

# Leyes de comportamiento de la deformación radial admisible de tracción en pavimentos flexibles

## Behavioral Laws on the Traction Admissible Radial's Deformation for the Flexible Pavements

Carlos Hernando Higuera Sandoval\*

### Resumen

Se muestran las diferentes leyes de comportamiento de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica de un modelo estructural de pavimento flexible, las cuales se encuentran en el estado del arte de la mecánica de pavimentos. La deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica se determina en función de las características y componentes de la mezcla asfáltica y del tránsito de diseño o del número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes que circularán por el carril de diseño durante el periodo de diseño. El trabajo realizado permite analizar el comportamiento de las diferentes expresiones para el cálculo de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica, que puede soportar una estructura de pavimento flexible y que es considerada como un criterio de diseño, con el objeto de que las estructuras de pavimento no presenten fatiga ni daños funcionales y estructurales. Como resultado del análisis se obtuvo la definición de las expresiones de cálculo que

### Abstract

It shows the different laws of behavior on the admissible radial deformation' traction on the base of the structural model's asphaltic layer of the flexible pavement, based upon the pavements mechanics' state of art. The traction admissible radial's deformation on the base of the asphaltic cover is functional to the characteristics and components of the asphaltic mixture and the traffic design or the repetitive accumulated number of equivalent axis, that will circulate on the designed road line during a giving period.

The work done allows to analyze the behaviour of the different distortion expressions in order to calculate the traction admissible radial's deformation in the asphalt layer's base, which can support a flexible pavement structure, and which is considered a design criterion, with the objective that pavement structures do not show fatigue neither functional and structural's damages.

As result of the analysis, it was obtained the

\* 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, Investigador del Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial – GRINFRAVIAL– Categoría B. Correo e.: carlos.higuera@uptc.edu.co.

presentan un comportamiento muy similar o una tendencia semejante. El aporte de este trabajo es de gran utilidad para los ingenieros viales, porque permite conocer el comportamiento estructural de un pavimento flexible, profundizar en los temas de la mecánica de pavimentos y obtener los parámetros para el diseño de estructuras de pavimentos que cumplan satisfactoriamente el criterio de diseño referente a la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica

**Palabras clave:** Deformación radial, Tracción, Fatiga, Pavimentos Flexibles, Mecánica de Pavimentos.

calculation expressions' definition, which present a very similar pattern or an alike tendency. This work is quite useful for road civil engineers, due that it allows to find the structural behaviour of a flexible pavement, to deepen into the pavement mechanic's issues and to obtain parameters for the pavemente structures' design that can satisfactory comply with the design criterion related to the traction admissible radial's deformation on the base of an asphaltic layer.

**Key words:** Radial Deformation, Traction, Fatigue, Flexible Pavements, Pavments mechanics.

## 1. Introducción

Los criterios de diseño racional de pavimentos flexibles más difundidos en nuestro medio permiten determinar los valores admisibles referentes a la fatiga, la deformación o ahuellamiento y la deflexión que puede soportar una estructura de pavimento flexible, para asegurar un buen comportamiento tanto funcional como estructural durante su periodo de servicio. Dentro de los criterios de diseño se contempla la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica de un modelo estructural de pavimento flexible; las expresiones de cálculo de la deformación radial admisible que existen en la literatura técnica de la mecánica de pavimentos son variadas y ajustadas a los sitios donde se generaron, por lo tanto su utilización requiere de análisis y conocimiento de ellas.

Hecha una revisión del estado del arte de las expresiones para determinar la deformación radial admisible de tracción de un modelo estructural se encontraron alrededor de siete expresiones, que se analizan en detalle en el presente artículo, para finalmente hacer algunas recomendaciones sobre su utilización en nuestro medio.

## 2. Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica, $\epsilon_{r adm}$

La deformación radial de tracción se presenta en la base de la capa asfáltica de una estructura de pavimento flexible debido a la acción de las cargas, generalmente, impuestas por el tránsito (ver figura 1).

