

118 - 2 - 13
DESARROLLO DE LA GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE COSTA RICA:CR_ME

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, MSc, PhD
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR
San Pedro, Costa Rica
luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

Resumen

El desarrollo de la Guía Empírico-Mecánica de Diseño de Pavimentos (MEPDG) de AASHTO provocó que muchos países latinoamericanos buscaran su implementación, en aras de mejorar su diseño de pavimentos. Dentro de las ventajas del MEPDG se encuentra la versatilidad de su software, un excelente modelo climático, el uso de espectros de carga y propiedades de materiales más fundamentales. Desafortunadamente, la calibración de dicha guía fue realizada precisamente para otras condiciones de carga, clima, tráfico vehicular y suelos, lo que dificulta su aplicación en Latinoamérica, no obstante sus ventajas. Por esta razón, el Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) inició el desarrollo de una guía mecanicista de diseño de pavimentos calibrada para Costa Rica. Para tal efecto, se desarrollaron modelos de fatiga, de deformación permanente y daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente, y de fatiga para concreto hidráulico. Asimismo, se desarrollaron ecuaciones de módulo de resiliencia triaxial para bases granulares y suelos, y se ha iniciado un intenso análisis de suelos estabilizados con cal y cemento, para conocer sus propiedades mecánicas, en particular, el módulo de resiliencia a la tensión diametral. Adicionalmente, se desarrolló una ecuación sustitutiva-tropicalizada del modelo de Witczak para determinar el módulo dinámico de mezclas asfálticas. A lo anterior, se adicionan dos amplios estudios en proceso para determinar las variaciones estacionales de módulos y el espectro de carga típicas del país. A lo anterior se une el monitoreo de al menos 30 secciones de pavimentos, y el uso de un simulador pesado de pavimentos Mark VI, para acelerar la calibración de los modelos de deterioro. Todo el esfuerzo indicado se está integrando en un software, cuya primera versión estará lista a finales del año 2013. Actualmente, los primeros diseños realizados se están comparando con resultados arrojados por el MEPDG.

Resumo

O desenvolvimento da Guia de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos (MEPDG em Inglês) da AASHTO fez que muitos países da América Latina procuraram sua implementação, com a finalidade de melhorar o dimensionamento dos pavimentos. Entre as vantagens da MEPDG está a versatilidade do seu software, um excelente modelo climático, o uso de espectros de carga e propriedades dos materiais mais fundamentais. Infelizmente, a calibração desta guia foi feita para outras condições de carga, clima, tráfego e solos, o que dificulta sua aplicação na América Latina, apesar de suas vantagens. Por esta razão, o Laboratório Nacional de Materiais e Modelos Estruturais da Universidade da Costa Rica (LanammeUCR) iniciou o

desenvolvimento de uma guia mecanicista de dimensionamento de pavimentos calibrada para Costa Rica. Para este fim, foram desenvolvidos modelos de fadiga, deformação permanente e dano por umidade de misturas asfálticas a quente, e fadiga para concreto hidráulico. Também, foram desenvolvidas equações de módulo de resiliência triaxiais para bases granulares e solos, e iniciou-se uma intensiva análise de solos estabilizados com cal e cimento, para conhecer suas propriedades mecânicas, em especial, o módulo de resiliência à tração diametral. Além disso, foi desenvolvida uma equação alternativa e tropicalizada del modelo de Witczak para determinar o módulo dinâmico das misturas asfálticas. A isso se acrescentam dois grandes estudos em curso para determinar as variações sazonais dos módulos dos solos e os espectros de carga típicos do país. Adicionalmente, une-se pelo menos 30 seções de pavimento e a utilização de um simulador móvel de tráfico tipo HVS Mark VI, a fim de acelerar a calibração dos modelos de degradação. Todo este esforço está sendo integrado dentro de um software, cuja primeira versão estará pronta ao finais do ano 2013. Atualmente, os primeiros dimensionamentos de pavimentos estão sendo comparados com os resultados obtidos pelo MEPDG.

