

# Leyes de comportamiento de la deformación vertical admisible de compresión en pavimentos flexibles

## Compression Admissible Vertical Deformation Behavior's Laws for Flexible Pavements

Carlos Hernando Higuera Sandoval\*

### Resumen

Se exponen las diferentes leyes de comportamiento de la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante de un modelo estructural de pavimento flexible, que aparecen en el estado del arte de la mecánica de pavimentos. La deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante que puede soportar un modelo estructural de pavimento flexible se determina en función del tránsito de diseño o del número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 toneladas 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 vertical admisible de compresión sobre la subrasante 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 deformación o ahuellamiento y, por consiguiente, la aparición de daños funcionales y estructurales. Como resultado

### Abstract

It is presented the different behaviour laws on the compression admissible vertical's deformation on the sub-levelling line of a flexible pavement's structural model, that are in the pavements mechanics' state of art. The compression admissible vertical's deformation on the sublevelling line, that can support a flexible pavement's structural model, is determined in function of the designed transit of the accumulated repetitions of 8.2 tones equivalent axis' number, that will circulate on the designed lane during the designed period. The work carried out, allows to examine the behaviour of the different expressions to calculate the compression admissible' vertical deformation on a sub-levelling line that can support a flexible pavement's structure and which is considered as a design criterion, with the objective that the pavement structures do not present deformations or bulge, and therefore may appear functional and structural damages. As a result of the analysis the calculation expression's definitions that show a very similar

\* Ingeniero en Transportes y Vías, Especialista en Vías Terrestres, Especialista en Carreteras, Especialista en Transportes Terrestres, Magister 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.

del análisis se obtuvo la definición de las expresiones de cálculo que 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 vertical de compresión sobre la subrasante.

**Palabras clave:** Deformación vertical, Ahuellamiento, Diseño de pavimentos flexibles, Mecánica de pavimentos.

pattern or an alike tendency was reached. This work is useful for the road civil engineers, because it allows to know the structural behaviour of a flexible pavement, it helps to deepen into the subjects of pavement mechanics and to achieve the necessary parameters to satisfactory comply with the design criterion related to the compression vertical's deformation on the sublevelling line.

**Key words:** Vertical Deformation, Bulge, Flexible Pavements' Design, Pavement 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 vertical admisible de compresión sobre la subrasante del modelo estructural de pavimento flexible; las expresiones de cálculo de la deformación vertical 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 vertical admisible de compresión de un modelo estructural, se encontraron alrededor de diez expresiones, que se analizan en detalle en el presente artículo, para finalmente hacer algunas recomendaciones sobre su utilización en nuestro medio.

## 2. Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante, $\epsilon_{z adm}$

La forma general de la ley de comportamiento de la deformación vertical de compresión sobre la subrasante es la siguiente:

$$\log \epsilon_{z adm} = C - D \log N \quad (1)$$

$$\epsilon_{z adm} = C N^{-D} \quad (2)$$

Donde:

$\epsilon_{z adm}$ : Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante.

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

C, D: Constantes que se determinan a partir de ensayos de laboratorio.

## 3. Expresiones para el cálculo de la deformación admisible de compresión sobre la subrasante

El estado del arte sobre mecánica de pavimentos permite encontrar varias expresiones de cálculo de la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante de un modelo estructural de pavimento flexible [1, 2]. Dichas expresiones fueron deducidas de manera experimental por diferentes autores, tal como se muestran en el cuadro 1.

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	$\epsilon_{z adm} = 2.16 \times 10^{-2} N^{-0.28}$
Fórmula de la Shell para un NC = 50%	$\epsilon_{z adm} = 2.80 \times 10^{-2} N^{-0.25}$
Fórmula de la Shell para un NC = 85%	$\epsilon_{z adm} = 2.10 \times 10^{-2} N^{-0.25}$
Fórmula de la Shell para un NC = 95%	$\epsilon_{z adm} = 1.80 \times 10^{-2} N^{-0.25}$
Fórmula de la CRR de Bélgica	$\epsilon_{z adm} = 1.10 \times 10^{-2} N^{-0.23}$
Fórmula de la Chevron	$\epsilon_{z adm} = 1.05 \times 10^{-2} N^{-0.223}$
Fórmula de Dormon y Metcalf	$\epsilon_{z adm} = 1.16 \times 10^{-2} N^{-0.21}$
Fórmula del Instituto del Asfalto	$\epsilon_{z adm} = 1.05 \times 10^{-2} N^{-0.2233}$
Fórmula de la TRRL para un NC = 85%	$\epsilon_{z adm} = 1.496 \times 10^{-2} N^{-0.253}$
Fórmula del LCPC de Francia	$\epsilon_{z adm} = 2.10 \times 10^{-2} N^{-0.24}$

$\epsilon_{z adm}$ : Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante.

