

DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PERPETUO (CASO DE ESTUDIO DE UNA RUTA NACIONAL EN COSTA RICA)

Autor: Ing. Fabricio Leiva Villacorta

Universidad de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME)

Tel: (506) 207-5423 correo electrónico: fleiva@lanamme.ucr.ac.cr

Resumen

El concepto de pavimento perpetuo se refiere a aquel pavimento cuyas características estructurales le permiten una vida útil mayor a 50 años con el mínimo de mantenimiento en su superficie de rodamiento y ningún mantenimiento en las capas inferiores.

Se plantea el diseño de una estructura de pavimento perpetuo como medida de reconstrucción de una ruta nacional de Costa Rica. Mediante información obtenida por deflectometría de impacto se calcula el Módulo resiliente de la subrasante y se seleccionan tramos homogéneos.

En este caso (como lo indica el concepto de pavimentos perpetuos) se aplica para estructuras de pavimento flexible: capa asfáltica sobre material granular; y estructuras de pavimento semirígido: capa asfáltica sobre capa estabilizada y material granular.

La metodología de diseño aplicada es en un primer caso determinar los espesores iniciales con ayuda de la Guía de Diseño AASHTO 93, luego por medio de una revisión mecánica – empírica se calibran los espesores para resistir tanto por fatiga, como por deformación plástica en las diferentes capas. Se aplican modelos de evaluación del desempeño (ecuaciones de fatiga) desarrolladas por el instituto del asfalto y modelos desarrollados en África del sur.

1. Introducción

El concepto de pavimentos perpetuos no es del todo nuevo. Estructuras de pavimento conocidas como “Full-Depth” o estructuras con todas las capas asfálticas, han sido construidas desde 1960. La ventaja de este tipo de pavimento es que provee de capas más delgadas, en comparación con las estructuras con capas granulares, además de reducir en gran forma el potencial agrietamiento por fatiga minimizando las deformaciones por tensión en el fondo de la capa de rodamiento.

Un pavimento perpetuo debe ser diseñado y construido para asegurar el desempeño dado el volumen de tránsito, las condiciones climáticas y la capacidad de soporte del suelo. Este tipo de pavimento se diseña para una vida útil por encima de los 50 años, con un reemplazo periódico de la superficie (25 a 100 mm) aproximadamente cada 20 años. El diseño de pavimentos de vida útil por encima de 50 años conlleva la construcción de estructuras de mayor espesor. Un estudio realizado por el NCAT, sugiere que cuando se observa deformación permanente, esta se produce en los primeros 5.0 cm de la superficie y por lo tanto una solución económica es remover esta zona y reemplazarla para alcanzar el mismo nivel.

El paquete estructural típico de un pavimento perpetuo es de la forma que se presenta en las siguientes figuras:

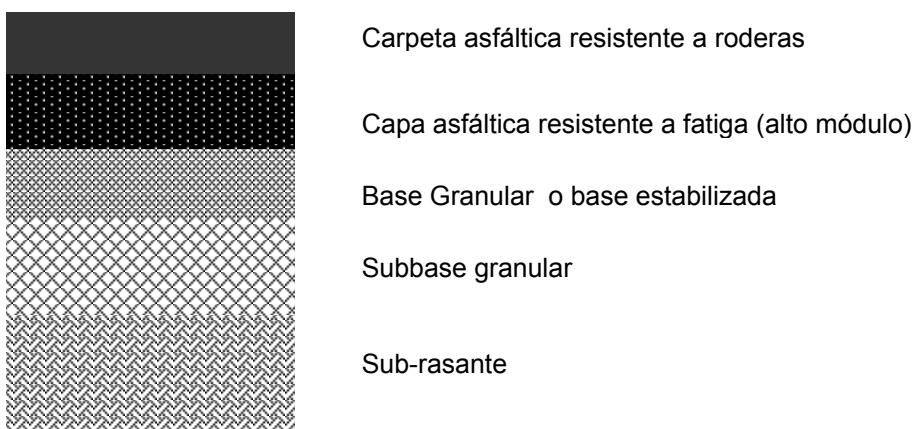


Figura 1. Estructura de pavimento perpetuo

2. Conceptos generales de pavimentos perpetuos.

2.1 Diseño Mecánico

La mayoría de los procedimientos de diseño no consideran el desempeño específico de cada capa, por lo que se hace necesario una metodología que permita el análisis de cada capa por separado. Es así como surge una metodología de diseño conocida como mecanística-empírica.