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años el diseño de pavimentos fue realizado mediante metodologías empíricas, dentro de las cuáles ha sobresalido la impulsada por la Asociación Americana de Oficiales de Autopistas Estatales y de Transportes (AASHTO por sus siglas en inglés), la guía AASHTO 93. Dicha guía fue basada en la pista experimental desarrollada a finales de los años 50 en el condado de Ottawa, Illinois, y que generó el desarrollo de varias metodologías de diseño que se fueron sucediendo cada cierto tiempo, hasta decantar en la guía AASHTO 93. A pesar de que por muchos años la técnica empírica generó resultados aceptables en el diseño de pavimentos, a partir de los años noventa se puso en tela de duda el valor del nomograma, debido a que se empezó a determinar que los diseños no tenían una adecuada relación con el desempeño posterior de los pavimentos en servicio. A esto, se sumó que los cambios en tecnologías para diseño de materiales, como Superpave, la incorporación de nuevos materiales –asfaltos modificados, mezclas tibias, entre otros- eran muy difíciles de incorporar en la metodología de diseño empírica. Así las cosas, diversos diseñadores cuestionaron las bondades del uso de un nomograma calibrado para un solo tipo de suelo, para condiciones de carga y presiones de inflado de llantas completamente diferentes a las actuales, un solo tipo de clima, y, materiales y técnicas constructivas muy diferentes. En particular, se evidenció en el caso de pavimentos rígidos un sobre-diseño de espesores, pero en general, la falta de correlación entre las propiedades de los materiales, el diseño y desempeño posterior.

Con este razonamiento, mediante el proyecto NCHRP 1-37^a (Witczak et al, 2002), dirigido por el Dr. Matt Witczak, se empezó el desarrollo de una guía de diseño de pavimentos empírico-mecanística (MEPDG por sus siglas en inglés), que estuviera basada en las propiedades mecánicas de las estructuras, en las propiedades de los materiales componentes, una correcta modelación del clima y finalmente, ecuaciones de transferencia calibradas que convirtieran las respuestas del pavimentos -esfuerzos, σ ; deformaciones, ϵ ; y deflexiones, δ -, en deterioros típicos, tales como agrietamiento por fatiga, deformación permanente, agrietamiento por baja temperatura, e incluso, correlaciones para determinar el incremento temporal del Índice de Regularidad Internacional (IRI) o los baches. De esta manera, luego de monitorear muchísimas secciones de pavimento por todo Estados Unidos y Canadá, y con base en un algoritmo de

principios mecánicos, en el año 2008 se terminó de gestar un software que es bastante versátil, tanto para el diseño de pavimentos rígidos como flexibles.

Así las cosas, el diseño de pavimentos debe ser un proceso técnicamente bien balanceado, correctamente fundamentado, y de costo mínimo, de modo que no se sobre-diseñe o que se diseñe con espesores inferiores a los necesarios.

Una vez que la guía MEPDG salió para su uso generalizado, muchísimos diseñadores latinoamericanos buscaron el uso del software para diseño, pero se toparon con una primera dificultad: su alto costo aún en versiones académicas, y además, los investigadores más rigurosos, encontraron una serie de inconvenientes para su aplicación debido a las diferencias en clima, propiedades de materiales y factores de calibración para las condiciones locales.

De esta manera, con base en los atestados que le da el Congreso de Costa Rica al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) mediante los incisos 5 y 6 de la ley 8114, el LanammeUCR incluye dentro de su plan de trabajo en materia de especificaciones, el desarrollo e implementación de la Guía de Diseño de Pavimentos Empírico Mecánica para Costa Rica. De esta manera, se inició en el año 2012 un proceso de análisis de los diversos métodos de diseño de pavimentos tales como el francés, la guía de California, CAL-ME, el método de Sudáfrica, entre otros, para comprender los principios que se requieren para la modelación mecanicista de pavimentos y su uso en diseño. El reto del trabajo consiste en el uso de las propiedades de los materiales para pavimentación, el clima, la caracterización adecuada del suelo de soporte y el tráfico propios de Costa Rica. La idea no ha sido seguir alguna guía en particular, sino con base en el trabajo de profesionales conocedores de esta temática, generar un desarrollo propio. El presente artículo presenta el trabajo realizado a la fecha para el desarrollo de la guía de diseño de pavimentos costarricense.

