

Guía de Diseño Mecánico - Empírico de Pavimentos para Costa Rica

Luis Guillermo Loría Salazar - Paulina Leiva Padilla - Eliecer Arias Barrantes



GUÍA DE DISEÑO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE PAVIMENTOS PARA COSTA RICA (CR-ME)

Luis Guillermo Loría Salazar, Paulina Leiva Padilla, Eliecer Arias Barrantes

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica,
400 metros norte Muñoz y Nanne, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 2511-2500 / 2511-2524

luis.loriasalazar@ucr.ac.cr, paulina.leivapadilla@ucr.ac.cr, eliecer.arias@ucr.ac.cr

Introducción

El diseño de pavimentos en Costa Rica y países de la región ha sido influenciado por las metodologías de diseño de Estados Unidos principalmente, que por años se han basado en el uso de la metodología empírica definida por la AASHTO en 1993, que ha generado un rezago considerable al desarrollo de la ingeniería de pavimentos.

Esta metodología considera condiciones climáticas, propiedades de materiales y tráfico diferentes a las presentes en países tropicales y pequeños como los de la región, por lo cual su uso admite solamente una opción de diseño que debe ser adaptada y mejorada.

En este sentido, en el PITRA-LanammeUCR, a través de su Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP), se ha venido gestando toda una línea de investigaciones, en la generación de una guía de diseño para Costa Rica, que pueda ser extrapolable a los países de la región.

El presente documento muestra parte de los detalles de los avances logrados hasta la fecha, en las labores ejecutadas en el desarrollo de la guía de diseño costarricense, que se espera sea útil también para el diseño de pavimentos de los países vecinos.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una guía de diseño mecanístico-empírica, para el diseño de pavimentos flexibles de Costa Rica y países de la región.

Generalidades de las investigaciones en la CR-ME

La definición de la línea de investigaciones en la generación de la CR-ME ha venido gestándose en el LanammeUCR desde el 2010, previo a la compra del Simulador de Vehículos Pesados (HVS, siglas en inglés); posteriormente, en el 2011 se construye el edificio que albergará el PAVELAB (nombre asignado al proyecto de ensayos acelerados). Un año más tarde, en el 2012, se consolida el plan de investigaciones del PAVELAB con la llegada del HVS a Costa Rica (Figura 1); siendo en el 2013 cuando define la sublínea de investigación en Generación de Software, partiendo de la realización de los primeros esfuerzos en el desarrollo de la herramienta de cálculo para el diseño de pavimentos flexibles.



Figura 1.- (a) Instalaciones del PAVELAB y (b) equipo para ensayo de pavimentos a escala real del LanammeUCR, HVS Mark VI (Dynatest)

Todo lo anterior abrió paso para la formulación del documento LM-PI-GM-INF-22-14, donde el LanammeUCR establece los primeros lineamientos para la incorporación de la CR-ME en el diseño de pavimentos costarricenses. Así como el diseño de una segunda herramienta de cálculo, que esta vez incorporó mejoras en la definición de los niveles de análisis, la caracterización del parámetro carga, la teoría del espesor equivalente y de multicapa elástica para la determinación del desempeño de la estructura (Figura 2).

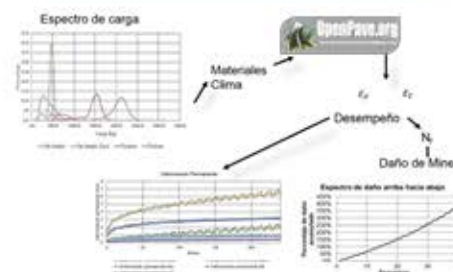


Figura 1.- PITRA-PAVE versión 2.0 (aún bajo pruebas) (Trejos, 2015)

Este mismo año, se pone a disposición del público una plataforma dentro de la página del LanammeUCR, para la descarga de una serie de herramientas desarrolladas como complemento al diseño de pavimentos: IMoDin (herramienta

para la generación de curvas maestras de módulo dinámico), PITRA-PAVE (herramienta basada en la solución del LanammeUCR para la resolución de la teoría de multicapa elástica), la primera versión del PITRA-ME (herramienta de cálculo que acompaña a la CR-ME en su versión 1.0) y el AP-Rigid (herramienta de cálculo para la determinación de las respuestas mecánicas críticas en pavimentos rígidos e inicio en su incorporación a la CR-ME) (Figura 3).



