

Leyes de comportamiento de la deflexión admisible en pavimentos flexibles

Admissible Deflexion Behaviour's Laws for Flexible Pavements

Carlos Hernando Higuera Sandoval*

Resumen

Se exponen las diferentes leyes de comportamiento de la deflexión admisible de un modelo estructural de pavimento flexible, que aparecen en el estado del arte de la mecánica de pavimentos; la deflexión admisible 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 deflexión admisible que debe 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 deflexiones exageradas que las conduzcan rápidamente a la fatiga y, por consiguiente, a la aparición de daños funcionales y estructurales. Como resultado 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

Abstract

A presentation of the different behavioural laws about the admissible deflexion of a flexible pavement structural's model, that are in the pavement mechanics' state of art. The admissible deflexion that can support a flexible pavement structural's model is determined in function of the designed transit or the number of accumulated repetitions of equivalent 8.2 tonnes's axis, that circulate on the designed track, during a chosen period.

The work carried out allows to analyze the behaviour of the different deflexion's expressions required to calculate the admissible ones, to be able to support a flexible pavement structure, considered as a design criterion, with the aim that the pavement structures do not show exaggerated deflexions that may induce a quick fatigue on them and thereby give way to functional and structural damages.

As the analysis result, there was achieved a calculated expressions' definition, that show a very similar pattern or an alike tendency. This work contribution is very useful for road civil engineers, due that allows

* 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.

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 deflexión, teniendo en cuenta las características de las cargas impuestas por el tránsito.

Palabras clave: Deflexión, Diseño de Pavimentos Flexibles, Mecánica de pavimentos.

to know the structural behaviour of a flexible pavement, and to deepen into the subjects of pavements mechanics in order to obtain parameters for the pavement structures design, that can satisfactory comply with the design criterion related to deflexion, taking into account the loads characteristics imposed by the transit.

Key Words: Deflexion, Flexible Pavement 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 deflexión admisible del modelo estructural de pavimento flexible, y las expresiones de cálculo de la deflexión 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 deflexión admisible de un modelo estructural, se encontraron alrededor de nueve expresiones, que se analizan en detalle en el presente artículo, y finalmente se hacen algunas recomendaciones sobre su utilización en nuestro medio.

2. Concepto de deflexión

La deflexión de un pavimento se define como el valor que representa la respuesta estructural ante la aplicación de una carga vertical externa. También se define como el desplazamiento vertical del paquete estructural de un pavimento ante la aplicación de una carga; generalmente la carga es producida por el tránsito vehicular. Cuando se aplica una carga en la superficie no solo se desplaza el punto bajo la aplicación de la carga, produciendo una deflexión máxima, sino que también se desplaza una zona

alrededor del eje de aplicación de la carga que se denomina cuenco de deflexión [1].

La deflexión permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que, en un modelo estructural, si la deflexión es alta la capacidad estructural del modelo de pavimento es débil o deficiente, y, lo contrario, si la deflexión es baja quiere decir que el modelo estructural del pavimento tiene buena capacidad estructural.

3. Expresiones para el cálculo de la deflexión admisible

La forma general de la ley de comportamiento de la deflexión admisible es la siguiente:

$$\log \Delta_{z \text{ adm}} = E - F \log N \quad (1)$$

$$\Delta_{z \text{ adm}} = E N^{-F} \quad (2)$$

Donde:

$\Delta_{z \text{ adm}}$: Deflexión admisible del modelo estructural de pavimento flexible.

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

E, F : Constantes que se determinan a partir de ensayos de laboratorio.

El estado del arte sobre mecánica de pavimentos permite encontrar varias expresiones de cálculo de la deflexión admisible de un modelo estructural de pavimento flexible [2, 3]. Dichas expresiones fueron deducidas de manera experimental por diferentes autores, tal como se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Leyes de comportamiento de deflexión admisible de un modelo estructural de pavimento flexible.

Autor	Ley de comportamiento de la deflexión, milímetros
Criterio del Instituto del Asfalto	$\Delta_{z adm} = 25.64 N^{-0.2383}$
Criterio Checoslovaco	$\Delta_{z adm} = 8.035 N^{-0.16}$
Criterio de Yang H. Huang	$\Delta_{z adm} = 26.32202 N^{-0.2438}$
Criterio de la RTAC de Canadá	$\Delta_{z adm} = 65.024 N^{-0.30103}$
Criterio de Ivanov	$\Delta_{z adm} = 5.248 N^{-0.12}$
Criterio de Ruiz	$\Delta_{z adm} = 24.763 N^{-0.2523}$
Criterio de la AASHTO Road Test (Pt = 2.5)	$\Delta_{z adm} = 63.735 N^{-0.3077}$
Criterio de la CGRA de Canadá	$\Delta_{z adm} = 52.275 N^{-0.237}$
Criterio Belga	$\Delta_{z adm} = 242 N^{-0.334}$

$\Delta z adm$: Deflexión vertical admisible, mm.

