación, que corresponden con suelos residuales de reciente formación.

## 4. Estudio de las soluciones potenciales

### 4.1 Selección de alternativas factibles

**4.1.1 Cálculo de la vida residual (Vr).** La vida residual de un pavimento se entiende como la cantidad de tránsito que está en capacidad de resistir antes de llegar a la falla, y está en función del tránsito acumulado al momento de la rehabilitación y del acumulado al momento de la falla. Al realizar el cálculo se tiene que la carpeta no presenta vida residual.

### 4.1.2 Criterio de agrietamiento por fatiga (1).

Para la evaluación del momento en que el pavimento llega a la falla por fatiga, la Guía de diseño de rehabilitación de pavimentos asume entre otras la formulación Shell, que se muestra a continuación:

$$\text{Donde: } N_{lab} = (0.856 Vb + 1.08)^5 * (10^6 E1)^{-1.8} * \epsilon t^{-5} \quad (1)$$



$N_{lab}$  = Cantidad de tránsito que está en capacidad de resistir una mezcla asfáltica bajo determinadas circunstancias de:

$V_b$  = Volumen de asfalto en la mezcla, expresado en porcentaje

$E_1$  = Módulo dinámico de la mezcla asfáltica en MPa

$\epsilon_t$  = Deformación unitaria de tensión en la capa asfáltica

#### 4.1.3 Criterio de deformación permanente (2).

Se refiere al ahuellamiento que pueda ocurrir en la estructura del pavimento, generado por la deformación de la subrasante, y es evaluada por la formulación Shell para el 85% de la confiabilidad:

$$\begin{aligned}\epsilon_z &= 0.021 * 954000000^{-0.25} \\ \epsilon_z &= 3.78 * 10^{-4} \text{ mm} \\ \epsilon_z &= 0.021 * N^{-0.25}\end{aligned}\quad (2)$$

#### 4.1.4 Criterio de deformación recuperable (3).

Este concepto tiene en cuenta la deformación que presenta la estructura ante el paso de la carga del eje estándar y es la forma de evaluar la capacidad de resistir las cargas sin deformaciones elásticas excesivas.

$$\begin{aligned}\Delta adm &= 26.32202 * N^{-0.2438} \\ \Delta adm &= 26.32202 * 954000000^{-0.2438} \\ \Delta adm &= 0.53 \text{ mm}\end{aligned}\quad (3)$$

Para los dos criterios anteriores, el  $N$  de la ecuación corresponde con el tránsito acumulado al momento de la falla del pavimento.

### 5. Diseño de la solución planteada

Para la solución del diseño se tuvo en cuenta que los valores de esfuerzo o deformación revisados en los sitios de control, como son la subrasante, la parte inferior de las capas asfálticas y la superficie del pavimento, no excedan los valores admisibles obtenidos de acuerdo con la caracterización de los materiales y con los tres criterios recientemente mencionados.

Dado que la instalación de una sobrecapa de refuerzo hace que los esfuerzos bajo las capas de la estructura se reduzcan, se debe realizar una corrección a los módulos dinámicos de las capas granulares y de subrasante por medio de lo que se conoce como el principio del pavimento transformado, que significa que la estructura multicapa antes del refuerzo queda transformada en un sistema equivalente compuesto por capas granulares, procedimiento que se encuentra propiamente documentado en la guía del INV.

#### 5.1 Situaciones para el diseño del refuerzo

Se considera la falla del pavimento cuando el daño acumulado total, debido al agrietamiento por fatiga de las capas ligadas o debido a la deformación permanente por ahuellamiento, alcanza el 100%.

Al evaluar la vida de servicio del pavimento asfáltico se obtuvo que la vida residual de las capas asfálticas es inexistente, para lo cual estas capas se modelaron como una capa granular no ligada.