ELEMENTOS DE UNA GUIA MECANICISTA

Una guía de diseño de pavimentos mecanicista tiene como fundamento una adecuada determinación de las respuestas de la estructura del pavimento, a saber, esfuerzos, deformaciones y deflexiones, tomando como base una adecuada caracterización de las propiedades de los materiales componentes, la ponderación de los efectos climáticos sobre dichas propiedades, el efecto de las cargas reales del tráfico, y un adecuado modelo de análisis. El modelo de análisis en pavimentos flexibles puede ser tan sencillo como las ecuaciones de Bousinesq para espacios semi-infinitos o para pavimentos de dos capas; podría recurrir a modelos como el de Burmister, o incluso, modelos más complejos como el Multicapa elástica, Viscoelasticidad Lineal o Elemento Finito. En el caso de pavimentos rígidos, la Teoría de Placa delgada podría ser suficiente para ciertas condiciones más sencillas de carga y propiedades de materiales o el Método del Elemento Finito, que se ha vuelto de uso común en la mayor parte del software contemporáneo.

Una vez que se tiene certeza de que las respuestas del pavimento son adecuadas, se debe dar seguimiento a secciones de control de muchos pavimentos para calibrar funciones de transferencia o modelos de deterioro que transformen las respuestas del pavimento en deterioros. Así las cosas, el diseño se basa en la comparación entre valores de especificación deseables y el deterioro proyectado de cada parámetro. Si alguno de los deterioros no cumple con la

especificación se deben modificar las propiedades de los materiales o los espesores de diseño, para volver a iterar y determinar si el diseño es conveniente.

De esta manera, el diseño mecanicista de pavimentos tiene como objetivo predecir el desempeño de un pavimento respecto de ciertos deterioros y no precisamente el enfoque tradicional que es calcular espesores, que para la técnica mecanicista, son parte de las variables de entrada para el diseño.

En síntesis, una guía mecanicista deberá contar con al menos los siguientes elementos:

- **VARIABLES DE ENTRADA:**
 - **Tráfico:** Podrían usarse ejes equivalentes o idealmente espectros de carga.
 - **Clima:** Perfiles climáticos de temperatura, precipitación y saturación de suelos como mínimo. Sin ser tan riguroso como el MEPDG, debiera permitir calcular las condiciones del pavimento para algunas condiciones críticas estacionales.
 - **Materiales:** Caracterización preferiblemente dinámica para proyectos importantes o correlaciones en proyectos de segundo orden o de bajo volumen.
 - **Fundación:** Caracterización exhaustiva de los materiales, preferiblemente con técnicas triaxiales dinámicas.
- **Modelo de análisis:** Corresponde a la teoría mecanicista generadora de las respuestas del pavimento (σ, ϵ, δ). Debiera corresponder al menos a Multicapa-elástica para flexibles o teoría de placa para rígidos, o más compleja, como viscoelasticidad lineal (ya resuelta para pavimentos flexibles a través de los software Viscoroute o 3D-Move), o el elemento finito.
- **Funciones de transferencia:** Que conviertan las respuestas del pavimento en la progresión del deterioro en el tiempo.
- **Algoritmo:** Que permita tomar decisiones, y que esté codificado en un software que facilite el cálculo. Hay que recordar que no hay un único cálculo, sino un proceso repetitivo de acumulación de deterioro.
- **Método jerárquico:** La metodología debe discriminar claramente entre proyectos de primer y segundo orden (de acuerdo a cada país), y pavimentos de bajo volumen o rurales.