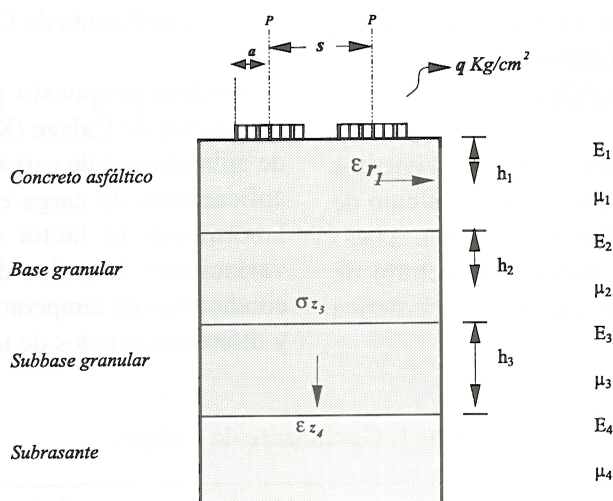


Figura 1. Modelo estructural.

La capa asfáltica presenta en la parte inferior tracción de las fibras y en la parte superior de la capa, compresión de las fibras [3, 5].

La magnitud de la deformación de tracción ( $\epsilon_r$ ) se obtiene mediante la modelación de la estructura y análisis de mecánica de pavimentos, para lo cual se debe tener los espesores ( $h_i$ ) y la caracterización de las diferentes capas del modelo estructural ( $E_i$  y  $\mu_i$ ), así como las características del sistema de carga ( $P$ ,  $a$ ,  $q$  y  $s$ ), y la determinación de su magnitud se realiza

utilizando fórmulas, ábacos o programas de cálculo, por ejemplo el programa DEPAV o BISAR; de esta manera se obtiene la deformación radial de tracción de servicio o actuante de un modelo estructural.

Como criterio de diseño se considera que la magnitud de la deformación radial de tracción en la base de la capa asfáltica actuante o de servicio debe ser menor que la magnitud de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica, con el fin de asegurar un buen comportamiento estructural y funcional de la estructura de pavimento.

La forma general de la ley de comportamiento de la deformación radial de tracción en la base de la capa asfáltica es la siguiente:

$$\text{Log } \epsilon_{z \text{ adm}} = A - B \text{ Log } N \quad (1)$$

$$\epsilon_{z \text{ adm}} = A N^{-B} \quad (2)$$

Donde:

$\epsilon_{radm}$ : Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica.

$N$ : Tránsito de diseño expresado como el número acumulado de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

$A, B$ : Constantes que se determinan a partir de ensayos de laboratorio.

### 3. Expresiones para el cálculo de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica

El estado del arte sobre mecánica de pavimentos permite encontrar varias expresiones de cálculo de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica de un modelo estructural de pavimento flexible [3]. Dichas expresiones y criterios se muestran a continuación:

### 3.1 Criterio de la Shell

La fórmula de la Shell es la siguiente:

$$\epsilon_{radm} = (0.856 V_b + 1.08) E^{-0.36} \left( \frac{N}{K} \right)^{-0.20} \quad (3)$$

Donde:

$\epsilon_{radm}$ : Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica

$V_b$ : Porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla.

$E$ : Módulo dinámico de la mezcla asfáltica en  $N/m^2$ .

$N$ : Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

$K$ : Coeficiente de Calage ( $k_1 \times k_2 \times k_3$ ).

El modelo propuesto por la Shell incorpora el coeficiente de Calage ( $K$ ), que relaciona el número de aplicaciones de carga de diseño y el número de aplicaciones de carga en un ensayo dinámico de laboratorio. El factor considera principalmente variaciones laterales de las cargas de tránsito, condiciones de temperatura de trabajo de la mezcla y diferentes estados de tensiones.

Cuadro 1. Coeficiente de Calage.