#### 5.2 Caracterización de los materiales

Los materiales existentes y de la nueva estructura se caracterizaron de acuerdo con formulaciones [5, 6] aplicables así:

- Capacidad de soporte de la subrasante. El valor del módulo resiliente de la subrasante se obtuvo como primera aproximación, de acuerdo con la recomendación de cien veces el valor del CBR aproximadamente (4) y dado que en las exploraciones solo fue posible la obtención de un valor de CBR de subrasante, el módulo así calculado será ajustado por retrocálculo; entonces:

$$\begin{aligned}M_s \text{ (kg/cm}^2\text{)} &= 100 \times \text{CBR}, M_s \\ &= 100 \times 2.2, M_s = 220 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}\quad (4)$$

Por tratarse de un material arcilloso, la recomendación es que se utilice un valor de relación de Poisson de 0,5.

- De los granulares. El módulo resiliente de los materiales granulares se determinó con la siguiente expresión:

$$M_r = 0,206 * h(\text{mm})^{0,45} * M_r (-1)\quad (5)$$

donde:

$M_r$  = Módulo resiliente de la capa granular a evaluar, en  $\text{kg/cm}^2$

$H$  = Espesor de la capa, en milímetros

$M_r(-1)$  = Módulo resiliente de la capa inmediatamente inferior, en  $\text{kg/cm}^2$

Los valores de módulo utilizados en el presente estudio para las capas granulares son de  $537 \text{ kg/cm}^2$ , para el terraplén existente, y  $1500 \text{ cm}^2$ , que son el resultado de reemplazar la fórmula anterior a partir del módulo de la subrasante. Estos suelos fino-granulares generalmente tienen valores de relación de Poisson que varían de 0,3 a 0,5. Para el caso específico se adoptó el valor de 0,45, dado que contienen gran cantidad de finos "Pasa 200".

- De las capas estabilizadas con cemento. El módulo dinámico fue asumido de acuerdo con la recomendación dada por el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá [7], para sus diseños de pavimentos ( $E = 6000 \text{ kg/cm}^2$ ). Además se utilizó una fórmula de correlación a partir de la resistencia a la compresión simple o tracción indirecta, con la cual se controló que los esfuerzos de tracción no superen los admisibles, así:

$$R_{fi} = 2 * R_{ti} = 2 * (R_{90} / 10) = 2 * (1.5 * R_7 / 10) \quad (6)$$

donde:

$R_{fi}$  = Resistencia a la flexo-tracción a los 90 días

$R_{ti}$  = Resistencia a la tracción indirecta a los 90 días

$R_{90}$  = Resistencia a la compresión simple a los 90 días

$R_7$  = Resistencia a la compresión simple a los 7 días

Para estos materiales generalmente se utiliza una relación de Poisson de 0,2.

- De las capas asfálticas nuevas. Para determinar los parámetros dinámicos de las mezclas asfálticas por utilizar se debe contar con información básica del tipo de asfalto y mezcla prevista, para lo cual se tiene:

- \* T800
- \* Índice de penetración IP
- \* Temperatura de servicio de la mezcla
- \* Tiempo de aplicación de la carga: 0,02 segundos.
- \* % del volumen de asfalto y de los agregados en la mezcla


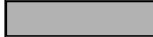

De acuerdo con el análisis para la caracterización de las capas asfálticas se utilizará para los diseños un módulo de  $30\,000 \text{ kg/cm}^2$ .

- De las capas asfálticas existentes. Para la estimación inicial del módulo, se tendrá en cuenta la recomendación de acuerdo con el estado del pavimento, así:

- \* En mal estado, sin vida residual:  $< 5000 \text{ kg/cm}^2$
- \* En regular estado, algo de vida residual:  $5000 \text{ kg/cm}^2 < M_r < 13000 \text{ kg/cm}^2$
- \* En buen estado, con apreciable vida residual:  $< 13000 \text{ kg/cm}^2$

Con el objeto de ajustar los módulos dinámicos de la estructura existente, se realiza una comparación de las deformaciones recuperables obtenidas mediante el análisis deflectométrico y los resultados obtenidos mediante la modelación de la estructura en el programa de cálculo INPACO, módulo DEPAV. Este ajuste se realiza iterando los módulos dinámicos de las capas hasta encontrar la deformación obtenida de la deflectometría, proceso que se le denomina "retrocálculo".

