

Diseño de estructuras de pavimentos en afirmado

Road Pavements Structure's Design

Carlos Hernando Higuera Sandoval*

Resumen

Se presenta una metodología para diseñar estructuras de pavimentos cuya capa de rodadura esté compuesta por material de afirmado en su totalidad, entendiéndose este como una capa de material granular destinada a soportar las cargas del tránsito. La metodología se fundamenta en los mismos principios y conceptos tenidos en cuenta para el diseño de las estructuras de pavimento flexible, y en especial en la metodología de la AASHTO [1]. La metodología desarrollada permite a los ingenieros de carreteras diseñar de manera técnica y rápida el espesor de una capa de afirmado, teniendo en cuenta la resistencia de la subrasante y el tránsito estimado para un periodo de diseño.

Este artículo hace parte de los trabajos de investigación sobre diseño de pavimentos que viene adelantando el autor en la Escuela de Transportes y Vías, Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en el Grupo

Abstract

A methodology is presented to design structures of pavements whose rolling layer is compounded entirely by roadbed material, as a granular material layer intended to support the traffic loads. The methodology is based upon the same principles and the concepts that take into account the structures design for a flexible pavement and especially the methodology of the AASHTO [1]. The methodology develop allows the road engineers to design swiftly and technically the asphalt layer thickness, taking into account the roadbed resistance and the estimated traffic load for a design period.

This is part of the investigation works on pavements design that is currently being carried out by the author at the School of Transport and Roads, a section of the Engineering School of the Pedagogic and Technological University of Colombia, in the Group of Research and development of Road Infrastructure –GRINFRAVIAL-, Category B.

* Ingeniero en Transportes y Vías, Especialista en Vías Terrestres, Especialista en Carreteras, Especialista en Transportes Terrestres, Magíster en Ingeniería de Vías Terrestres, Profesor de la Escuela de Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja - Boyacá. Investigador del Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial – GRINFRAVIAL–Categoría B. Correo e.: carlos.higuera@uptc.edu.co

de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial
–GRINFRAVIAL– Categoría B.

Key words: Road Pavements, Roadbed Pavement
Design, Unpaved Roads.

Palabras clave: Pavimentos en afirmado, Diseño de
afirmados, Carreteras destapadas.

1. Introducción

La metodología propuesta para el diseño de estructuras de pavimentos en afirmado tiene su aplicación directa en carreteras secundarias y terciarias, en donde los volúmenes del tránsito son bajos o menores de 50 vehículos comerciales al día, o menores de 425.000 ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Para el diseño de la metodología se partió del método de diseño de la AASHTO y se hicieron las consideraciones para determinar sus parámetros de diseño para el caso de carreteras secundarias, terciarias o caminos rurales. La descripción de la metodología se presenta a continuación.

2. Metodología para el diseño de afirmados

De acuerdo con la metodología de la AASHTO, se calcula el número estructural (SN) para el diseño generado por las cargas del tránsito; en su determinación se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros adoptados para el diseño de los modelos estructuras de carreteras en afirmados: el nivel de confianza del diseño $R = 75\%$, la desviación normal estándar $Z_r = -0,674$, el error normal combinado $S_o = 0,49$, el nivel de serviciabilidad final $P_t = 1,5$ y la pérdida de serviciabilidad $\Delta PSI = 2,7$; enseguida se limitan las categorías del tránsito que se han de contemplar en el diseño y se convierte el tránsito a número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en carril de diseño durante el periodo de diseño, lo cual se efectuó con los mismos parámetros del diseño de pavimentos flexibles; así mismo, se limitan rangos de clasificación para la resistencia de la subrasante, y mediante correlaciones se expresa en términos del módulo resiliente (Mr); una vez determinados estos parámetros se reemplazan en la ecuación básica de diseño de la AASHTO, mostrada a continuación, y mediante iteraciones se obtiene el número estructural para el tránsito y las condiciones de resistencia de la subrasante.

La expresión de la AASHTO para determinar el número estructural (SN) es la siguiente:

$$\log(N) = Z_r \times S_o + 9,36 \times \log(SN + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log\left(\frac{AI_{PS}}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \left(\frac{1,094}{(SN + 1)^{0,19}}\right)} \right] + 2,32 \times \log(Mr) - 8,07 \quad (1)$$

Obtenido el número estructural para cada intervalo de resistencia de la subrasante y nivel del tránsito, se procede a diseñar espesores de pavimento, en este caso con material de afirmado, que cumplan con la condición de que el número estructural del tránsito ($SN_{Tránsito}$) sea menor o igual que el número estructural de la estructura propuesta ($SN_{Estructura}$).

$$SN_{(Tránsito)} \leq SN_{(Estructura)} \quad (2)$$

Para la cual:

$$SN_{(Tránsito)} = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 + \dots + a_n d_n m_n \quad (3)$$

Donde:

SN : Número estructural del pavimento.

d_1, d_2, \dots, d_n : Espesores de las capas de pavimento, pulgadas.