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

Fuente: Universidad del Cauca. Curso de maestría en vías terrestres. Popayán, 1990.

### 3.2 Criterio del Instituto del Asfalto [1, 5]

La fórmula del Instituto del Asfalto es:

$$N = 18.4 C \left( 6.167 \times 10^{-5} \epsilon_{r \text{ adm}}^{-3.291} E^{-0.854} \right) \quad (4)$$

Donde:

$\epsilon_{r \text{ adm}}$ : Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica.

$E$ : Módulo dinámico de la mezcla asfáltica en MPa.

$N$ : Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

$C$ : Función que depende del porcentaje del volumen de vacíos ( $V_a$ %) y del porcentaje del volumen de asfalto ( $V_b$ %) de la mezcla asfáltica compactada.

El parámetro  $C$  se determina de la siguiente manera:

$$C = 10^M \quad (5)$$

El parámetro  $M$  se determina de la siguiente manera:

$$M = 4.84 \left[ \frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69 \right] \quad (6)$$

### 3.3 Otros criterios para determinar la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica

En el cuadro 2 se presentan otras expresiones utilizadas por diversas instituciones para calcular la deformación radial admisible de tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica.

Cuadro 1. Leyes de comportamiento de la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante.

Autor	Ley de comportamiento
Fórmula de la Universidad de Nottingham	$\epsilon_{r \text{ adm}} = 3.48 \times 10^{-3} N^{-0.204}$
Fórmula de la CRR de Bélgica	$\epsilon_{r \text{ adm}} = 1.60 \times 10^{-3} N^{-0.21}$
Fórmula del Illinois DOT	$\epsilon_{r \text{ adm}} = 1.71 \times 10^{-2} N^{-0.333}$
Fórmula de la TRRL	$\epsilon_{r \text{ adm}} = 5.45 \times 10^{-3} N^{-0.231}$
Fórmula del CEDEX de España	$\epsilon_{r \text{ adm}} = 6.44 \times 10^{-3} N^{-0.2724}$

$\epsilon_{r \text{ adm}}$ : Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica.

$N$ : Número de ejes equivalentes acumulados en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Fuente: LILLI, Félix J. Curso sobre diseño racional de pavimentos. Universidad del Cauca. Popayán. 1987, y otros autores. Elaboración propia. 2007.

## 4. Análisis comparativo de las expresiones de cálculo

### 4.1 Valores de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica en función del tránsito equivalente de diseño

La deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica de un pavimento flexible se determinó con base en las expresiones de cálculo que se indican en el numeral dos, y sus valores se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica en función del tránsito,  $\epsilon_{r adm} \times 10^4$  strain

Criterio	Tránsito de diseño											
	Ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño $\times 10^6$											
	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	9.0	10.0	15.0	20.0
Shell, E = 1961 MPa	5.78	4.81	4.19	3.65	3.36	3.17	3.04	2.84	2.70	2.64	2.44	2.30
Shell E = 2941, MPa	4.99	4.16	3.62	3.15	2.91	2.74	2.62	2.45	2.33	2.28	2.11	1.99
Instituto del Asfalto, E = 1961 MPa	4.74	3.59	2.91	2.36	2.08	1.91	1.78	1.61	1.49	1.44	1.28	1.17
Instituto del Asfalto, E = 2941 MPa	4.27	3.23	2.61	2.12	1.87	1.72	1.60	1.45	1.34	1.30	1.15	1.05
Nottingham	2.89	2.39	2.08	1.80	1.66	1.57	1.50	1.40	1.33	1.30	1.20	1.13
CRR Bélgica	1.23	1.02	0.88	0.76	0.70	0.66	0.63	0.58	0.55	0.54	0.50	0.47
Illinois	2.94	2.16	1.72	1.36	1.19	1.08	1.01	0.90	0.83	0.80	0.70	0.63
TRRL	3.25	2.63	2.24	1.91	1.74	1.63	1.55	1.43	1.35	1.32	1.20	1.12
CEDEX	2.32	1.81	1.49	1.24	1.11	1.02	0.96	0.88	0.82	0.80	0.71	0.66

E = Módulo dinámico de la mezcla asfáltica.