Cuadro 5. Esquema de la estructura existente.

		<b>E (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>μ</b>	<b>Espesor cm.</b>
Carpeta asfáltica		1500	0,35	13,0
Granulares		530	0,45	67,0
Subrasante (Plataforma)		200	0,50	ND



Una vez obtenida la estructura existente, se realiza el ajuste del módulo dinámico de la carpeta asfáltica de acuerdo con las condiciones de temperatura al momento de la medición deflectométrica.

Con el objeto de agilizar el proceso de cálculos, y dado que muchos de estos son recurrentes, se elaboró una hoja de cálculo que sirve para la evaluación de varias alternativas, cuyos resultados se presentan en la figura 3.

DISEÑO DE OBRAS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS					
K164+000 al K166+200 (recta SAN RAFAEL) trayecto 17 "LA YE - TIBASOSA - SOGAMOSO" ALT 1.					
N <sub>A</sub> Ejes Equivalentes de 8,2 T. que han pasado	1,70E+07				
N <sub>F</sub> Ejes Equivalentes de 8,2 T. DISEÑO	9,54E+06				
Deflexión	186 / 100 mm				
Radio de curvatura	32 m.				
Unidades del sistema	E (kg/cm <sup>2</sup> )				
<b>Corrección del Ep por TPPP</b>					
Deflectometría por:	Viga Benkelman	Viga B.	Viga B.	FWD	
a Temperatura promedio ponderada del pavimento.	15	2,55	2,55	6,35	
b Temperatura al momento de medición deflectométrica.	30	1,1	1,1	1,85	
Módulo de carpeta asfáltica, obtenido por retrocálculo	1.500 E (kg/cm <sup>2</sup> )				
Ea = Ebc*(a/b)	3477 kg/cm <sup>2</sup>				
<b>Estructura obtenida</b>					
	E (kg/cm <sup>2</sup> )	u	espesor (cm)	Vb=	
Carpeta asfáltica (antigua)	3.477	0,35	13,0	13,0 %	
Capas granulares	530	0,45	67,0		
Capas granulares					
Sub rasante	220	0,50	ND		
<b>depav</b>					
z <sub>p</sub>	7,34E-04				
t	1,23E-03				
Factor de Calage	10				
Ley de fatiga (carpeta existente)	A= 1,51E-03	B= 0,222			$N_{DA} = (0,856Vb + 1,08)^5 * (10^6 EI)^{-1,8} * \epsilon t^{-5}$
N <sub>DA</sub>	4,22E+05 (obra)				
FDA <sub>AAP</sub>	40,29 La carpeta no presenta vida residual				
<b>Estructura adoptada.</b>					
	E (kg/cm <sup>2</sup> )	u	espesor (cm)	Vb =	
Carpeta asfáltica (Nueva)	30.000	0,35	13,0	12,0 %	
Base estabilizada con ligante hidráulico >15cm.	6.000	0,20	23		
Fresado de la C.E.	0,0 cm			Reciclado C. E.	13,0 cm
Fresado recom compactado (antigua)	1.500	0,45	50		
Capas granulares	530	0,45	23		
Capas granulares	-	0,00	0,0		
Sub rasante	220	0,50	ND		
<b>Pavimento transformado.</b>					
hg	Espesor de capa de refuerzo transformada 235,0 cm				
he	Espesor de pavimento transformado 258,0 cm				
<b>Ajuste por dependencia de esfuerzos</b>					
Ega	Módulo ajustado de la capa granular 238 E (kg/cm <sup>2</sup> ) Factor de ajuste = 1,2				
Es	Módulo ajustado del material cohesivo de subrasante 273 E (kg/cm <sup>2</sup> ) por el espesor de las capas.				
<b>Modelo de pavimento rehabilitado</b>					
	E (kg/cm <sup>2</sup> )	u	espesor (cm)		
Carpeta asfáltica (Nueva)	30.000	0,35	13,00		
Base estabilizada con ligante hidráulico >15cm.	6.000	0,20	23,00		
Fresado recom compactado (antigua)	1.500	0,45	50,00		
Capas granulares	238	0,45	23,00		
Sub rasante	273	0,50	ND		
<b>depav</b>					
z <sub>r</sub>	1,49E-04				
z <sub>d</sub>	8,38E-04 Ok				
Ley de fatiga (Subrasante)	A= 2,10E-02	B= 0,25			$\epsilon t = A * N^{-B}$
N <sub>AS</sub>	3,95E+08				
FDA <sub>S</sub>	0,024 Ok				
tr	1,12E-04				
Factor de Calage	10				
Ley de fatiga (carpeta nueva)	A=	B=			$N_{DA} = (0,856Vb + 1,08)^5 * (10^6 EI)^{-1,8} * \epsilon t^{-5}$
N <sub>AT</sub>	9,69E+08 (obra)				
FDA <sub>AT</sub>	0,01 Ok				
reh.	5,17E-01 mm Ok				
adm.	5,23E-01 mm FIN DEL PROBLEMA				