En el diseño mecanístico, se usan los principios de física para determinar la reacción del pavimento ante la carga. Conociendo los puntos críticos de la estructura de pavimento, uno puede diseñar contra cierto tipo de falla o deterioro, seleccionando los materiales y espesores de capa correctos. En el caso de pavimentos perpetuos, el diseño consiste en proveer suficiente rigidez en las capas superiores para disminuir la deformación permanente y proveer suficiente espesor y flexibilidad en las capas inferiores para evitar el agrietamiento por fatiga proveniente de la base de estas capas.

Algunos autores sugieren que la deformación unitaria por tensión en el fondo de la capa asfáltica no debe ser superior a $60 \mu\epsilon$, y la deformación vertical en la superficie de la subrasante debe limitarse a $200 \mu\epsilon$.

2.2 Materiales

Como el pavimento perpetuo consta de capas de mezcla asfáltica, la selección del material, el diseño de mezcla y los ensayos de desempeño necesitan especializarse para el material de cada capa. La rigidez de las mezclas necesita optimizarse para resistir la deformación permanente o el agrietamiento por fatiga, dependiendo de cual capa está siendo considerada, y la durabilidad debe ser de principal cuidado para todas las capas.

En los Estados Unidos la configuración de capas asfálticas se presenta en la Figura 2, donde se usan tres capas asfálticas con diferentes características de desempeño.

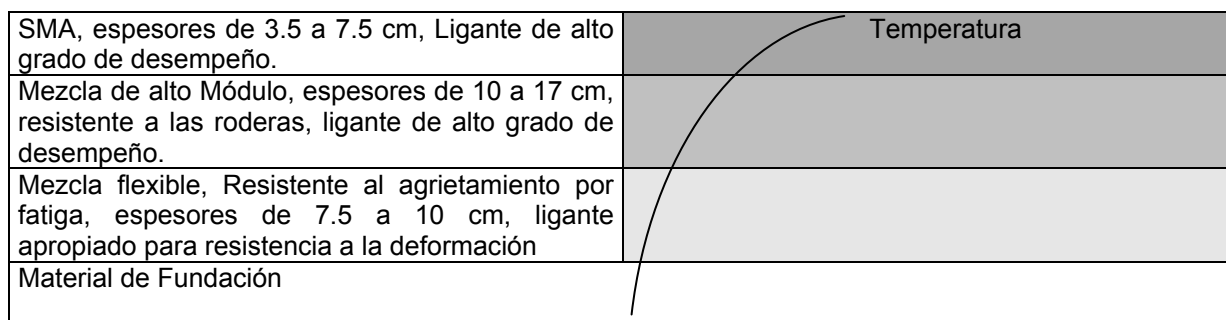


Figura 2. Disminución del gradiente de temperatura debido al cambio en el grado del ligante.

Capa base

La capa que sirve de base para esta configuración debe resistir la tendencia al agrietamiento por fatiga bajo las cargas de tránsito. La principal característica de este tipo de mezcla es su alto contenido de ligante. El uso de agregado mas fino puede hacer a la mezcla más resistente a la fatiga. Estas características en combinación con un apropiado espesor, proveerá la suficiente resistencia al agrietamiento proveniente del fondo de la capa.

El diseño de mezcla puede realizarse con la Guía Superpave para capas inferiores. El grado de desempeño usado en esta capa debe ser lo suficientemente alto para proveer protección contra las roderas. Los ensayos de desempeño para los materiales de esta capa deben incluir ensayos de fatiga, ensayos de rigidez y ensayos de durabilidad.

