

BOLETÍN TÉCNICO

PITRA

PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA
DEL TRANSPORTE

Vol 2. N° 21. Setiembre 2011



Fatiga en bases estabilizadas

Ing. Edgar Herrera

En lo que respecta a la falla por fatiga de los materiales cementados, la teoría establece que, de cumplirse que la relación entre el esfuerzo a la tensión en la fibra inferior de la capa estabilizada y el esfuerzo de la ruptura por flexotracción del material, se encuentre entre 0.5 y 0.6, la capa puede soportar infinito número de pasadas de la carga que da origen a la tensión en la fibra inferior.

Lo anterior es el resultado de la evaluación experimental en forma directa de la fatiga, en probetas de 10 x 10 x 40cm, con carga en los tercios medios y realizada por diferentes agencias o institutos investigadores en el mundo. Además, esta evaluación

ha dado como resultado leyes de fatiga que se aplican para cualquier relación de esfuerzos iguales o menores que 0.5 (en algunos casos, inclusive igual o menor que 0.9 - 1.0). De tal manera que, no porque en una base estabilizado no se cumpla con que la relación de esfuerzos σ_c/σ_r sea igual o menor que 0.5, la base no sirve o no cumple y debe evaluarse cuánto de la fatiga se consume con el tránsito previsto, o, lo que es lo mismo, la cantidad de ejes equivalentes que pueden producir la fatiga de los materiales cementados.

Las vigas se prepara conforme la Norma ASTM D 1632, la cual describe el procedimiento para elaborar especímenes prismáticos de cualquier

Comité editorial del boletín



2011

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.
Coordinador General PITRA, LanammeUCR

Licda. Irene Matamoros Kikut
Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica, PITRA

Daniela Alpizar Gutiérrez
Diseñador Gráfico. Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica,
PITRA

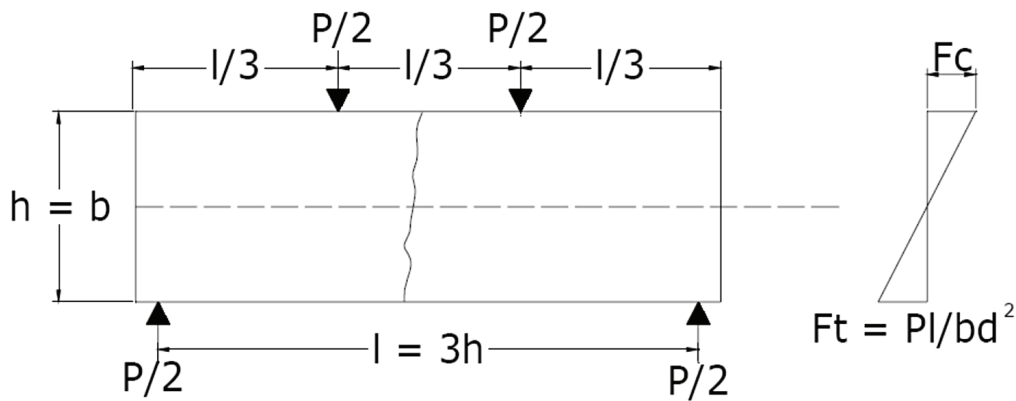


Figura 1. Probetas para el ensayo de tensión por flexión
Fuente: Garnica, Martínez & Prado. (2003)

tamaño. Para suelos con tamaños de agregado mayores a $\frac{3}{4}$ pulgadas, se recomienda que los especímenes tengan una sección de 4 a 6 pulgadas de lado por lado, y que su longitud sea adecuada para colocar el cabezal de carga, siendo al menos tres veces mayor que la longitud de la sección del espécimen.

Los especímenes se deben elaborar tratando de reproducir las condiciones esperadas para la estructura en la obra, teniendo interés en el contenido de estabilizante, en el contenido de agua y en su densidad. Los materiales tratados con cemento deben curarse durante 7 días.