En el cuadro 3 se presenta la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica para los criterios de la Shell y del Instituto del Asfalto, teniendo en cuenta los siguientes parámetros de una mezcla asfáltica típica:

Para el criterio Shell se tiene:

- Porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla,  $V_b = 10\%$
- Porcentaje en volumen de vacíos de la mezcla asfáltica,  $V_a = 4\%$
- Factor de Calage,  $K = 8.25$
- Módulo dinámico de la mezcla asfáltica,  $E = 20000 \text{ Kg/cm}^2 = 1961 \text{ MPa}$  y  $E = 30000 \text{ Kg/cm}^2 = 2941 \text{ MPa}$

Con los parámetros anteriores, típicos de mezclas asfálticas y utilizando la Ecuación 3, se obtiene en modelo de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica en función del tránsito de diseño. Dicho modelo para la Shell es el siguiente:

- Para un módulo dinámico de la mezcla asfáltica de  $20\,000 \text{ kg/cm}^2$ :

$$\epsilon_{r adm} = 0.006637 N^{-0.20} \quad (7)$$

- Para un módulo dinámico de la mezcla asfáltica de  $30\,000 \text{ kg/cm}^2$ :

$$\epsilon_{r adm} = 0.00573592 N^{-0.20} \quad (8)$$

Donde:

$\epsilon_{r adm}$ : Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica.

$N$ : Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Para el criterio del Instituto del Asfalto se tiene:

- Porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla,  $V_b = 10\%$

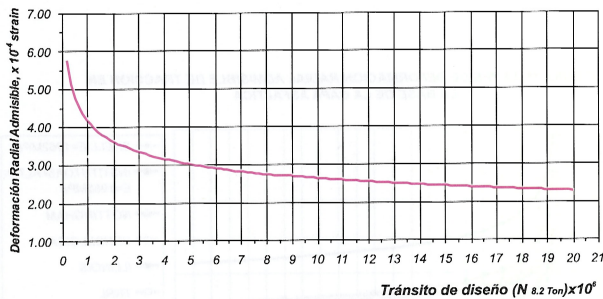
- Porcentaje en volumen de vacíos de la mezcla asfáltica,  $V_a = 4\%$
- Parámetro  $M = 0.117543$
- Parámetro  $C = 1.31082$
- Módulo dinámico de la mezcla asfáltica,  $E = 20000 \text{ kg/cm}^2 = 1961 \text{ MPa}$  y  $E = 30\,000 \text{ kg/cm}^2 = 2941 \text{ MPa}$

Con los parámetros anteriores, típicos de mezclas asfálticas, y utilizando (4) se obtiene un modelo de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica en función del tránsito de diseño. Dicho modelo para el criterio del Instituto del Asfalto es el siguiente:

- Para un módulo dinámico de la mezcla asfáltica de 1962 MPa:

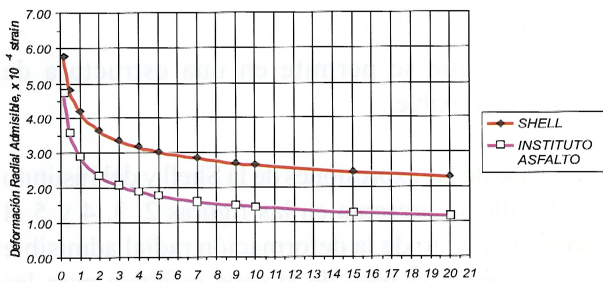
$$\epsilon_{r,adm} = 10^{\left[ \text{Log} \left( \frac{N}{0.0000023} \right) - 3.291 \right]} \quad (9)$$