DIFICULTADES PARA LA IMPLEMENTACION DEL AASHTO-MEPDG

Aunque el presente artículo se basa en explicar el desarrollo de la guía de diseño de pavimentos empírico-mecanicista para Costa Rica, es necesario apuntar algunos aspectos negativos del MEPDG:

- **Clima:** Las estaciones climatológicas para su calibración pertenecen a los Estados Unidos y Canadá.
- **Tráfico:** La MEPDG aplica 13 categorías de vehículos. En Latinoamérica países como Brasil han indicado que tienen más de 30 tipos de vehículos distintos (Witzack, et Loria, L, 2012)
- **Materiales:** Las características de los materiales en otras regiones son particularmente distintas a las de los Estados Unidos.
- **Funciones de Transferencia:** Fueron calibradas para otras condiciones de clima, materiales y carga.

- Costo del Software: El costo es prohibitivo para uso académico, y muy alto incluso, para consultores privados.
- Modelos de análisis dentro del software: El software corresponde a una “caja negra”, que deja poco espacio a que el ingeniero conocedor use su intelecto en el aporte a la solución del diseño.

PROPUESTA DE GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MECANICISTA PARA COSTA RICA

El primer paso dado para el desarrollo de la guía de diseño de pavimentos de Costa Rica, fue generar varias líneas de investigaciones muy rigurosas, basadas en toda la capacidad instalada del LanammeUCR en materia de equipos de laboratorio que van desde el rango de análisis nanométrico, pasando por la micro, meso y macro escala, finalizando en ensayos de desempeño acelerados a escala natural (con equipo HVS Mark IV y el PaveLab (Loria et al, 2012)). Las líneas de investigación desarrolladas contemplan los siguientes temas: 1) Métodos de diseño de pavimentos, 2) Materiales asfálticos, 3) Concreto hidráulico, 4) Clima, 5) Análisis de carga, 6) Calibración de modelos de desempeño, y 7) Modelos de análisis y códigos de software.

Basados en las líneas de investigación, se han generado los siguientes módulos iniciales de la guía de diseño de pavimentos empírico-mecanística para Costa Rica.

Niveles Jerárquicos de Diseño

El algoritmo general reconocerá tres niveles jerárquicos de diseño: 1) Nivel 1, que requiere de evaluar con ensayos dinámicos todas las propiedades de los materiales, 2) Nivel 2, que utiliza modelos de regresión calibrados para los materiales del país, y el 3) Nivel 3, que corresponde al diseño de pavimentos de bajo volumen.

Tráfico

Inicialmente se seguirá usando el concepto de eje equivalente (EEq). Sin embargo, se determinaron factores de carga calibrados para el país. Progresivamente se pasará al desarrollo de espectros de carga (Ullóa et al, 2007).

Materiales y Suelos

Para mezcla asfáltica en caliente (MAC) se han desarrollado los siguientes modelos:

- Base de datos con cientos de resultados de módulo de resiliencia a la tensión diametral.
- Ecuaciones de fatiga para todas las mezclas asfálticas producidas en Costa Rica y un modelo generalizado, con más de 10 años de datos recolectados.

$$N_f = 6,6498 \times 10^{24} \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{5,6135} \left(\frac{1}{E}\right)^{1,2822} \quad (1)$$

El factor de calibración a campo está aún en desarrollo, por lo que usará el recomendado por la MEPDG, que depende de las propiedades volumétricas de la MAC (Aguiar et Loria, 2006).