Capa intermedia

La capa intermedia debe combinar las cualidades de estabilidad y durabilidad. La estabilidad se obtiene alcanzando el contacto piedra sobre piedra en el agregado grueso aplicando un ligante de alto grado de desempeño. La fricción interna se logra usando agregado bastante cúbico o asegurando un esqueleto rígido por medio del ensayo de vacíos en el agregado grueso.

El grado de desempeño del ligante puede ser tan alto como el utilizado en la capa de superficie para resistir la deformación permanente. El diseño de mezcla puede ser el Superpave estándar con el óptimo contenido de ligante. Los ensayos de desempeño deben incluir: deformación permanente y susceptibilidad al daño por humedad.

Capa Superficial

Los requerimientos de la capa de superficie de la experiencia local y de factores económicos. En la mayoría de los casos esta capa debe ser resistente a la deformación, debe ser durable y debe proveer impermeabilidad. Dentro de los Estados Unidos estos requerimientos son satisfechos por mezclas SMA. Esta mezcla provee un esqueleto de piedra rígido y la matriz (combinación ligante y relleno mineral) una rigidez adicional, además de la suficiente impermeabilidad.

Para los materiales constituyentes de la capa superficial se requieren ensayos de resistencia a la deformación permanente, permeabilidad y durabilidad.

Material de Fundación

Este material es de suma importancia durante el proceso de construcción y el desempeño de un pavimento perpetuo. Durante el proceso de construcción, la fundación provee de una plataforma de trabajo y soporte de las cargas impuestas por los camiones y compactadores. Durante en periodo de desempeño, la fundación soporta las cargas de tránsito, además de reducir la variabilidad de soporte por el cambio de estaciones climáticas.

La fundación debe estar compuesta por material de subrasante compactado o estabilizado, material granular de base o subbase. Dependiendo de las condiciones del sitio, condiciones climáticas y de diseño se requerirá una estabilización química o mecánica de suelos o material granular. Por otro lado, el clima puede indicar el protagonismo del drenaje y subdrenaje para mantener la estabilidad de la fundación.

El Departamento de Transportes de Illinois ha puesto gran énfasis en los suelos de fundación y ha establecido una capacidad de soporte (CBR) de al menos 6% para evitar la excesiva deformación durante el proceso de construcción. El método de estabilización de suelos mas común en Illinois es aplicando cal, aunque en la actualidad se está implementando el uso de geosintéticos.

2.3 Experiencia internacional con pavimentos perpetuos: Diseño, construcción y rehabilitación.

La metodología más utilizada para diseño ha sido la aplicación de la Guía de diseño de pavimentos AASHTO, la cual ha servido muy bien hasta el momento, pero para este nuevo

milenio se sabe que esta guía no satisface las nuevas y crecientes necesidades de estructuras más resistentes y duraderas.

Dentro de los Estados Unidos se cuenta con amplia experiencia en el diseño y construcción de pavimentos aplicando tanto la metodología empírica proporcionada por la guía AASHTO, como mecanismos mecánicos con los cuales se evalúa la respuesta del pavimento ante la carga y se trata de predecir el desempeño a lo largo de la vida útil.

Se cuenta con casos concretos de buena experiencia con este tipo de pavimento desde mucho tiempo atrás con la incorporación de estructuras del tipo "full depth". Ahora la tendencia es en la incorporación de capas más resistentes al daño por humedad, menos susceptibles a la deformación permanente y al agrietamiento por fatiga.