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$: Coeficientes estructurales de las capas de pavimento, /pulgada.

m_2, \dots, m_n : Coeficientes de drenaje de las capas granulares.

Para el diseño de los paquetes estructurales se deben definir los valores de los coeficientes estructurales y de drenaje; para los primeros se hace en función de características de resistencia de los materiales y para los segundos, basados en la calidad del drenaje. Básicamente, estos coeficientes se reemplazan en la ecuación y mediante espesores asumidos se diseña la estructura cumpliendo con la condición para el número estructural.

3. Obtención del ábaco de diseño

En el cuadro 1 se muestran los rangos de resistencia de la subrasante, según la categoría y los valores del módulo resiliente y del CBR, y el tránsito adoptado, según su categoría y considerando un periodo de análisis de 10 años, junto con el número estructural (SN) para cada combinación que deberá tener como mínimo el paquete estructural a ser implementado como capa de rodadura con material de afirmado.

Cuadro 1. Matriz de número estructural adoptada, SN (2).

Categoría	Mr Lb/pulg ²	CBR %	N _{8.2 ton} carril diseño/periodo diseño		
			T1 < 85.000	T2 < 210.000	T3 < 425.000
S1	< 3,000	< 2	2,83	3,22	3,55
S2	4.500 – 7.500	3 – 5	2,47	2,82	3,12
S3	9.000 – 15.000	6 – 10	1,92	2,22	2,47
S4	16.500 – 30.000	11 – 20	1,51	1,77	1,98
S5	> 30.000	> 20	1,17	1,39	1,57

Fuente: INVIAS [2].

El ábaco de diseño para vías en afirmado se obtiene asumiendo que la condición del número estructural para el tránsito de diseño se cumplirá colocando como capa de rodadura un espesor integral de concreto asfáltico, para lo cual se reemplazan las variables en la ecuación.

$$SN_{(Estructura)} = a_i d_i \quad (4)$$

Donde:

$SN_{(Estructura)}$: Número estructural del pavimento.

a_i : Coeficiente estructural para el concreto asfáltico, /pulgada.

d_i : Espesor de la capa de concreto asfáltico, pulgadas.

· Ejemplo:

Para una subrasante con un CBR de diseño de 2% y un tránsito de diseño menor a 85.000 ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño, el número estructural requerido es de $SN = 2,83$. Verificar si al colocar 6,5 pulgadas de concreto asfáltico se tiene un modelo estructural apropiado. Luego se procede de la siguiente manera, aplicando la ecuación 4:

$$2,86 = 0,44/\text{pulgada} \times 6,5 \text{ pulgadas}$$

Donde:

$SN_{(Estructura)} = 2,86$, Número estructural del pavimento.

$a_i = 0,44$, Coeficiente estructural para el concreto asfáltico, /pulgada.

$d_i = 6,5$, Espesor de la capa de concreto asfáltico, pulgadas.

Se verifica que el número estructural obtenido con base al tránsito $SN_{(Tránsito)} = 2,83$ sea menor que el número estructural de la estructura propuesta $SN_{(Estructura)} = 2,86$:

$$2,83 < 2,86 \text{ Cumple la condición.}$$

Por lo tanto, con 6,5 pulgadas de concreto asfáltico la estructura cumple con las exigencias del tránsito de diseño y la capacidad de soporte de la subrasante.

La capa de concreto asfáltico se reemplaza por material granular, que se emplea como capa de afirmado; esto se logra a través de factores de equivalencia; para la conversión, el espesor de concreto asfáltico se da en centímetros y en este caso 2,7 es el factor de equivalencia entre el concreto asfáltico y el material granular por emplear en el diseño de capas de afirmado [3].

$$e = e_{con} \times 2,5 \times FE \quad (5)$$

Donde:

e : Espesor de la capa de afirmado, centímetros.

e_{con} : Espesor de la capa en concreto asfáltico, pulgadas.

2,5: Factor de conversión de pulgadas a centímetros.

FE : Factor de equivalencia entre el concreto asfáltico y el materia de afirmado.

· Ejemplo:

$$e = 6,5 \text{ pulgadas} \times 2,5 \text{ cm/pulgada} \times 2,7 = 44 \text{ cm}$$

Donde:

$e_{con} = 6,5$ pulgadas, espesor de la capa en concreto asfáltico.

$FE = 2,7$ factor de equivalencia entre el concreto asfáltico y el material de afirmado.

Por lo tanto, con 44 cm de material para afirmado también se puede diseñar el pavimento.

En el cuadro 2 se encuentra registrada la matriz de número estructural tenida en cuenta para la obtención del ábaco de diseño de afirmados, sobre la cual se realiza el procedimiento anteriormente descrito.