FIGURA 2. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICA, SHELL,  $\epsilon_{r,adm} = 0.006637N^{0.20}$   
 $V_b = 10\%$ ,  $V_a = 4\%$ ,  $E = 20000 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $K = 8.25$



Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 4. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICAS, SHELL - INSTITUTO DEL ASFALTO  
 $V_b = 10\%$ ,  $V_a = 4\%$ ,  $M = 0.117543$ ,  $C = 1.31082$ ,  $E = 1961 \text{ MPa}$ ,  $K = 8.25$



Fuente: Elaboración propia - 2007

- Para un módulo dinámico de la mezcla asfáltica de 2941 MPa:

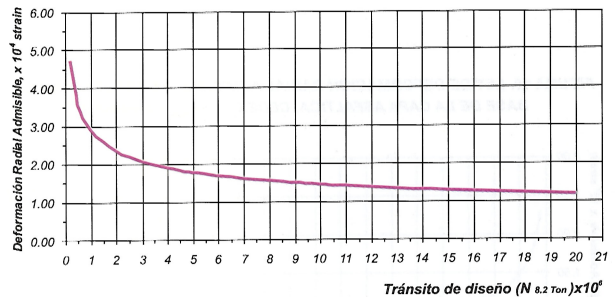
$$\epsilon_{r,adm} = 10^{\left[ \text{Log} \left( \frac{N}{0.00000162} \right) - 3.291 \right]} \quad (10)$$

Donde:

- $\epsilon_{r,adm}$ : Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica.
- $N$ : Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

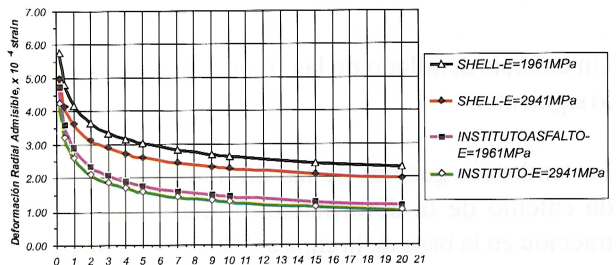
Para analizar el comportamiento de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica de un modelo estructural de pavimento flexible, con base en las diferentes expresiones de cálculo, se presenta su comportamiento grafico, tal como se aprecia en las figuras 1 a la 11.

FIGURA 3. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICA, INSTITUTO DEL ASFALTO  
 $V_b = 10\%$ ,  $V_a = 4\%$ ,  $M = 0.117543$ ,  $C = 1.31082$ ,  $E = 1961 \text{ MPa}$



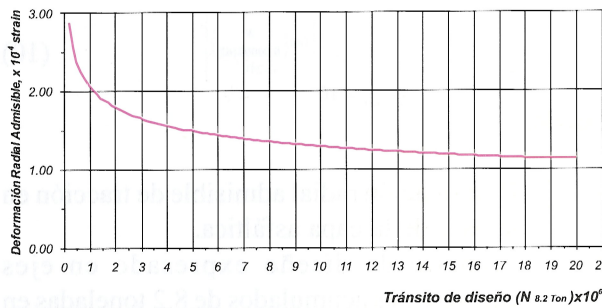
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 5. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICAS, SHELL - INSTITUTO DEL ASFALTO  
 $V_b = 10\%$ ,  $V_a = 4\%$ ,  $M = 0.117543$ ,  $C = 1.31082$ ,  $K = 8.25$



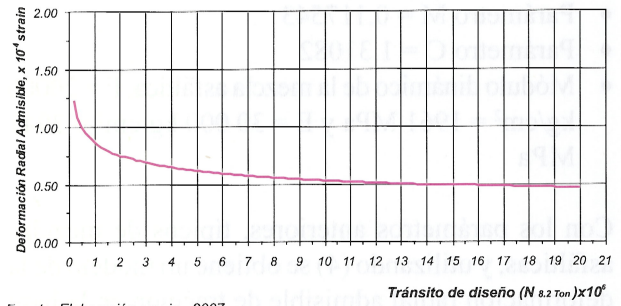
Fuente: Elaboración propia -

FIGURA 6. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICA, NOTTINGHAM,  $\epsilon_{r adm} = 0.00348N^{-0.204}$