Dentro de los Estados Unidos se pueden mencionar casos como:

- La Autopista I-710 de Long Beach, California, en la cual se han colocado secciones con un espesor combinado de diversos tipos de mezcla asfáltica superior a los 30 cm (mezclas drenantes como capa de rodado, mezclas de alto módulo como capas intermedias y mezclas con mayor contenido de ligante en la base de la capa o mezcla conteniendo algún tipo de fibra sintética) y se han especificado los criterios de falla como deformación permanente y agrietamiento por fatiga aplicando la metodología de la simulación con vehículo pesado.
- En el Estado de Washington se han construido carreteras con espesores de capa asfáltica superiores a 35 cm, incluyendo bases estabilizadas con cemento, algunas de estas con más de 10 años de construidas con intervenciones de conservación menores. El rasgo más notable de estos pavimentos es la baja regularidad superficial alcanzada, con un Índice de Regularidad Internacional por debajo de 1.0 m/km.
- En New Jersey se han encontrado carreteras con altos espesores de capa asfáltica donde se presenta el agrietamiento de la superficie hacia el fondo de la misma, se ha determinado que este agrietamiento, después de 10 años presentaba una profundidad de 7.5 cm aproximadamente, manteniendo intacto el resto de la capa, por lo que se especificó en ese momento, que al quinto año de vida útil de un pavimento similar se debe hacer un reemplazo de los primeros 5.0 cm, como medida de conservación.
- En Illinois se han establecido criterios de falla para agrietamiento por fatiga (deformación unitaria tensional en el fondo de la capa asfáltica menor a 0.60 microstrains), se

promueve el mejoramiento del suelo de fundación, el diseño de capas asfálticas intermedias con la metodología Superpave y capas de rodamiento de mezclas de matriz de agregado grueso (SMA).

- En Alabama, específicamente en el Centro Nacional para tecnología del Asfalto (NCAT), actualmente se están evaluando pavimentos perpetuos en un tramo experimental, con la capacidad de obtener información de desempeño cada capa con el paso del tiempo y de las cargas impuestas.
- La Administración Federal de Carreteras en los Estados Unidos (FHWA) ha desarrollando un programa tecnológico para la implementación de metodologías de diseño, lo más acorde a la realidad. En la actualidad se está implementando la nueva guía de diseño mecánica-empírica, la cual aprovecha la información que suministra la base de datos de la red federal de carreteras.

Se considera de igual importancia mencionar la experiencia de otros países:

- En Francia se ha implementado el uso de mezclas de alto módulo, resistentes a la deformación permanente, donde se ha utilizado un dispositivo de carga a escala natural para desarrollar las ecuaciones de fatiga y deformación.
- En el Reino Unido también se ha trabajado con altos espesores de capa asfáltica (mayores a 30 cm) y se ha encontrado con agrietamiento por fatiga de la superficie hacia el fondo de la capa. Destaca la poca variabilidad de las deflexiones medidas por medio del deflectómetro de impacto a lo largo de 20 años de operación de estos pavimentos.
- En Canadá se está evaluando un tramo experimental, donde se han colocado pavimentos perpetuos con capas asfálticas tipo SMA, Superpave y capas granulares mejoradas con geosintéticos.
- En Europa, ahora vista como un todo, se ha desarrollado una metodología para identificar la vida útil de los pavimentos a partir del espesor de la capa asfáltica y la deflexión medida bajo el plato de carga, en el caso de pavimentos perpetuos se ha descubierto que se presentan para espesores de capa superiores a los 30 cm y deflexiones por debajo de 0.24 mm.
- En la India se han desarrollado diversas ecuaciones de fatiga, con el fin de mejorar la aplicabilidad de la metodología empírica-mecánica con respecto a sus condiciones. Cabe destacar el uso de mezclas asfálticas no tradicionales como una medida para mejorar el diseño. Además se ha introducido el concepto de “punto balanceado de diseño” mediante el cual se mantiene un equilibrio entre el daño por deformación

permanente y agrietamiento por fatiga, de tal forma que la estructura resista de igual forma ambos deterioros.

- En el sur de Brazil se cuenta con experiencia en la instrumentación y evaluación de tramos experimentales, donde se han desarrollado ecuaciones que predicen el deterioro (deformación permanente y fatiga) a partir de los datos obtenidos tanto de campo como de un “simulador de tránsito”. También se ha valorado el efecto del medio ambiente (lluvia y temperatura) sobre el desempeño de pavimentos flexibles.