NC: Nivel de confianza

N: Número de ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas 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 vertical admisible de compresión sobre la subrasante en función del tránsito equivalente de diseño

La deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante de un pavimento flexible se determinó con base en las expresiones de cálculo que se indican en el cuadro 1, y sus valores se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante en función del tránsito,  $\epsilon_{z adm} \times 10^4$  strain

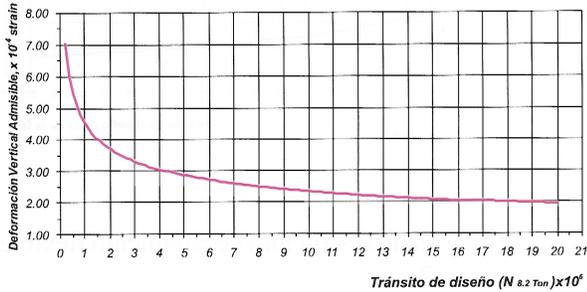
Criterio	Tránsito de diseño											
	Ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño x 10 <sup>6</sup>											
	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	9.0	10.0	15.0	20.0
Universidad de Nottingham	7.08	5.48	4.51	3.72	3.32	3.06	2.88	2.62	2.44	2.37	2.11	1.95
SHELL, NC= 50%	13.24	10.53	8.85	7.45	6.73	6.26	5.92	5.44	5.11	4.98	4.50	4.19
SHELL, NC= 85%	9.93	7.90	6.64	5.58	5.05	4.70	4.44	4.08	3.83	3.73	3.37	3.14
SHELL, NC= 95%	8.51	6.77	5.69	4.79	4.33	4.02	3.81	3.50	3.29	3.20	2.89	2.69
CRR de Bélgica	6.64	5.38	4.59	3.91	3.56	3.33	3.17	2.93	2.77	2.70	2.46	2.30
Chevron	6.90	5.63	4.82	4.13	3.77	3.54	3.37	3.12	2.95	2.89	2.64	2.47
Dormon y Metcalf	8.94	7.37	6.37	5.51	5.06	4.76	4.55	4.24	4.02	3.93	3.61	3.40
Instituto del Asfalto	6.88	5.61	4.80	4.11	3.76	3.52	3.35	3.11	2.94	2.87	2.62	2.46
TRRL, NC = 85%	6.82	5.41	4.54	3.81	3.44	3.2	3.02	2.77	2.60	2.53	2.29	2.13
LCPC Francia	11.22	9.00	7.62	6.46	5.86	5.47	5.18	4.78	4.50	4.39	3.98	3.72

NC = Nivel de confianza.

Para analizar el comportamiento de la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante de un modelo estructural de pavimento flexible, con

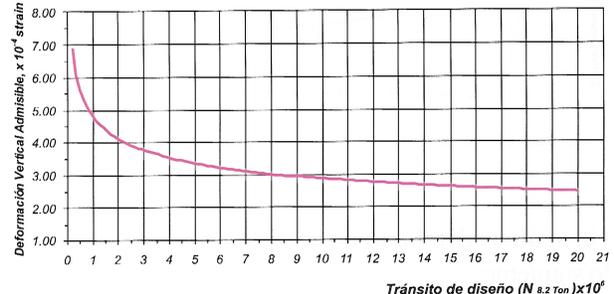
base en las diferentes expresiones de cálculo, se presenta su comportamiento gráfico, tal como se aprecia en las figuras 1 a la 9.

**FIGURA 1. LEY DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE, UNIVERSIDAD DE NOTTINGHAM,  $\epsilon_{zadm} = 0.0216N^{-0.28}$**



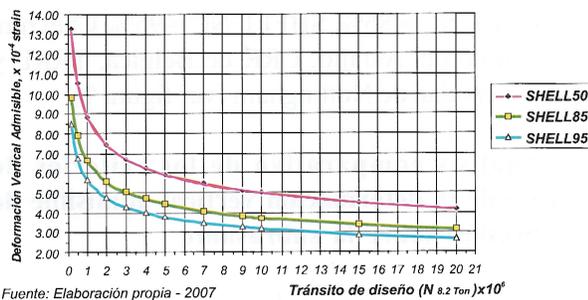
Fuente: Elaboración propia - 2007

**FIGURA 4. LEY DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE, CHEVRON,  $\epsilon_{zadm} = 0.0105N^{-0.223}$**