- Para deformación permanente, se está por calibrar el siguiente modelo:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = 10^a T^b N^c \quad (2)$$

- Para el módulo dinámico se desarrolló un modelo inicial genérico para diez mezclas típicas del país (Loria, Badilla et Aguiar, 2011), en caso de proyectos de nivel 1, se requiere de ejecutar el ensayo:

$$\log E^* = 5,54 + 0,002087 \rho_{200} - 0,000566 (\rho_{200})^2 - 0,002590 \rho_4 - 0,078763 V_a - 1,87 \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) + \frac{3,40 + 0,000081 \rho_4 - 0,01342 \rho_{3/8} + 0,000261 (\rho_{3/8})^2 + 0,005470 \rho_{3/4}}{1 + e^{(0,0329 + 1 - 0,493 \log(f) - 0,697 \log(\tau))}} \quad (3)$$

Donde: E*: Módulo dinámico (psi), V_a : contenido de vacíos de la mezcla (%), V_{beff} : contenido de asfalto efectivo por volumen, $\rho_{3/4}$: porcentaje retenido acumulado en el tamiz de 3/4, $\rho_{3/8}$: porcentaje retenido acumulado en el tamiz de 3/8, ρ_4 : porcentaje retenido acumulado en el tamiz No. 4, y; ρ_{200} : porcentaje retenido acumulado en el tamiz No. 200.

Para materiales granulares y suelos:

- Calibración de la ecuación constitutiva no lineal de módulo de resiliencia triaxial para cinco suelos de subrasante y 5 bases granulares (AASHTO T307). Para proyectos de nivel 1 se realizará el ensayo respectivo.

$$M_r = k_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} \right)^{k_3} \quad (4)$$

Para el concreto hidráulico se calibró una ecuación inicial de fatiga:

$$\log N = \log(5,451) - 26,6 \times \log(SR) \quad (5)$$

Donde N: número de repeticiones para la falla, y; SR: relación entre esfuerzo y módulo de ruptura.

Clima

Inicialmente, se analizarán parámetros dos parámetros: a) *Temperatura ambiental*, para determinar la temperatura a diversas profundidades de la capa de MAC, y mediante la metodología estadística de diferencias medias se establecerán perfiles de temperatura anuales; normalmente se han identificado tres perfiles al año; y, b) *Humedad* en materiales granulares y suelos, para determinar un factor de corrección para el módulo de resiliencia. Actualmente se está calibrando una metodología similar al MEPDG.

Modelo de Análisis

El modelo de análisis básico se basará en las teorías de multicapa elástica, y de visco-elasticidad lineal para casos más complejos. El software base será el 3D-move desarrollado por la Universidad de Nevada, Reno, que puede calcular respuestas de pavimentos para ambas teorías.

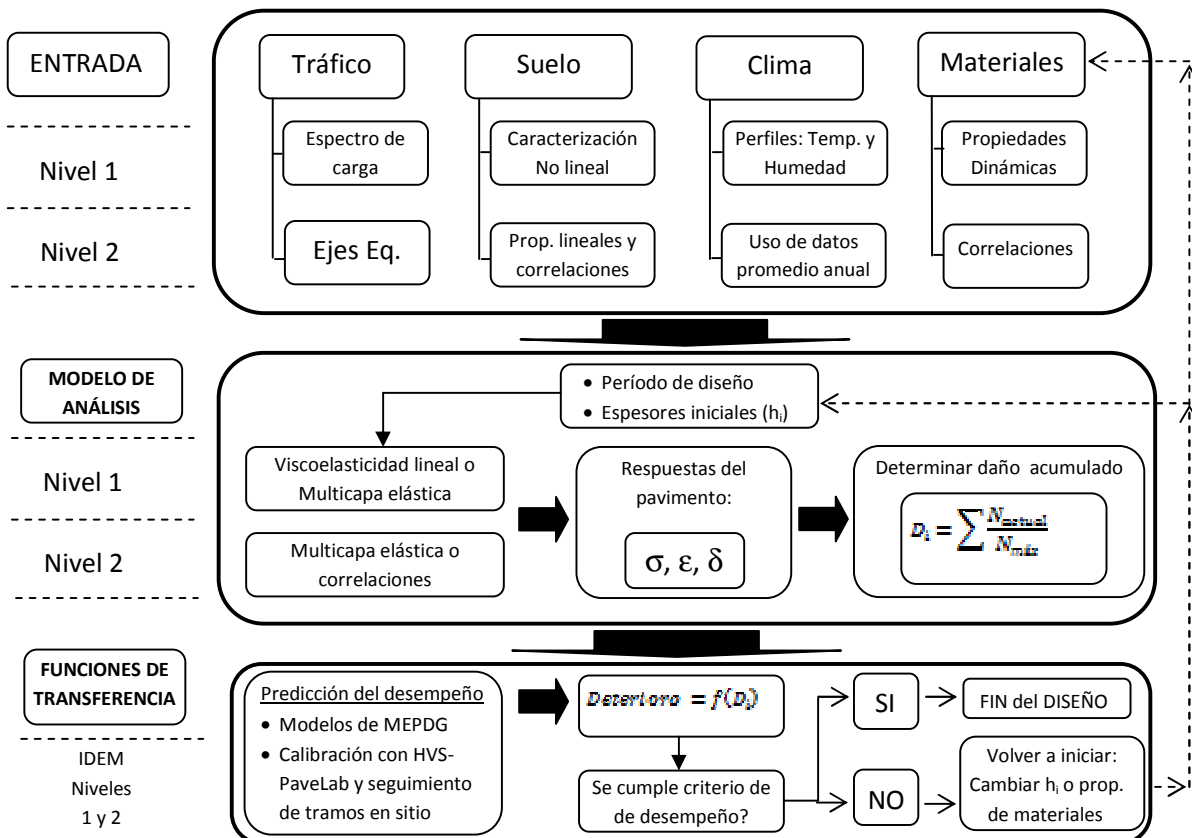
Funciones de Transferencia o Modelos de Desempeño