3. Descripción del caso de estudio

El concepto de pavimento perpetuo se refiere a aquel pavimento cuyas características estructurales le permiten una vida útil mayor a 50 años con el mínimo de mantenimiento en su superficie de rodamiento y ningún mantenimiento en las capas inferiores.

La forma la estructura de un pavimento perpetuo por aplicar en este caso es la que se presenta en la Figura 3.

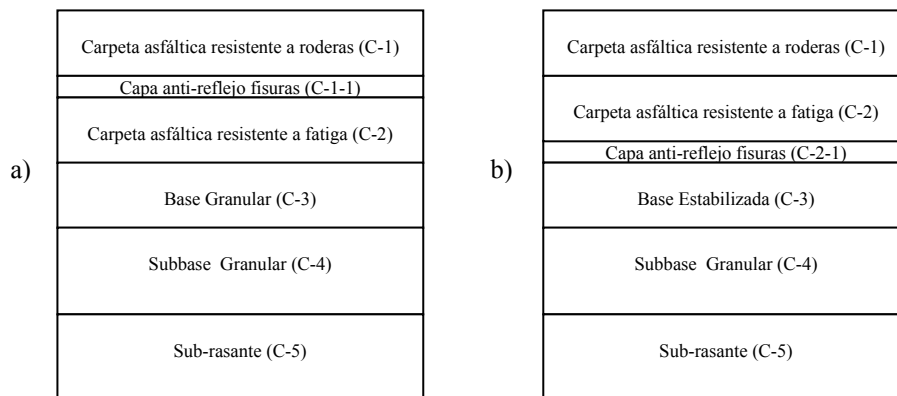


Figura 3. Estructura típica de un pavimento perpetuo a) con base granular, b) con base estabilizada

A continuación se presenta una tabla con los modelos de falla para cada una de las capas de las estructuras de pavimento perpetuo tanto para base granular como para base estabilizada con cemento.

Tabla 1. Modelos de falla y durabilidad

CAPA	MODELO DE FALLA
C-1	Roderas, textura, fricción, IRI, agrietamiento, desprendimiento de partículas, efecto del envejecimiento (cambio en módulo resiliente).
Interfase	Adherencia
C-2	Roderas, agrietamiento, efecto de envejecimiento.
C-2-1	Geosintético: durabilidad (química, elasticidad), efectividad. Capa anti-propagación de grietas: fisuración, envejecimiento y efectividad.
Interfase	Adherencia
C-3	Base granular: meteorabilidad, roderas, variación estacional de módulo, adherencia con la capa asfáltica. Base estabilizada: fatiga, fisuras, por cambios de temperatura, reflejo de grietas, disminución de módulo resiliente por agrietamiento, adherencia con la capa asfáltica.
C-4	Roderas, degradabilidad, variación estacional de módulos.
C-5	Roderas, meteorabilidad, variación estacional de módulos, estabilidad volumétrica de terraplenes.

Existen varias formas de modelar un pavimento perpetuo. Estas están basadas en que los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas.

De acuerdo al modelo de multicapa elástica hay dos maneras en que el pavimento flexible puede fallar:

- Cuando la deformación horizontal por tracción (ϵ_t) en la fibra inferior de las capas asfálticas, sobrepase el límite admisible lo cual producirá agrietamiento en dichas capas (ver figura 4).
- Cuando la deformación vertical (ϵ_v) por compresión de la subrasante rebase el límite admitido, lo que presenta una deformación permanente y por consiguiente la del pavimento.

3.1 Propiedades de los materiales

Carpeta asfáltica:

Se considera, concreto asfáltico procesado en caliente con un módulo resiliente de 3000 MPa (aproximadamente 400000 psi), para mezcla densa y 7000 MPa para mezclas de alto módulo.

Capas de material granular y subrasante:

Se considera la utilización de bases granulares con CBR de 80% (módulo resiliente aproximado de 250 MPa) y subbases granulares con CBR de 30% (módulo resiliente aproximado de 145 MPa).

Capa estabilizada (bases estabilizadas con cemento)

Para bases estabilizadas con cemento se considera una de resistencia a la compresión no confinada 40 kg/cm² a los 7 días (módulos resiliente aproximado de 7000 MPa).