Figura 3. Ejemplo de la hoja de cálculo para el diseño de la alternativa 1.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Al realizar el proceso de análisis de los datos de volúmenes de tránsito se obtuvo que desde la última rehabilitación de la calzada a la fecha han circulado 17 millones de ejes equivalentes en el carril de diseño, y al proyectar las series volúmenes calculadas mediante técnicas de crecimiento matemático se puede afirmar con buen grado de certeza que el tránsito que circulará durante los siguientes 7 años es de 9,54 millones de ejes. Del análisis de deterioro se establece que el tramo completo tiene un alto nivel de daño, con valores de índice de deterioro que oscilan entre 3 y 7 y que demuestran la pérdida de la capacidad de la estructura para seguir resistiendo cargas de tránsito. Así mismo, en el análisis de deflectometría se detectaron valores de deflexión altos, siendo la deflexión característica de 186/100 mm, valores que indican la debilidad de las capas inferiores de la estructura, con lo que se puede prever que para la rehabilitación sea necesario intervenir la estructura en profundidad. Por lo cual el pavimento no posee vida residual y las medidas de rehabilitación por ejecutar corresponden con trabajos de reciclado de alta intensidad o reconstrucciones parciales del pavimento.

Para la verificación de las características geotécnicas de la estructura se utilizaron métodos convencionales de exploración, con los cuales fue posible muestrear y ensayar las capas constituyentes del pavimento y obtener las características dinámicas de los materiales; se utilizaron correlaciones conocidas y aceptadas por la *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*, del Instituto Nacional de Vías.


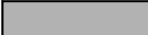

Dado que la longitud de análisis es tan pequeña, no da lugar a la subdivisión de unidades definitivas, además, de la revisión de algunos de los parámetros del diseño, como son la evaluación del tránsito, deflectométrica y geotécnica, se puede concluir que toda la longitud considerada es la única unidad de diseño.

Se evaluó la posibilidad de rehabilitar mediante la adición de una o varias capas de refuerzo y reciclar en el sitio mediante una capa de base estabilizada con cemento, alternativas que se deben complementar con la reconstrucción de parte de la estructura, tal y como se indica a continuación:

#### • Alternativa 1

1. Retiro total de la carpeta asfáltica.
2. Recompactación del fondo de la excavación verificando que la plataforma cumpla con las especificaciones generales de construcción de carreteras, Normas INVIAS, artículo 220 (Corona de terraplén) en un espesor mínimo de 50 cm.
3. Adición de base granular de acuerdo con norma INVIAS - artículos 300 y 330, para luego ser mezclada con cemento hidráulico de tal manera que la capa cumpla con las especificaciones generales de construcción de carreteras, norma INVIAS artículo 341, Bases estabilizadas con cemento hidráulico. El espesor total de la capa debe ser de 23 cm.
4. Colocar 13 cm de carpeta asfáltica tipo MDC-2, que cumpla con las especificaciones generales de construcción de carreteras, norma INVIAS - artículos 400 y 450.