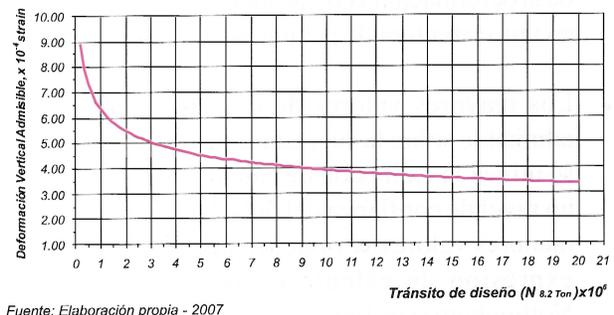
Fuente: Elaboración propia - 2007

**FIGURA 2. LEY DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE, SHELL: NC = 50%  $\epsilon_{zadm} = 0.028N^{-0.25}$   
NC = 85%  $\epsilon_{zadm} = 0.021N^{-0.25}$ , NC = 95%  $\epsilon_{zadm} = 0.018N^{-0.25}$**



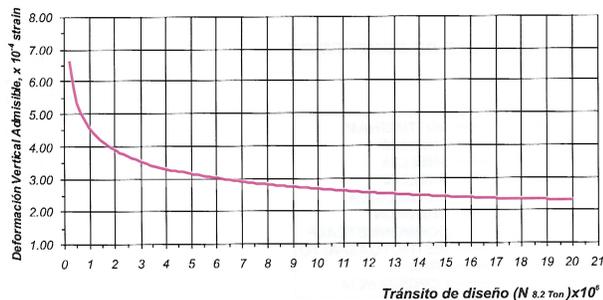
Fuente: Elaboración propia - 2007

**FIGURA 5. LEY DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE, DORMON Y METCALF,  $\epsilon_{zadm} = 0.0116N^{-0.21}$**



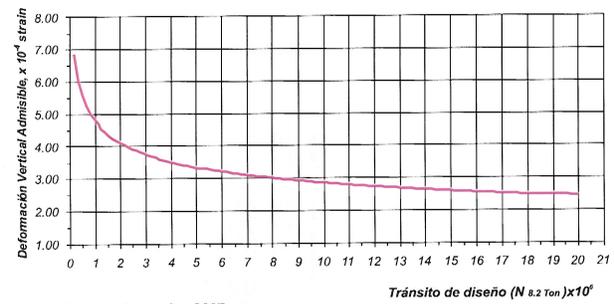
Fuente: Elaboración propia - 2007

**FIGURA 3. LEY DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE, CRR DE BELGICA,  $\epsilon_{zadm} = 0.0111N^{-0.23}$**



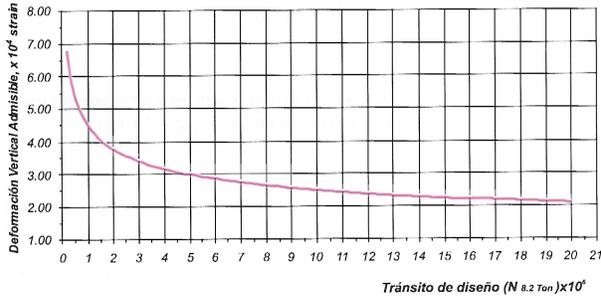
Fuente: Elaboración propia - 2007

**FIGURA 6. LEY DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE, INSTITUTO DEL ASFALTO,  $\epsilon_{zadm} = 0.0105N^{-0.2233}$**



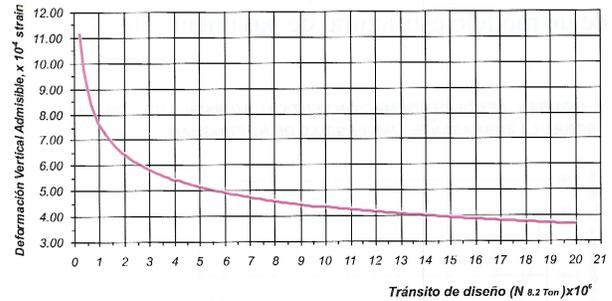
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 7. LEY DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE, TRRL,  $\epsilon_{Zadm} = 0.01496N^{-0.253}$



Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 8. LEY DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE, LCPC DE FRANCIA,  $\epsilon_{Zadm} = 0.021N^{-0.24}$