Tabla 2. Resumen de propiedades de materiales para diseño

Capa	Módulo resiliente (MPa)	Módulo de Poisson
Capa Asfáltica 1	3000	0.35
Capa Asfáltica 2	7000	0.35
Base Granular	250	0.40
Base Estabilizada	7000	0.20
Sub-Base Granular	145	0.45
Sub-Rasante	Variable	0.45

3.2 Descripción de procedimiento de diseño

Capacidad de soporte de la subrasante

Con base en los estudios de deflectometría de impacto realizados por el LANAMME en setiembre de 2002 la totalidad del pavimento se separó en segmentos homogéneos con ayuda del programa SPEC; los segmentos homogéneos son tractos con una respuesta estructural diferenciada. Los parámetros utilizados para la separación fueron las deflexiones medidas debajo de los geófonos D₇ y D₉.

Para cada segmento homogéneo se determinaron los módulos de rigidez (ver Tabla 3) para la subrasante del futuro paquete estructural, aplicando la técnica de retrocálculo de módulos (utilizando el programa Evercalc 5.0) y usando el escenario de curva deformada que proporciona el percentil 85.

Tabla 3. Módulos resilientes de la subrasante para diseño

Segmento homogéneo	Percentil 85 de deflexiones MPa (PSI)
1	33 (4800)
2	24 (3500)
3	28 (4100)
4	38 (5600)
5	22 (3250)

Referencia 5.

Proyecciones de tránsito

Con base en la información suministrada por la sección de Planificación Sectorial del MOPT se obtuvieron los conteos de tránsito y se calculó la distribución de flota vehicular para los distintos escenarios de diseño como se muestra en la Tabla 4.

La Tabla 5 presenta los factores camión para los posibles escenarios de diseño a utilizar. No obstante, no se presentará un diseño para cada uno de los escenarios, sino más bien se diseñará para el escenario con mayor probabilidad de ocurrencia y con el mismo se hará el cálculo de ejes equivalentes.

La Tabla 6 presenta las proyecciones de carga de tránsito a partir de los sondeos disponibles, así como los correspondientes ejes equivalentes para nuestro período de diseño de 50 años (2006 - 2056). También se muestran las magnitudes de carga para los escenarios bajo, medio y alto.

Tabla 4. Conteos de tránsito y distribución de flota vehicular

TPD = 67329 Año 2003		
Tipo de Vehículo	Distribución Porcentual	Cantidad de Vehículos
Livianos	73.59%	49547
Buses	4.17%	2807
Carga Liviana	13.54%	9116
2 Ejes (C ₂)	6.23%	4194
3 Ejes (C ₃)	0.95%	639
5 Ejes (T ₃ -S ₂)	1.52%	1023

Tabla 5. Factores camión usados para el cálculo de ejes equivalentes (magnitudes de carga para escenarios bajo, medio y alto).

Factores Camión (EEQ)			
Tipo de Vehículo	Bajo	Medio	Alto
Livianos	0,0001	0,0005	0,001
Buses	0,65	0,85	1,05
Carga Liviana	0,1	0,2	0,3
2 Ejes (C ₂)	0,8	1	1,15
3 Ejes (C ₃)	1,4	1,6	1,75
5 Ejes (T ₃ -S ₂)	2,2	2,5	2,75

Referencia 5.

Tabla 6. Escenarios de carga de tránsito

Escenario	TPD	Ejes equivalentes	Ejes equivalentes para carril de diseño (D)
A = bajo	99189	250239449	75E6
B = medio		325137742	97E6
C = alto		392241880	110E6

3.3 Determinación de espesores de capas de acuerdo a la metodología de diseño AASHTO.

Haciendo uso de la guía de diseño del la AASHTO (1993) se aplicaron los siguientes parámetros de diseño:

- Nivel de confianza del $Z = 95\%$.
- Una desviación estándar de $S_0 = 0.45$.
- Un índice terminal de habilidad de servicio: $P_t = 2$.
- Módulos resilientes de la subrasante (Tabla 3).