Cuadro 2. Matriz de espesores de afirmado para elaborar el ábaco de diseño en centímetros.

CBR %	Número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas/carril de diseño/periodo de diseño									
	42.500	85.000	127.500	170.000	210.000	255.000	297.500	340.000	382.000	425.000
2	39	44	46	48	50	51	52	53	54	54
3	34	38	40	42	43	45	45	46	47	48
4	30	34	37	38	39	40	41	42	43	43
5	28	32	34	35	36	37	38	39	40	40
6	26	30	32	33	34	35	36	37	37	38
7	24	28	30	31	32	33	34	35	35	36
8	23	26	28	30	31	32	32	33	34	34
9	22	25	27	28	29	30	31	32	32	33
10	21	24	26	27	28	29	30	30	31	31
12	19	22	24	25	26	27	28	28	29	29
14	18	21	23	24	25	26	26	27	27	28
16	17	20	21	23	23	24	25	25	26	26
18	16	19	20	22	22	23	24	24	25	25
20	15	18	19	21	21	22	23	23	24	24

El último paso en la obtención final del ábaco para diseñar espesores de afirmado es expresarlo en un parámetro de resistencia de fácil determinación en nuestro medio, como es el ensayo de CBR descrito en la norma INV E – 148 – 07 del Instituto Nacional de Vías - INVIAS [4].

La figura 1 se presenta el ábaco obtenido con la metodología descrita.

4. Diagrama estructural para la selección de la estructura de pavimento posible de implementar

Con base en los niveles de tránsito de la zona del proyecto y en la capacidad de soporte de la subrasante, se puede emplear un considerable número de estructuras, cuya selección dependerá de los materiales disponibles. En la figura 2 se presenta la carta básica de diseño para la selección de los

diferentes tipos de estructuras de pavimento disponibles para implementar.

La utilización tanto del diagrama estructural como de los catálogos de estructuras debe servir para formarse una idea de la posible configuración de la estructura de pavimento, pero lo más recomendable es realizar el respectivo diseño y análisis de sensibilidad para determinar el diseño óptimo en cada uno de los casos específicos que se puedan presentar.

El diagrama estructural planteado en la figura 1 debe entenderse como la recomendación de la definición de estructuras tentativas para cada una de las posibles combinaciones de tránsito y resistencia de la subrasante, y su utilización debe realizarse de la siguiente manera:

- Se determina, en función del tránsito y la resistencia de la subrasante, el número estructural ($SN_{Tránsito}$).

- Se escogen las capas que integran el modelo estructural de acuerdo con las condiciones de la región donde se ejecutará la obra y la disponibilidad de materiales.
- Se seleccionan los coeficientes estructurales de cada capa integrante del modelo escogido.
- Se define el espesor de las capas integrantes del modelo estructural escogido.
- Se verifica que el número estructural del modelo escogido sea mayor o igual al número estructural que se presenta en el cuadro 1.
- Se definen las normas y las especificaciones de calidad y de construcción de cada capa integrante del modelo.

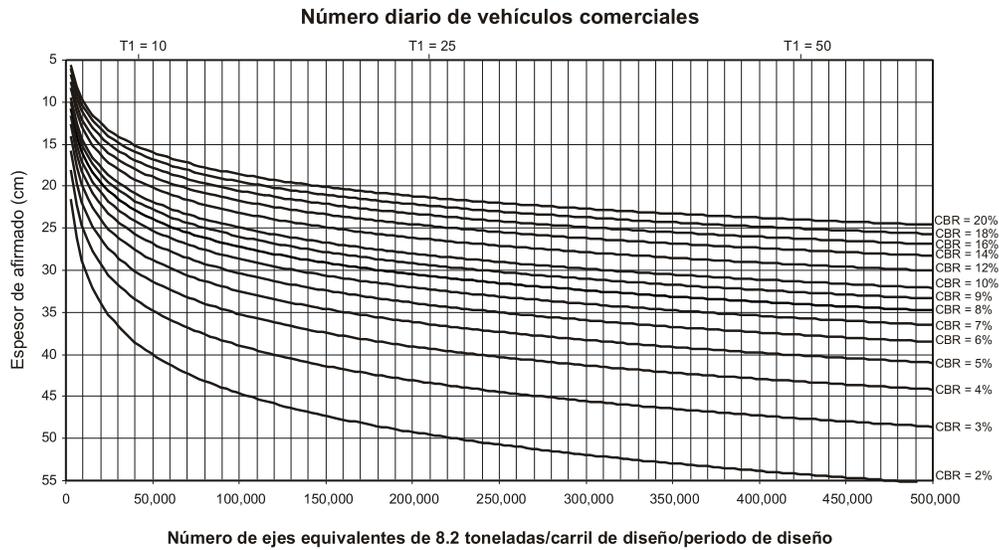


Figura 1. Ábaco para el diseño de afirmados [5]