Diferentes autores han propuesto diversas leyes de fatiga para materiales cementados, por ejemplo:

1. Guía australiana para el diseño de pavimentos

$$N = \frac{\left(\frac{112.664}{E^{0.804}} + 190.7 \right) * 12}{\mu \varepsilon}$$

Donde

N: número de repeticiones de ejes equivalentes estándar (8.2 Ton) para la falla de la capa cementada.

E: módulo de flexotracción del material cementado, en MPa, a los 28 días.

ε : deformación tensional en la fibra inferior de la capa cementada.

μ : razón o módulo de Poisson (igual a 0.20 para capas cementadas)

2. Instrucción 6.1 y 2-IC de la Dirección General de Carreteras, España

- i) Suelo cemento $S_r = 1 - 0.0875 \log N * R_f$
- ii) Grava cemento $S_r = 1 - 0.9723 \log N * R_f$

Donde:

N: número de ejes equivalentes de 13 toneladas (especificación española)

S_r : tensión de tracción en la fibra inferior a la capa cementada, en Mpa.

R_f : resistencia a flexotracción del material, en Mpa.

Para suelo cemento, se aplica a secciones de entre 20 y 30 cm de espesor, con una resistencia a la compresión confinada de 2.5 MPa a los 7 días o 3.8 MPa a los 90 días. Para grava cemento, se aplica a secciones de entre 20 y 25 cm de espesor, con resistencias a la compresión confinada de 6 MPa a los 7 días y 9 MPa a los 90 días.

3. Centro Sudáfricano de Investigaciones y desarrollo, Sección de Infraestructura de Transportes (Transportek)

$$N_{eff} = 10 \left[\frac{A(1-\varepsilon)}{B\varepsilon_b} \right]$$

Donde

N_{eff} : número de repeticiones de carga de 8.0 ton para la falla por fatiga de la capa cementada.

ϵ : deformación tensional en la fibra inferior de la capa cementada.

ϵ_b : deformación tensional de ruptura a la flexotracción del material.

A y B: factores de ajuste, según la categoría de carretera (según Cuadro 1).

4. Investigación Portland Cement Association

La investigación de fatiga del pavimento estabilizado con cemento determinó, que para un diseño dado, el número de repeticiones de carga hasta la falla, se relaciona con el radio de curvatura de la flexión. El otro factor importante es el tipo de agregados usados y divide en:

Materiales granulares: A-1 , A-3, A-2-4 , y A-2-5
Materiales finos: A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6 y A-7

Por lo tanto se obtuvieron las dos ecuaciones siguientes:

$$R = \frac{(0.3 * h^{3/2}) * R_c * N^{0.025}}{h - 1.2} \quad \text{Granulares}$$

$$R = \frac{(0.3 * h^{3/2}) * R_c * N^{0.050}}{h - 1.2} \quad \text{Finos}$$

Donde

R: radio de curvatura permitido para un número N de repeticiones de carga, centímetros.

R_c : radio de curvatura crítico, que depende del espesor del pavimento, centímetros. (cuando falla, con una sola pasada)

h: espesor del pavimento, centímetros

N: número de aplicaciones de la carga (PCA Development Department Bulletin D 142)

5. Medida de R, radio de curvatura usando la viga Benkelman

El flexímetro se ajusta de modo que la aguja registre una lectura entre 2.5 y 5 milímetros. Se hace

Cuadro 1. Factores de Ajuste según la categoría de la carretera

Categoría	Descripción	Confiabilidad en el diseño (R)	A	B
A	Autopistas y carreteras interurbanas	95%	6.72	7.49
B	Aoletores interurbanos y carreteras rurales principales	90%	6.84	7.63
C	Carreteras rurales	80%	6.87	7.66
D	Carreteras de bajo tránsito	50%	7.06	7.86

Fuente: Centro Sudáfricano de Investigaciones y desarrollo, Sección de Infraestructura de Transportes (Transportek). (s.f) en Herrera, E. Notas Personales.