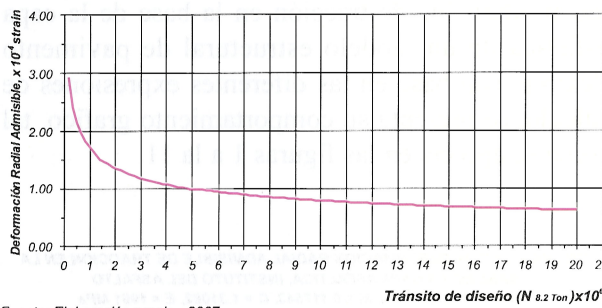
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 7. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICA, CRR DE BELGICA,  $\epsilon_{r adm} = 0.0016N^{-0.21}$



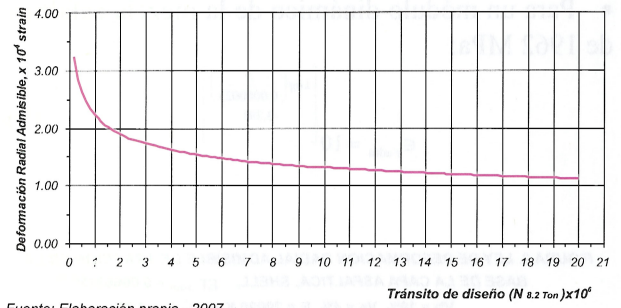
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 8. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICA, ILLINOIS,  $\epsilon_{r adm} = 0.0171N^{-0.333}$



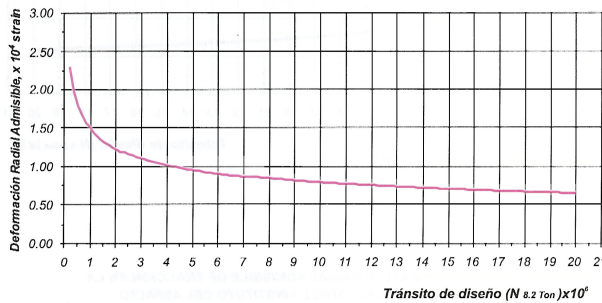
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 9. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BESE DE LA CAPA ASFALTICA, TRRL,  $\epsilon_{r adm} = 0.00545N^{-0.231}$



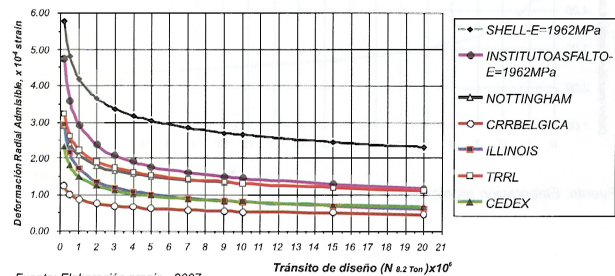
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 10. LEY DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICA, CEDEX,  $\epsilon_{r adm} = 0.00644N^{-0.2724}$



Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 11. LEYES DE DEFORMACION RADIAL ADMISIBLE DE TRACCION EN LA BASE DE LA CAPA ASFALTICA



Fuente: Elaboración propia - 2007

Un análisis detallado de las figuras permite destacar lo siguiente:

La tendencia general de las diferentes expresiones de cálculo de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica es decreciente, es decir, a mayor magnitud del tránsito de diseño menor es la magnitud de la deformación radial

admisible que se permite en una estructura de pavimento flexible.