Se determinaron los espesores de cada capa (ver Tabla 7) para las dos opciones (base granular y base estabilizada).

3.4 Verificación mecánica de la capacidad a fatiga y deformación plástica de la estructura propuesta

Se hace la revisión por teorías de fatiga para cada una de las capas utilizando las fórmulas que se muestran a continuación:

- *Carpeta asfáltica*

$$N_f = 0.0796(\varepsilon_t)^{-3.291} [E]^{-0.854}$$

Donde:

N_f = Número de cargas aplicadas para la falla.
 ε_t = Deformación unitaria de tensión en la parte inferior de la capa.
 E = Módulo resiliente (psi)

- *Base Granular*

$$N_a = 10^{2.605122 * F + 4.480098}, \quad F = \frac{\sigma_3 * \phi + c}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

Donde:

N_a = número de repeticiones.
 F = factor de seguridad.
 σ_1 y σ_3 = esfuerzos principales.
 ϕ = ángulo de fricción interna.
 C = cohesividad.

- *Base Estabilizada con Cemento*

$$\log N_f = \frac{[(0.972 \beta c1 - \sigma_t / Mr)]}{0.0825 \beta c2}$$

Donde:

N_f : número de repeticiones para la falla.
 σ_t : esfuerzo de tensión en la fibra inferior de la capa (psi).
 Mr : módulo de ruptura (esfuerzo a flexotracción) del material, a los 28 días.
 $\beta c1$ y $\beta c2$: factores de calibración iguales a 1 en este caso.

- *Subrasante*

$$N_r = 1.365 \times 10^{-9} (\varepsilon_{vs})^{-4.477}$$

Donde:

N_r : es el número de repeticiones.
 ε_{vs} : deformación unitaria a la compresión en la fibra superior de la subrasante

Al final, se calibran los espesores por medio de las ecuaciones de fatigas hasta que el nivel de carga de diseño se iguale al nivel de carga resistido (ver Tabla 9).

Tabla 7. Espesores de las capas según la metodología de diseño AASHTO.

Tramo	Capa	Espesores calculados (cm)		Espesores utilizados (cm)	
		Base Granular	Base Estabilizada	Base Granular	Base Estabilizada
1	Asfalto	24	8.0	20	15
	Base	17	50	20	50
	Subbase	54	54	55	60
2	Asfalto	24	8.0	20	15
	Base	17	50	20	50
	Subbase	72	72	65	65
3	Asfalto	24	8.0	20	15
	Base	17	50	20	50
	Subbase	63	63	60	65
4	Asfalto	24	8.0	20	15
	Base	17	50	20	50
	Subbase	46	46	55	55
5	Asfalto	24	8.0	20	15
	Base	17	50	20	50
	Subbase	76	76	65	65

En la siguiente Tabla se muestran los niveles de esfuerzo y deformación unitarios para una cantidad de pasadas de $11E7$ de Ejes equivalentes de diseño, a partir de una modelación multicapa elástica, con una configuración de carga como se muestra en la Figura 4:

Tabla 8. Escenarios de carga de tránsito

Capa	Nivel esperado
CA1	$\epsilon_t = 46E-6$
CA2	$\epsilon_t = 46E-6$
BG	$F = 1.36$
BE	$\sigma_t = 277 \text{ kPa}$
SBG	$F = 1.36$
SR	$\epsilon_v = 167E-6$