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

Pt: Índice de servicialidad final.

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 deflexión en función del tránsito equivalente de diseño

La deflexión admisible 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. Deflexión admisible en función del tránsito $\Delta z adm$, en milímetros.

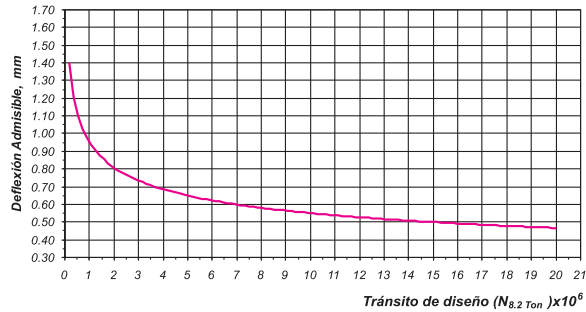
Criterio	Tránsito de diseño											
	Ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño x 10 ⁶											
	02	05	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	9.0	10.0	15.0	20.0
Instituto del Asfalto	1.399	1.124	0.953	0.808	0.734	0.685	0.650	0.599	0.565	0.551	0.499	0.467
Checoslovaco	1.140	0.984	0.881	0.789	0.739	0.647	0.681	0.645	0.620	0.610	0.571	0.546
Yang H. Huang	1.343	1.074	0.907	0.766	0.694	0.647	0.613	0.564	0.531	0.517	0.469	0.437
RTAC de Canadá	1.649	1.252	1.016	0.825	0.730	0.669	0.626	0.566	0.524	0.508	0.450	0.412
Ivanov	1.213	1.087	1.000	0.902	0.877	0.847	0.824	0.792	0.768	0.759	0.722	0.698
Ruiz	1.139	0.904	0.759	0.637	0.575	0.535	0.505	0.464	0.436	0.424	0.383	0.356
AASHTO	1.490	1.124	0.908	0.734	0.648	0.593	0.553	0.499	0.462	0.447	0.395	0.361
CGRA de Canadá	2.897	2.332	1.978	1.679	1.525	1.424	1.351	1.247	1.175	1.146	1.041	0.973
Belga	4.105	3.022	2.398	1.902	1.661	1.509	1.401	1.252	1.151	1.111	0.971	0.882

Fuente: Elaboración propia con base en las expresiones de cálculo del Cuadro 1. 2007

Para analizar el comportamiento de la deflexión admisible de un modelo estructural de pavimento flexible, con base en las diferentes expresiones de

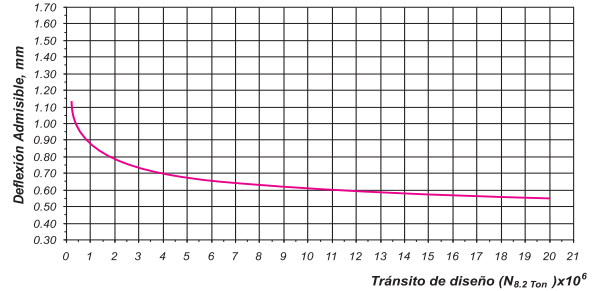
cálculo, se presenta su comportamiento grafico, tal como se aprecia en las figuras 1 a 9.

FIGURA 1. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO, $\Delta z_{adm} = 25.64N^{-0.2383}$



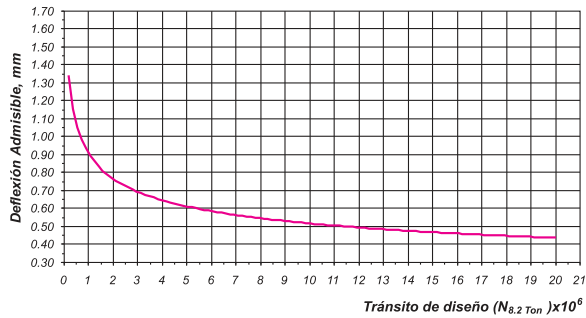
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 2. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO CHECOSLOVACO, $\Delta z_{adm} = 8.035N^{-0.16}$