En el caso de las expresiones de la Shell y del Instituto del Asfalto se presenta en las figuras 2, 3, 4 y 5 el comportamiento de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica para las dos mezclas típicas con módulos dinámicos de 20 000



kg/cm<sup>2</sup> (1961 MPa) y 30 000 kg/cm<sup>2</sup> (2941 MPa), y su comportamiento permite deducir lo siguiente:

- Los valores obtenidos de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica por las expresiones de la Shell son mayores que los obtenidos con las expresiones del Instituto del Asfalto (ver figura 4).
- La figura 5 muestra el efecto del módulo dinámico de la mezcla asfáltica en la deformación radial admisible de tracción, y se deduce que ante un mayor módulo dinámico de la mezcla asfáltica menor es la magnitud de la deformación radial admisible, siendo el criterio de la Shell más sensible que el del Instituto del Asfalto.

#### **4.2 Análisis comparativo de los criterios de cálculo de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica**

Realizando la comparación de los diferentes criterios utilizados para determinar la deformación radial admisible de tracción en la base de la carpeta asfáltica (ver figura 11) se destaca lo siguiente.

- Los criterios que arrojan los mayores valores de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica en función del tránsito de diseño son en su orden: Shell, Instituto del Asfalto, TRRL, Universidad de Nottingham, Illinois, CEDEX de España y la CRR de Bélgica.
- El mayor valor de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica lo arroja el criterio de la Shell, y el menor valor se obtiene por medio del criterio de la CRR de Bélgica.
- El comportamiento de la deformación radial admisible de tracción obtenido por medio de los criterios del Instituto del Asfalto, TRRL y la Universidad de Nottingham son muy similares, siendo el criterio del Instituto del Asfalto un poco mayor para transitos de diseño menores de  $5 \times 10^6$  ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
- El comportamiento de la deformación radial admisible de tracción obtenido por medio de los criterios de Illinois y del CEDEX de España son muy

similares.

- El criterio de la CRR de Bélgica es el más exigente o el que produce los menores valores de la deformación radial admisible de tracción que puede admitirse en una estructura de pavimento flexible.

## **5. Conclusiones**

Una vez realizado el análisis comparativo sobre el comportamiento y la magnitud de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica, que se obtiene por las diferentes expresiones de cálculo, se concluye lo siguiente:

- Los criterios de la Shell y del Instituto del asfalto tienen en cuenta en sus expresiones de cálculo de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica las características de las mezclas y del tránsito de diseño.
- Los criterios de la Universidad de Nottingham, CRR de Bélgica, Illinois, TRRL y CEDEX de España solamente tienen en cuenta, en la determinación de la deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica, el tránsito de diseño.
- Para valores del tránsito de diseño menores a  $2 \times 10^6$  ejes en el carril de diseño durante el periodo de diseño, las diferentes expresiones de cálculo son más sensibles en la determinación de la deformación radial admisible de tracción.
- Para valores del tránsito de diseño mayores a  $2 \times 10^6$  ejes en el carril de diseño durante el periodo de diseño, las diferentes expresiones de cálculo son menos sensibles en la determinación de la deformación radial admisible de tracción.
- De acuerdo con las expresiones de cálculo consideradas en el estudio y analizando su tendencia según la figura 11, se concluye que hay tres tendencias, a saber: la primera, de valores altos de la deformación radial admisible de tracción, demarcada por el método Shell; la segunda, de un valor intermedio de la deformación radial admisible de tracción, definida por los criterios del Instituto del Asfalto, TRRL y la Universidad de Nottingham, y la tercera, de un valor inferior, definida por los criterios de Illinois, CEDEX de España y la CRR de Bélgica.