Esta área del método se efectuará en tres etapas: 1) Uso de las funciones de transferencia del MEPDG basadas en modelos de regresión que correlacionan las respuestas del pavimento con algún deterioro, 2) Calibración de funciones de transferencia propias, basadas en los resultados de los ensayos acelerados usando el HVS del PaveLab (Loria, Aguiar et Corrales, 2012), y 3) Monitoreo de 30 secciones de pavimentos nuevos y reconstruidos, para verificar los modelos indicados en el punto 2) e incluir factores asociados al sitio particular. Además, se están estudiando umbrales máximos permisibles o aceptables de los diversos deterioros para verificar los diseños.

Algoritmo y Versión de Software 1.0

A la fecha, un primer algoritmo y software versión 1.0 han sido desarrollados, basados en la teoría de multicapa-elástica. El software tiene la capacidad de iterar hasta tres perfiles de temperatura y humedad al año, y así va acumulando el daño acumulado en cada período cuatrimestral. La Figura 2 muestra el algoritmo desarrollado.

Figura 2: Algoritmo de guía de diseño y software



CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Se va a diseñar un pavimento flexible, de 4 capas, de acuerdo con espesores iniciales mostrados en la Tabla 1. Solo se analizará como deterioro el agrietamiento por fatiga. Se espera que los ejes equivalentes totales para un período de diseño de 20 años alcancen los 70,315,677.00 EEq. Para el diseño se cuenta con los siguientes datos: a) Curva de módulo dinámico de la MAC, b) Módulos de resiliencia de los materiales granulares basados en regresiones del índice de soporte de California (CBR), c) Perfiles semestrales coincidentes de temperatura y humedad, d) La velocidad de diseño típica del proyecto es de 90 km/hr, el primer semestre del año y 60 km/hr el segundo, finalmente, e) Los datos de crecimiento del tráfico son proporcionados.

Datos de entrada

- Con base en los perfiles de temperatura y humedad se determinan las temperaturas de diseño, para cada semestre. La figura 3a muestra un ejemplo de perfil de temperatura, el mismo proceso se sigue para el perfil de humedad. En el caso de la MAC, se usa la curva de módulo dinámico, para determinar dos módulos, uno afectado por la velocidad de diseño de 60 km/hr y una temperatura ambiente de 30°C ($E^* = 2500$ MPa), y para el segundo semestre, una velocidad de 90 km/hr y una temperatura de 21°C ($E^* = 4000$ MPa). Las temperaturas indicadas hay que convertirlas en temperaturas en la mezcla asfáltica, para tal efecto se usa el modelo del MEPDG. La Figura 3b muestra la curva de módulo dinámico empleada. Igualmente, en el caso de los materiales granulares, se realiza corrección con base en los datos de los dos perfiles de saturación (período húmedo de enero a junio con saturación de 70% y seco el resto del año con saturación del 20%).