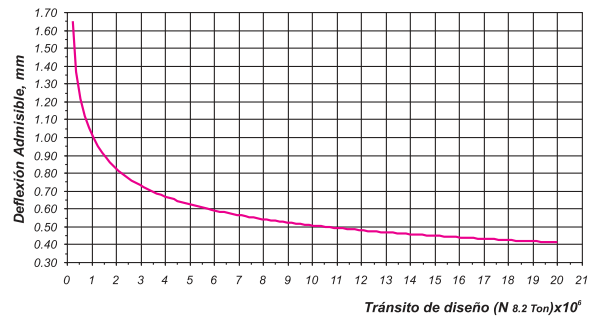
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 3. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO DE YANG H HUANG, $\Delta z_{adm} = 26.32202N^{-0.2438}$



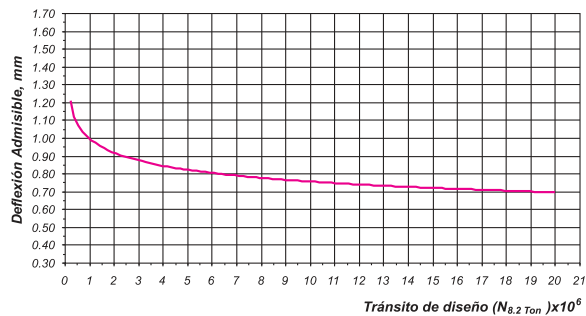
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 4. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO DE LA RTAC DE CANADA, $\Delta z_{adm} = 65.024N^{-0.30103}$



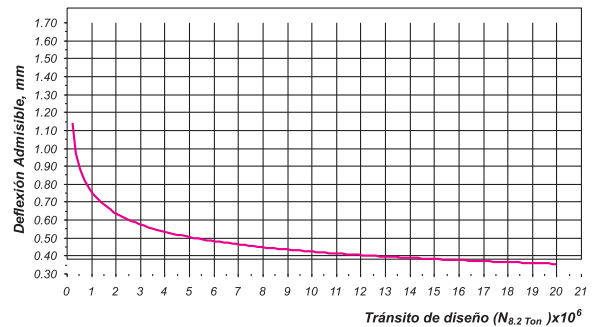
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 5. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO DE IVANOV, $\Delta z_{adm} = 5.284N^{-0.12}$



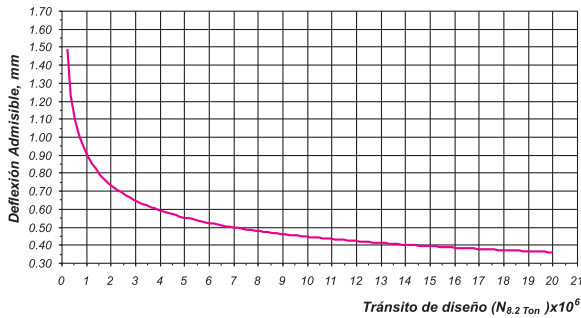
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 6. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO DE RUIZ, $\Delta z_{adm} = 24.763N^{-0.2523}$



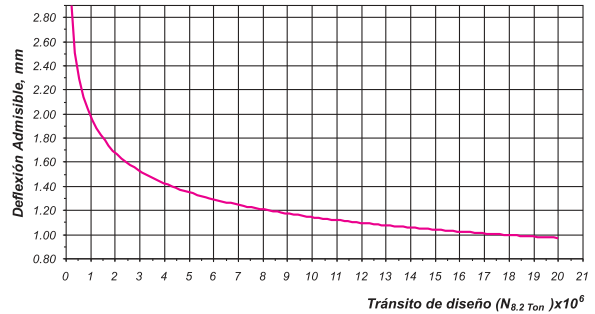
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 7. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO DE LA AASHTO, $\Delta z_{adm} = 63.735N^{-0.3077}$



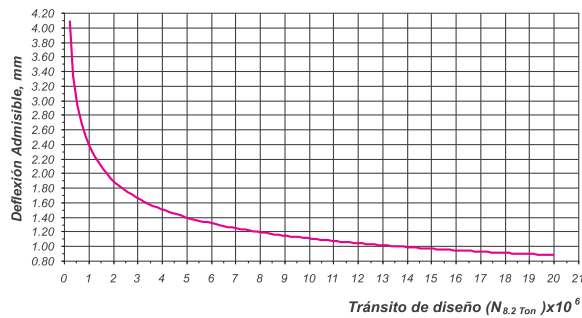
Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 8. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO DE LA CGRA DE CANADA, $\Delta z_{adm} = 52.275N^{-0.237}$



Fuente: Elaboración propia - 2007

FIGURA 9. LEY DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN
CRITERIO BELGA, $\Delta z_{adm} = 242N^{-0.334}$



Fuente: Elaboración propia - 2007

Las expresiones de cálculo de los criterios de: Instituto del Asfalto, Checoslovaco, Huang, RTAC de Canadá, Ivanoc, Ruiz y AASHTO tienen un comportamiento similar dentro de un rango de valores de deflexión entre 1.139 mm y 1.649 mm para un tránsito equivalente de 0.2×10^6 ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño y entre 0.361 mm y 0.698 mm para un tránsito equivalente de 20.0×10^6 ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Las expresiones de cálculo de los criterios de: CGRA de Canadá y el criterio Belga presentan valores muy alejados de los anteriores criterios, por lo tanto no se consideran en la comparación integral de los criterios de deflexión admisible que se presenta en el numeral siguiente.