- Un análisis minucioso de los métodos, y en especial de los criterios de la Shell y del Instituto del Asfalto, permite contemplar dentro de sus parámetros las características de la mezcla asfáltica, como su resistencia y composición, además del tránsito de diseño; lo anterior se considera muy importante ante los otros criterios de cálculo, puesto que las características de la mezcla definen el comportamiento a la tracción de una capa asfáltica y su fatiga.
- Los criterios de la Shell y del Instituto del Asfalto son los más utilizados en Colombia para determinar el valor admisible de la deformación radial de tracción de las capas asfálticas, y se tiene gran experiencia en su utilización.
- Como producto del análisis anterior, se recomienda para Colombia utilizar los criterios de la Shell y del Instituto del Asfalto, debido a la experiencia que se tiene sobre ellos en el país y por considerar los parámetros de las mezclas asfálticas en la determinación de la deformación radial admisible de tracción en la base de las capas asfálticas. Las expresiones de cálculo son:

Criterio de la Shell:

$$\epsilon_{r adm} = (0.856 V_b + 1.08) E^{-0.36} \left( \frac{N}{K} \right)^{-0.20}$$

Donde:

$\epsilon_{r adm}$ : Deformación radial admisible de tracción de la capa asfáltica.

$V_b$ : Porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla.

$E$ : Módulo dinámico de la mezcla asfáltica en N/m<sup>2</sup>.

$N$ : Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

$K$ : Coeficiente de Calage ( $k_1 \times k_2 \times k_3$ ).

Criterio del Instituto del Asfalto:

$$N = 18.4 C \left( 6.167 \times 10^{-5} \epsilon_{r adm}^{-3.291} E^{-0.854} \right)$$

Donde:

$\epsilon_{r adm}$ : Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica.

$E$ : Módulo dinámico de la mezcla asfáltica en MPa.

$N$ : Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

$C$ : Función que depende del porcentaje del volumen de vacíos ( $V_a$ %) y del porcentaje del volumen de asfalto ( $V_b$ %) de la mezcla asfáltica compactada.

El parámetro  $C$  se determina de la siguiente manera:

$$C = 10^M$$

El parámetro  $M$  se determina de la siguiente manera:

$$M = 4.84 \left[ \frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69 \right]$$

- Finalmente, como una recomendación producto del presente artículo, se pretende que las diferentes universidades, gremios, entidades y la ingeniería colombiana adelanten las investigaciones respectivas con el fin de contar con expresiones de cálculo ajustadas y derivadas para las condiciones propias del país; por su puesto, es un reto que implica tiempo y recursos, pero que es urgente iniciar en bien de nuestra infraestructura vial.

### 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, y 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] Huang, Yang H., *Pavement Analysis and Design*, New Jersey: Editorial Pearson Prentice Hall. Segunda edición, 2004.
- [2] Lilli, Félix J., *Curso sobre diseño racional de pavimentos*. Popayán: Universidad del Cauca, 1987.
- [3] Higuera Sandoval, Carlos Hernando, *Mecánica de pavimentos*, Guías de clase, Tunja: Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2007.
- [4] Higuera Sandoval, Carlos Hernando, *Comportamiento de la deflexión en función de los parámetros de diseño de una estructura de pavimento*. Trabajo de investigación. Tunja: Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2006.
- [5] Higuera Sandoval, Carlos Hernando, *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimento para carreteras*, Guías de clase, Tunja: Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2006.

Elaborado por el Departamento de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Central del Ecuador, QUITO, 2007.  
Elaborado por el Departamento de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Central del Ecuador, QUITO, 2007.  
Elaborado por el Departamento de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Central del Ecuador, QUITO, 2007.  
Elaborado por el Departamento de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Central del Ecuador, QUITO, 2007.  
Elaborado por el Departamento de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Central del Ecuador, QUITO, 2007.

y acciones en la elaboración del proyecto de los proyectos de investigación.

#### Referencias

- [1] Huang Yang H. *Research Report*. Beijing: National Research Center, 2004.
- [2] Li J, Fein J. *Case study*. Beijing: Research Report, 2004.
- [3] Higgins Robert. *Case study*. Beijing: Research Report, 2004.

Fecha de recepción: 24 de febrero de 2007  
Fecha de aprobación: 10 de agosto de 2007