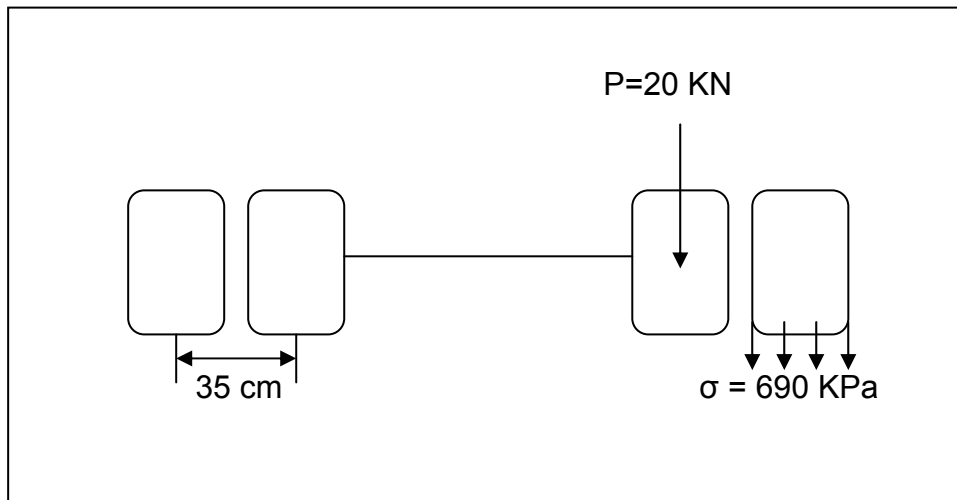


Figura 4. Configuración del eje estándar.

Tabla 9. Espesores de las capas calibrados de acuerdo a las teorías de fatiga.

Tramo	Capa	Espesores calibrados (cm)	
		Base Granular	Base Estabilizada
1	CA1	7.5	5
	CA2	25	10
	Base	20	27.5
	Subbase	30	30
2	CA1	7.5	5
	CA2	25	10
	Base	25	30
	Subbase	30	30
3	CA1	7.5	5
	CA2	25	10
	Base	20	30
	Subbase	30	30
4	CA1	7.5	5
	CA2	25	10
	Base	20	27.5
	Subbase	30	30
5	CA1	7.5	5
	CA2	25	10
	Base	25	30
	Subbase	30	30

Como capa anti-reflejo de grietas se recomienda el uso de un geotextil con resistencia a la tensión de al menos 550 N y resistencia al punzonamiento de al menos 300 N.

4. Conclusiones:

Se puede observar como se mantienen los niveles de deformación unitaria tangencial (caso de mezcla asfáltica) por debajo de los 60 micro strains y para la deformación unitaria vertical sobre la subrasante inferior a los 200 μ strains, como la recomendación que se había indicado al principio del artículo, para una estructura de pavimento perpetuo.

Cabe destacar que el proceso culmina cuando cada una de las capas cumple con la sollicitación de carga de diseño y sobre todo en este caso cabe destacar que tales sollicitaciones se simplifican a una carga estandarizada, donde lo ideal sería el conocer el tipo de eje y el rango de cargas asociado a cada eje para tener un espectro de carga más acorde con lo que realmente está circulando por esta carretera.

Es importante destacar que la introducción de una estructura de pavimento como ésta y como se ha visto en la literatura, da paso a una forma de falla de agrietamiento por fatiga que empieza en la superficie y se dirige hacia el fondo de la capa asfáltica. Se ha encontrado que este tipo de falla se debe principalmente a la gran variedad de cargas y presiones de inflado que presentan los vehículos que circulan estos días. Como se mencionó, una forma de prevenir este tipo de falla es el de retirar y colocar como nuevo al menos 5.0 cm de la capa superficial cada cierto tiempo, lo cual debe ser incluido en el plan de mantenimiento de la carretera.

5. Fuentes de información bibliográfica

1. Huang, Yang. Pavement analysis and design. Editorial Prentice. Estados Unidos de América, 1993.
2. Solminihac, Herman. Gestión de infraestructura vial. Editorial Universidad Católica de Chile. Chile, 1998.
3. TRB Committee on General Issues in Asphalt Technology, TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR. Perpetual Bituminous Pavements. Transportation Research Board. 2001.
4. ISAP. First International Symposium on Long Lasting Pavements. 2004, Auburn, Alabama.
5. Brenes, Mata y Rivera. Informe de Curso: Taller de Diseño. Diseño de estructura de pavimento para la reconstrucción de Autopista General Cañas. Universidad de Costa Rica, 2004.