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 vertical admisible sobre la subrasante es decreciente, es decir, a mayor magnitud del tránsito de diseño menor es la magnitud de la deformación vertical admisible que se permite en una estructura de pavimento flexible.
- Los mayores valores de deformación vertical admisible sobre la subrasante se obtienen cuando se utiliza la expresión de cálculo de la Shell para un nivel de confianza del 50% (ver figura 2) y los menores valores se obtienen cuando se utiliza la expresión de cálculo de la Universidad de Nottingham (ver figura 1).
- Para las fórmulas de la Shell se presenta que a mayor nivel de confianza menor es la deformación vertical admisible de compresión sobre la

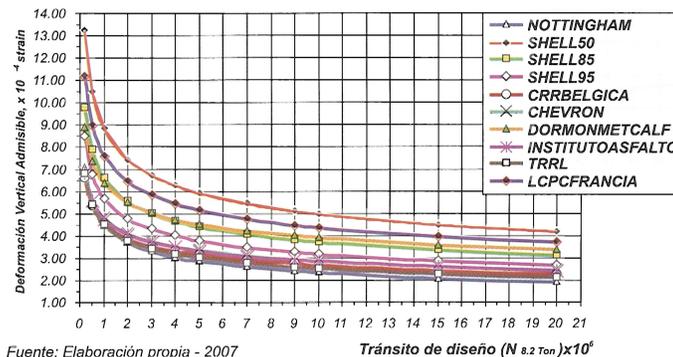
subrasante en una estructura de pavimento flexible (ver figura 2).

- Para las diferentes magnitudes del tránsito de diseño, la deformación vertical admisible sobre la subrasante decrece según se utilicen las siguientes expresiones de cálculo en su orden: SHELL NC = 50%, LCPC de Francia, Dormon - Metcalf, SHELL NC = 85%, SHELL NC = 95%, Chevron, Instituto del Asfalto, CRR de Bélgica, TRRL y Universidad de Nottingham (ver figura 9).

#### 4.2 Análisis comparativo de los criterios de cálculo de la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante

Un análisis comparativo de las expresiones de cálculo de los criterios de: Universidad de Nottingham, Shell, CRR de Bélgica, Chevron, Dormon y Metcalf, Instituto del Asfalto, TRRL y el LCPC de Francia se presenta en la figura 9, y de ella podemos destacar lo siguiente:

FIGURA 9. LEYES DE DEFORMACION VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESION SOBRE LA SUBRASANTE,



Fuente: Elaboración propia - 2007

Tránsito de diseño (N 8.2 Ton) x 10<sup>6</sup>

- Para un tránsito de diseño menor a  $4 \times 10^6$  ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño, la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante es más sensible (ver figura 9).
- Para un tránsito de diseño mayor a  $4 \times 10^6$  ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante es menos sensible (ver figura 9).
- Lo anterior permite afirmar que las estructuras de pavimento flexibles admiten una mayor magnitud de la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante cuando las intensidades de las cargas del tránsito son bajas.
- Los valores medios de las diferentes expresiones de cálculo de la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante las representa el modelo de cálculo de la Shell para un nivel de confianza entre el 85% y 95%.

## Conclusiones

Una vez realizado el análisis comparativo sobre el comportamiento y la magnitud de la deformación vertical admisible sobre la subrasante, que se obtiene por las diferentes expresiones de cálculo, se concluye lo siguiente:

- El criterio de la SHELL para un nivel de confianza de 85% y 95% es el más difundido en Colombia, debido a que representa valores medios, tal como se aprecia en la figura 9, y sus expresiones de cálculo son las siguientes:

Para un nivel de confianza del 85%:

$$\epsilon_{z \text{ adm}} = 2.10 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

Para un nivel de confianza del 95%:

$$\epsilon_{z \text{ adm}} = 1.80 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

Donde:

$\epsilon_{z \text{ adm}}$ : Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante.

N: Número acumulado de ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

- En el diseño de una estructura de pavimento flexible la deformación vertical de compresión sobre la subrasante, de servicio o actuante, debe ser menor que la deflexión admisible, con el fin de asegurar un buen comportamiento funcional y estructural del pavimento [3, 4, 5].
- Estructuras de pavimentos con altas deformaciones verticales de compresión sobre la subrasante, de servicio o actuantes, se deforman o ahueflan rápidamente y demuestran debilidad o deficiencia estructural del pavimento.

## 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, 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.

Fecha de recepción: 20 de febrero de 2007  
Fecha de aprobación: 14 de agosto de 2007