Figura 3.- Sublínea en generación de software (a) Centro de descargas, (b) IMoDin, (c) PITRA-ME v1.0 (d) PITRA-PAVE y (e) AP-Rigid (Leiva, 2013; Vargas, 2013; Trejos, 2014)

Actualmente, se está trabajando en el desarrollo de una versión simplificada del PITRA-ME para diseño mediante el uso de una plataforma web, y adicionalmente en la versión oficial, en una plataforma Java, para la sección de pavimentos flexibles, que se espera sea lanzada a finales del presente año.

Adicionalmente, de forma paralela se están desarrollando dos herramientas adicionales que complementarán el PITRA-ME en la sección de pavimentos de concreto y la sección de rehabilitaciones (Figura 4). En el segundo caso, adicionalmente se están aprovechando los esfuerzos para la

generación de una herramienta mucho más versátil a las actuales y que permita el retrocálculo de módulos con base en la solución multicapa del LanammeUCR (PITRA-PAVE).



Figura 4.- Sublínea en generación de software (a) Pavimentos de Concreto, (b) Rehabilitaciones

Seguidamente se comentará un poco, acerca de las consideraciones establecidas en la primera etapa de la CR-ME: la sección para el diseño de pavimentos flexibles.

Metodología costarricense de diseño mecanístico - empírico de pavimentos flexibles

En Costa Rica se realizó una división por niveles para el diseño de pavimentos en función del conocimiento del diseñador de las propiedades de los materiales y de la caracterización del tráfico. Se definieron tres niveles, los cuales se describen a continuación.

Nivel 1 de conocimiento

Nivel 1, es el nivel en el que el diseñador conoce el espectro de carga de la carretera a diseñar, y resultados de los ensayos NCHRP 1-28A y AASHTO T315 para la determinación de la curva maestra para la determinación del módulo dinámico de acuerdo a las temperaturas de cada subestación (NCHRP, 2004).

Nivel 2 de conocimiento

El Nivel 2 de conocimiento admite un menor conocimiento de las características de los materiales y del tráfico que tendrá el proyecto. Es por este motivo que se permite que el usuario elija entre dos opciones de espectros de carga predeterminados para basar el cálculo del tráfico de la carretera.

Los espectros de carga utilizados son los de las carreteras San José-Cartago y San José-Limón para el año 2009 (Ulloa y otros, 2007), que son las únicas dos carreteras con más de tres años de encuestas de carga, tal como es solicitado en la guía MEPDG.

En cuanto a los materiales, se utiliza la ecuación de Witczak-Lanamme (Elizondo y otros, 2008) para la caracterización del

módulo dinámico de la carpeta asfáltica, mientras que para la caracterización del módulo resiliente de los materiales de la base, subbase y subrasante, se utilizan los modelos propuestos por Juan Diego Porras en su tesis de grado (Porras, 2009).

Nivel 3 de conocimiento

En este nivel, se admite que el diseñador utilice valores característicos de módulo para la carpeta asfáltica y los materiales que componen la base, subbase y subrasante.

En este nivel, con ayuda de los factores camión determinados por el LanammeUCR o el MOPT, o los propios ingresados por el usuario, calcular la cantidad de ejes equivalentes de carga. Luego para el cálculo de las respuestas del pavimento, se utiliza la metodología de espesor equivalente, para luego utilizar las ecuaciones de transferencia, realizando una discretización semestral del tiempo para determinar el desempeño del pavimento.

Este nivel debe ser utilizado para que el diseñador tenga una idea del desempeño que presentará el pavimento con los espesores iniciales ingresados al programa. En este nivel se permite que el usuario incluya hasta un máximo de seis capas.

Conclusiones y recomendaciones

La utilización de un enfoque mecanicista para el diseño de pavimentos permite volver a las raíces de la ingeniería y de este modo determinar los porcentajes y cantidades de cada deterioro en función de las respuestas específicas del pavimento.

En cuanto al enfoque de endurecimiento por deformación unitaria, su importancia está en que permite que la curva de deformación permanente en función del tiempo o de los ejes de carga acumulados, tenga un comportamiento en que se muestre un crecimiento rápido al inicio y una tendencia lineal de aumento de la deformación en la segunda etapa de acumulación del ahuellamiento, tal como lo predice la curva teórica de acumulación de la deformación permanente.