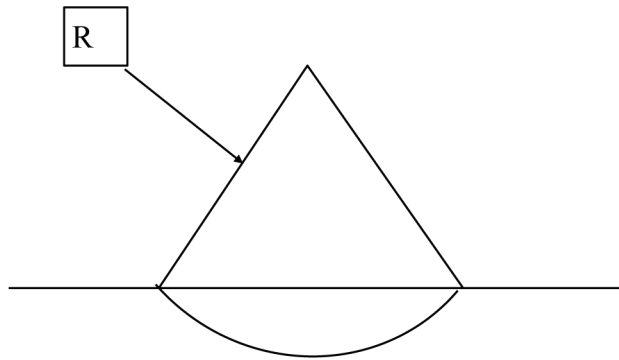


Figura 2. Radio de Curvatura

retroceder el camión lentamente y suavemente hasta que las ruedas duales externas queden sobre el punto indicado (intersección de la vertical que pasa por el eje de carga y la superficie del pavimento). Se realiza la lectura (L) cuando la deformación del pavimento bajo la rueda dual varía en 0.025 mm/minuto o menos. Este valor asegura que la deformación del pavimento está en equilibrio. Esta lectura se realiza tres veces, promediando el valor, cada una hecha después que el pavimento se haya recuperado de la carga anterior. Se hace avanzar suavemente el camión hasta una distancia de 25 centímetros del punto y se toma la lectura a 25cm (L_{25}). Se registra la temperatura del pavimento en un orificio practicado al efecto lleno con glicerina, aceite o agua.

Cálculo:

La deflexión máxima (D_{max}) se obtiene, $D_m = 2L$ y la $D_{25} = 2L_{25}$

El factor 2 que aparece en función de la relación de palanca de la regla. El radio se calcula a partir de esos valores aplicando la fórmula de la parábola:

$$R = \frac{6250}{2(D_{máx} - D_{25})}, \text{ radio de curvatura en metros.}$$

$$\text{Valor medio de la deflexión } \bar{D} = \sum D/n$$

Donde

\bar{D} : media aritmética de los valores individuales

D: Valor individual de un ensayo

n: número de ensayos individuales

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum D - \bar{D}^2}{n-1}}, \text{ Desviación estándar}$$

Se determina la deflexión característica del tramo, para lo que se aplica la fórmula:

$$D_c = \bar{D} + 1.65 \sigma, \text{ deflexión característica}$$

La deflexión característica del tramo, representa las condiciones críticas del pavimento y cuyo valor, al estar calculado en base de la deflexión media más 1,65 veces la desviación estándar, hace que, si el histograma de valores individuales sigue una ley de distribución normal, el 95% de los valores individuales sea inferior a la deflexión característica.

Conclusión

Cuando se utiliza el método mecanístico para el análisis y diseño de pavimentos, y se consideran las capas de una estructura semi-rígida adheridas, los criterios de falla por fatiga en la carpeta asfáltica de rodamiento dejan de ser críticos y, en su lugar, son los de la capa estabilizada los que dominan el diseño. Algunas metodologías, como la propuesta por Sudáfrica, consideran que se debe revisar la condición de falla por fatiga de todas las capas que forman el pavimento, independientemente del tipo de material.

Referencias Bibliográficas

- 1. Garnica, P., Martínez, G. & Prado, E. (2003). Algunos aspectos de la resistencia a la tensión y fatiga en suelos arcillosos estabilizados con cal. México: Secretaría de Comunicados y Transportes.**
- 2. Herrera, E. (2011). Notas Personales.**

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Coordinador General:

Ing. Luis Guillermo Loría, PhD.

Subcoordinador:

Ing. Fabián Elizondo, MBA.

Unidades:

Unidad de Auditoría Técnica

Coordinadora: Ing. Jenny Chaverri, MScE.

Unidad de Investigación

Coordinador: Ing. José Pablo Aguiar, PhD.

Unidad de Evaluación de la Red Vial

Coordinador: Ing. Roy Barrantes

Unidad de Gestión Municipal

Coordinador: Ing. Jaime Allen, MSc.

Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica

Coordinadora: Licda. Irene Matamoros

Unidad de Desarrollo de Especificaciones Técnicas

Coordinador: Ing. Jorge Arturo Castro

Unidad de Puentes

Coordinador: Ing. Rolando Castillo, PhD.
Ing. Guillermo Santana, PhD.