Cuadro 6. Esquema de la estructura existente.




		<b>Espesor cm.</b>
Carpeta asfáltica MDC-2 INV-A-450		13,0
Base estabilizada con cemento INV-A-341.		23,0
Mejoramiento de la plataforma INV-A-220.		50,0

• **Alternativa 2**

1. Retiro total de la carpeta asfáltica.
2. Recompactación del fondo de la excavación verificando que la plataforma cumple con las especificaciones generales de construcción de carreteras, Normas INVIAS, artículo 220 (Corona

- de terraplén) en un espesor mínimo de 50 cm.
3. Adición de base, norma INVIAS - artículos 300 y 330, en un espesor de 35 cm.
4. Colocación de 13,5 cm de carpeta asfáltica tipo MDC-2, que cumpla con las especificaciones generales de construcción de carreteras, norma INVIAS - artículos 400 y 450.

Cuadro 7. Esquema de la estructura existente.

		<b>Espesor cm.</b>
Carpeta asfáltica MDC-2 INV-A-450		13,5
Base Granular INV-A-330		35,0
Mejoramiento de la plataforma. INV-A-220		50,0

**6.2 Recomendaciones**

- Aunque para la determinación del tránsito circulado y del diseño se utilizó la metodología apropiada, se recomienda realizar el ajuste de los factores de equivalencia de carga con los datos de pesaje que el concesionario está recolectando.
- Los parámetros dinámicos de las capas del pavimento fueron establecidos a partir de formulaciones reconocidas en el contexto técnico, sin embargo, cuando la extensión de la rehabilitación así lo amerite, se debe procurar obtener los parámetros dinámicos mediante la ejecución de los ensayos de laboratorio que los determinan.
- Cualquiera que sea la solución adoptada, los procedimientos de construcción, los materiales, los controles y verificaciones, la unidad de medida y el pago deben hacerse conforme con lo establecido por el Instituto Nacional de Vías en las especificaciones generales de construcción de carreteras del año 2002.
- Debe verificarse la efectividad del sistema de drenaje, dado que la zona es susceptible a niveles freáticos altos e, incluso, a inundaciones. Además, con el fin de mantener la estructura rehabilitada en condiciones óptimas de funcionamiento, es necesario que se realice un plan de mantenimiento periódico o

rutinario, que incluya entre otros la limpieza del sistema de drenaje, rocería del derecho de vía, reemplazo de la señalización deteriorada y manejo adecuado de los daños que aparezcan en la estructura rehabilitada por efecto del servicio.

- Con el ánimo de facilitar los cálculos y la interpretación de los resultados del análisis de daños del pavimento, se deja para consulta de las personas interesadas en su uso o mejoramiento, una hoja de cálculo que, además, presenta los datos a manera de esquema itinerario.

**Referencias**

[1] A. González Flercher y A. Giles Lombana. Estudio general de los suelos de los municipios Aquitania, Cuitiva, Firavitoba, Iza, Monguí, Nobsa, Sogamoso, Tibasosa, Tópaga y Tota. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1978.

[2] A. Jiménez Pinto y G. I. Quijano Brand. Caracterización Hidrogeológica de las formaciones en el sector centro-sur del departamento de Boyacá. Trabajo de grado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Seccional Sogamoso. 1982.

[3] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos. 2002.

- [4] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Ensayos de laboratorio. Bogotá: El Instituto, 1998.
- [5] C. Benavides B. y E. Chavarro B. Caracterización dinámica de materiales viales y su aplicación al diseño racional de pavimentos flexibles. Trabajo de grado. Universidad del Cauca. Popayán, 1992.
- [6] C. H. Higuera S. Nociones sobre métodos para el diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Escuela de Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 2006. p. 103.
- [7] INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. Manual de diseño de pavimentos para Bogotá: El Instituto, 1998, p. D4.

Fecha de recepción: 6 de septiembre de 2006

Fecha de aprobación: 16 de marzo de 2007