Figura 3: Ejemplo de datos de entrada

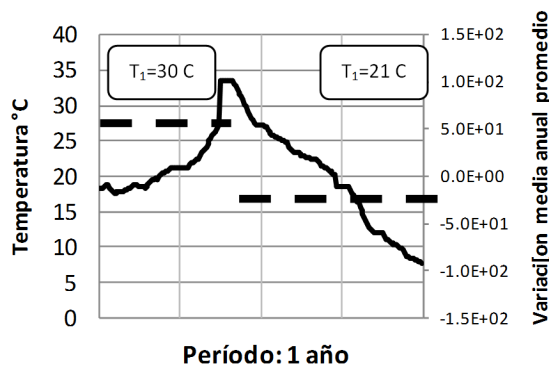


Figura 3a. Perfil medio de temperatura

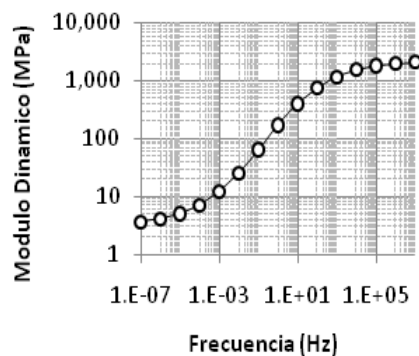


Figura 3b: Curva de módulo dinámico

Con base en lo anterior, se obtiene la Tabla 1, que muestra los datos que se usarán en la modelación mecanicista. Resaltándose en negrita las respuestas por emplear, ϵ_h , o la deformación unitaria en la fibra extrema a tensión en la parte inferior de la capa de MAC, fundamental en cálculo de fatiga.

Modelo de Análisis y Respuestas del pavimento

Las respuestas del pavimento se calcularon para ubicaciones críticas a través de la teoría de multicapa elástica como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Datos de entrada

Capa	Espesor propuesto (cm)	Módulo 1 (ene-jun) (MPa)	Módulo 2 (jul-dic) (MPa)	Profundidad de análisis (cm)	Respuesta por analizar	Valor de la Respuesta (μS)	
						Ene-jun	Jul-dic
MAC	12	2500	4000	6 11,99	ϵ_v ϵ_h	1,50e-4 1,55e-4 (*)	1,42e-4 1,91e-4 (*)
Base granular	20	275	350	16	ϵ_v	2,22e-4	2,27e-4
Subbase granular	35	130	190	49,5	ϵ_v	318e-4	201e-4
Subrasante	Semi-infinito	60	80	67.1 167.1 267.1	ϵ_v ϵ_v ϵ_v	329e-4 155e-4 38e-4	206e-4 88e-4 20e-4

(*) Respuestas críticas para la fatiga longitudinal.

Funciones de transferencia y predicción del deterioro

Con base en las respuestas determinadas, se determina para la fatiga el daño acumulado en períodos de 6 meses. La vida máxima de fatiga para cada semestre fue determinada así: Enero-junio, 34,810,091.37 y de julio-diciembre: 80,288,301.91. La Tabla 2 muestra un ejemplo del análisis de daño (D_i) hasta el tercer año del período de diseño y su uso en la función de transferencia para calcular el porcentaje y extensión de agrietamiento esperado con el tiempo.