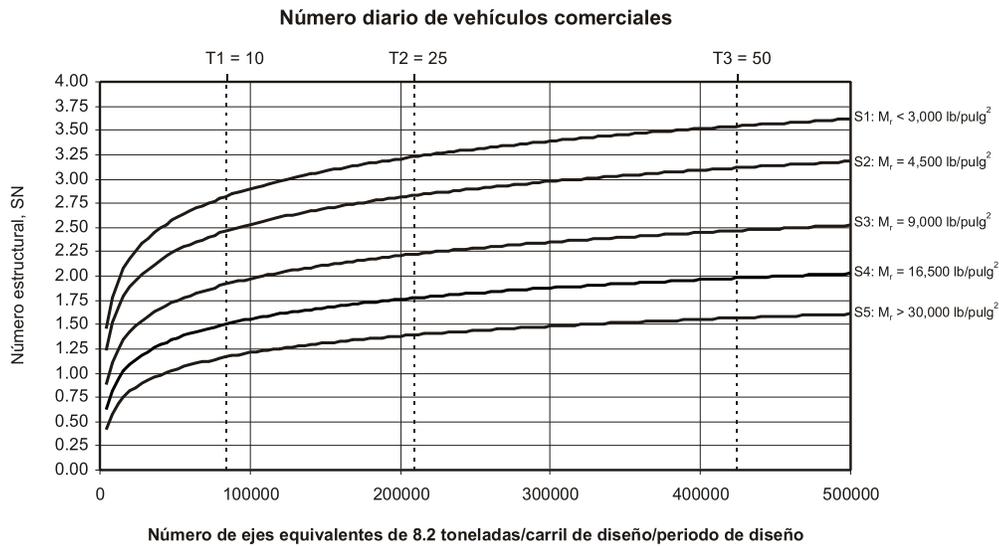


Figura 2. Diagrama estructural

Agradecimientos

El autor agradece al ingeniero Juan Carlos Poveda D’Otero, Director de la Escuela de Transporte y Vías, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por su apoyo y colaboración en la elaboración del presente artículo. Igualmente, a los integrantes del Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial – GRINFRAVIAL–, Categoría B, de la Escuela de Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por su apoyo y asesoría en la elaboración del presente artículo fruto de los proyectos de investigación.

Referencias

- [1] American Association of States Highway Transportation Official.
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS –INVIAS–. *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito*. Popayán, 1997. p 18.
- [3] C. Garcés, O. Garro y L. Arias. *Pavimentos*. Universidad de Medellín. 1997. p. 86.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS –INVIAS–. *Normas de ensayo para materiales de carreteras*. Bogotá D.C., 2007.
- [5] E. A. Guzmán Suárez. *Carreteras destapadas: Nociones de diseño, construcción y mantenimiento – Estructuras de pavimento*. Tesis de grado. Director Higuera Sandoval, Carlos Hernando. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 2007.

Bibliografía

- Garcés, Claudia; Garro, Olga y Arias, Libardo. *Pavimentos*. Universidad de Medellín. 1997.
- Garnica Anguas, Paul y Correa, Ángel. *Conceptos mecanicistas en pavimentos*. Secretaría de

Comunicaciones y Transportes – Instituto Mexicano del Transporte. Publicación técnica N.º 258. Sanfandila, 2004.

Guzmán Suárez, Edwin Antonio. *Carreteras destapadas: Nociones de diseño, construcción y mantenimiento – Estructuras de pavimento*. Tesis de grado. Director Higuera Sandoval, Carlos Hernando. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 2007.

Higuera Sandoval, Carlos Hernando. *Estadísticas de carreteras de Colombia*. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 2006.

_____. *Guía de mantenimiento para carreteras en afirmado*. Universidad del Cauca. Popayán, 1990.

_____. *Mecánica de pavimentos – Principios básicos*. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. ISBN 978-958-660-122-1, Tunja, 2008.

_____. *Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimento*. Guías de clase. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 2008.

_____. *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*. Guías de clase. Volumen 1 y 2. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 2008.

Huang, Yang H. *Pavement analysis and design*. University of Kentucky. Segunda edición. University of Kentucky Prentice Hall. New Jersey, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS –INVIAS–. *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá D.C., 2007.

_____. *Normas de ensayo para materiales de carreteras*. Bogotá D.C., 2007.

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

UNIVERSIDAD DEL CAUCA. *Investigación Nacional de Pavimentos de Colombia –INPACO–*. Programa DEPAV–Diseño Estructural de Pavimentos. Popayán, 1993.

Fecha de recepción: 21 de julio de 2007
Fecha de aprobación: 30 de mayo de 2008