4.2 Análisis comparativo de los criterios de cálculo de la deflexión admisible

Un análisis comparativo de las expresiones de cálculo de los criterios de: Instituto del Asfalto, Checoslovaco, Huang, RTAC de Canadá, Ivanoc, Ruiz y AASHTO se presenta en la figura 10; de ella podemos destacar lo siguiente:

- La tendencia de la ley de comportamiento es descendente, es decir, a mayor tránsito de diseño, expresado en ejes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño, un modelo estructural admite menor deflexión admisible.
- Los valores más altos de deflexión admisible los presentan el criterio de Ivanov, para valores de tránsito equivalente mayores de 2×10^6 ejes de 8.2

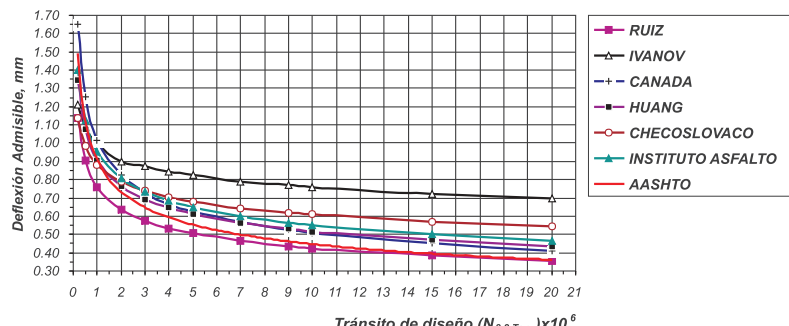
toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño, y el criterio de Canadá, para valores menores de 2×10^6 ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

- Los valores más bajos de deflexión admisible los presenta el criterio de Ruiz.
- Los criterios de Canadá, Huang, Checoslovaco, Instituto del Asfalto y AASHTO presentan valores semejantes.
- Los criterios considerados para determinar la magnitud de la deflexión admisible son muy sensibles para valores del tránsito de diseño

menores a 5.0×10^6 ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

- Los criterios considerados para determinar la magnitud de la deflexión admisible son poco sensibles para valores del tránsito de diseño mayores a 5.0×10^6 ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
- Excluyendo el modelo de Ivanov, el modelo de Yang H. Huang representa los valores medios de los modelos o criterios de la deflexión admisible, los cuales se presentan comparativamente en la figura 10.

FIGURA 10. LEYES DE COMPORTAMIENTO DE LA DEFLEXIÓN



Fuente: Elaboración propia - 2007

5. Conclusiones

Del análisis realizado se tienen las siguientes conclusiones:

- El criterio de Yang H. Huang es el más conveniente para calcular la deflexión admisible de un modelo estructural de pavimento flexible, debido a que representa valores medios, tal como se aprecia en la figura 10, y su expresión de cálculo es la siguiente:

$$\Delta_{z \text{ adm}} = 26.32202 N^{-0.2438}$$

Donde:

$\Delta_{z \text{ adm}}$: Deflexión vertical admisible, mm.

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

- El criterio de Huang es el más adecuado para su utilización en nuestro medio, debido a la experiencia de varios diseñadores de estructuras de pavimentos flexibles en Colombia.
- En el diseño de una estructura de pavimento flexible la deflexión de servicio o actuante debe ser menor que la deflexión admisible, con el fin de asegurar un buen comportamiento funcional y estructural del pavimento [4, 5, 6].
- Estructuras de pavimentos con altas deflexiones de servicio o actuantes se fatigan rápidamente y demuestran debilidad 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, 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] Salgado Torres, Mauricio y otros, Posibles factores que inciden en el valor de las mediciones de deflexión de un pavimento, Popayán, 2003.
- [2] Huang, Yang H., Pavement Analysis and Design, New Jersey: Editorial Pearson Prentice Hall. Segunda edición, 2004.
- [3] Lilli, Félix J., Curso sobre diseño racional de pavimentos, Popayán: Universidad del Cauca, 1987.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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: 24 de agosto de 2006
Fecha de aprobación: 10 de noviembre de 2006