Tabla 2: Análisis de daño y determinación de porcentajes de área agrietada

Período	Año	Tráfico en el período (EEq)	Daño Relativo (D_i)	Daño Relativo Acumulado	Porcentaje agrietado (%)	Agrietamiento (m/km)
1 (Invierno)	1,0	955750	0,0119	0,0119	0,006	11,9
1 (Verano)	1,5	955750	0,0274	0,0393	0,021	23,3
2 (Invierno)	2,0	1013095	0,0126	0,0519	0,028	26,9
2 (Verano)	2,5	1013095	0,0291	0,0810	0,045	33,8
3 (Invierno)	3,0	1073881	0,0133	0,0944	0,054	36,4
3 (Verano)	3,5	1073881	0,0308	0,1253	0,073	41,7

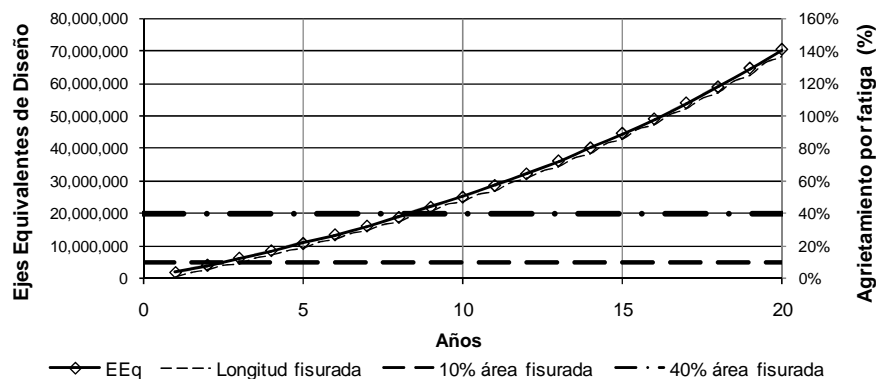
Los resultados del diseño para fatiga se muestran en la Figura 4. Dadas las condiciones a que se ve expuesto el pavimento, si el criterio de aceptación fuera 10% ó 40% máximo de área fisurada, el

pavimento no cumpliría y habría que rediseñarlo, puesto que aproximadamente a los 3 y a los 9 años de servicio, respectivamente, alcanza las condiciones críticas especificadas.

CONCLUSIONES

El artículo presentado muestra una metodología para diseño de pavimentos basada en principios mecanicistas. La propuesta está aún en desarrollo, pero demuestra que si es posible para los países latinoamericanos desarrollar guías de diseño de pavimentos alternativas a la AASHTO 93 y al MEPDG, a un costo razonable, basado en el conocimiento ingenieril de los diseñadores y mediante el uso racional de las propiedades de materiales propios y procesos de calibración adaptados al clima y tipos de suelo de cada región.

Figura 4: Gráfico de diseño para fatiga



REFERENCIAS

- Witzack., M et al. (2002) “Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, NCHRP 1-37A”. AASHTO, Washington, DC.
- Witzack., M., Leiva, P., et Loria, L. (2012). “Debe Latinoamérica Implementar su Propia Guía Empírico-Mecánica de Diseño de Pavimentos (LAMP). Boletín Técnico PITRA, Vol 3. Num. 23.
- Loria, L., Aguiar, J.P., et Corrales, J.P., (2012) “Heavy Vehicle Simulator (HVS) “Implementation at the National Laboratory of Materials and Testing Models (LanammeUCR) of the University of Costa Rica”. Accelerated Pavement Test (APT) Conference, Davis, California.
- Loria, L., Badilla., G, Aguiar, J.P., (2011) “Experiences in the Characterization of Materials Used in the Calibration of the AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) for Flexible Pavement for Costa Rica”. Transportation Research Board, #11-3359, Washington DC.

Ulloa, A., Badilla, G., Allen, J. (2008). “Determinación de Factores Camión en Pavimentos de Costa Rica”. Revista Infraestructura Vial, Vol 10 (#19), 28-37.

Aguiar, J.P., Loria, L, (2006). “Desarrollo de Modelos de Fatiga para Capas Asfálticas”. Revista Infraestructura Vial, Vol 08 (#15), 18-22.