Por otra parte, dejar de lado la utilización de los factores camión o los factores de equivalencia de carga para poder caracterizar el tráfico al que será sometida la carretera a diseñar, permite eliminar el sesgo producido debido a las diferencias de enfoques, los cuales pueden dar resultados de ESAL que varían considerablemente.

Mientras que utilizar el enfoque en el cual se determina el daño producido por cada una de las cargas del espectro, permite conocer de manera más puntual el desempeño del pavimento ante cada una de las cargas, a lo largo de todo el tiempo en que se espera que el pavimento tenga una serviciabilidad adecuada.

Esto puede ayudar a dar recomendaciones a las autoridades respecto al daño producido por vehículos transportando cargas pesadas, además de permitir conocer el desempeño esperado del pavimento a lo largo de la vida útil, lo cual permite programar más eficientemente los mantenimientos.

En países tropicales como Costa Rica, considerar la variable climática en el diseño de pavimentos debe ser una obligación si se quiere llegar a mejorar la calidad de la infraestructura del

país. Esto debido a que pueden encontrarse condiciones de altas temperaturas como en Guanacaste, por lo cual en lapsos grandes de tiempo el módulo dinámico será más bajo de lo que podría obtenerse con modelos como el de Witzak-Lanamme.

Además en carreteras como la que va de San José a Limón y viceversa, los porcentajes de humedad y la gran presencia de precipitaciones en la mayoría de meses del año, hacen que en gran parte del tiempo la subrasante esté sometida a niveles de saturación cercanos al 100%, lo cual disminuye considerablemente el módulo resiliente.

El software hasta el momento tiene como limitación que no puede ser utilizado para diseñar pavimentos con bases estabilizadas con cemento ni reconstrucciones de pavimentos, sin embargo como mejora al software puede incluirse en el cálculo de las respuestas un módulo en el cual el usuario introduzca los datos obtenidos del FWD (Falling Weight Deflectometer) y que el programa calcule los módulos a partir de estos datos basándose ya sea en el método de Odemark Boussinesq o en el método de Multicapa Elástica.

En cuanto a las bases estabilizadas con cemento, los criterios de verificación de desempeño son diferentes por lo cual debería cambiarse esto en caso de que el usuario seleccione este tipo de base.

En cuanto al clima, el programa realiza una discretización del tiempo mensual. Para esto se utilizan los datos promedio mensuales de precipitación y temperatura. Esta simplificación representa una limitación al compararlo con la guía AASHTO-MEPDG, pues en esta guía se realiza una discretización horaria del tiempo, suponiendo que las condiciones climáticas tendrán un comportamiento que se ajusta a una distribución normal. Esto es una de las posibles mejoras a la metodología planteada para Costa Rica.

Referencias Bibliográficas

- Leiva, P. (2013). "Herramienta de cálculo de la curva maestra de módulo dinámico". San José: Manual de usuario. Informe LM-PI-UMP-017, Unidad de Materiales y Pavimentos, Programa de Infraestructura del Transporte, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.
- Vargas, J. (2013). "Elementos fundamentales para el desarrollo de una Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-Mecánica para Costa Rica". San José: Trabajo Final de graduación para optar por el grado de licenciatura en ingeniería civil de la Universidad de Costa Rica.
- Trejos, C. (2014). "Interfaz gráfica para diseño mecanístico-empírico de pavimentos en Costa Rica". San José: Manual de usuario. Informe LM-PI-UMP-030-R, Unidad de Materiales y Pavimentos, Programa de Infraestructura del Transporte, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.
- Trejos, C. (2015). "Herramienta de cálculo complementaria a la Nueva Metodología de Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos Flexibles de Costa Rica". San José: Trabajo Final de graduación para optar por el grado de licenciatura en ingeniería civil de la Universidad de Costa Rica.
- Loria, L., Trejos, C., y Leiva, P., (2015). "Avance de las investigaciones en la generación de la interfaz de cálculo que acompañará a la nueva Guía de Diseño de Pavimentos Costarricense". XVIII Congreso Iberoamericano del Asfalto (CILA-2015).