

PRIMEROS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A ESCALA ACELERADA EN COSTA RICA

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD

Ing. Paulina Leiva Padilla

Ing. Fabricio Leiva Villacorta, PhD

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, fabricio.leiva@ucr.ac.cr

Introducción

Los equipos de ensayo acelerado de pavimentos (APT, por sus siglas en inglés), fueron concebidos como una necesidad de los países sudafricanos, de realizar pavimentos económicamente accesibles y cuyo desempeño cumpliera con las solicitudes ante las cuales se veían sometidos.

La idea de los APT es fundar las metodologías de diseño, en las teorías mecánicas que describen el comportamiento de los materiales y las estructuras en la realidad y, que definen las bases de la ingeniería.

Tradicionalmente en el diseño y análisis de pavimentos se pueden identificar tres estados en transición: el empírico, el empírico-mecánico y el mecánico.

Las bases de los APT se ubican dentro del estado mecánico, lo que les confiere gran utilidad en el desarrollo y calibración de metodologías de análisis y diseño.

Costa Rica en particular ha estado muy influenciada por las metodologías de diseño provenientes de los Estados Unidos, cuyas bases se establecen, en el empirismo definido en resultados estadísticos del comportamiento de los materiales y de las estructuras durante su vida útil, práctica que ha retrasado en cierta medida el desarrollo de la ingeniería de pavimentos en la historia.

El estado de la práctica actual (empírico-mecánica), ha evolucionado hacia la verificación del desempeño de las estructuras diseñadas con metodologías empíricas como la AASHTO 93, por medio de la predicción de las respuestas de los pavimentos a desarrollar cinco tipos de deterioros comunes: agrietamiento por fatiga, deformación permanente, agrietamiento por baja temperatura, reflejo de grietas o su propagación y pérdida de durabilidad (oxidación, daño por humedad), acercando un poco más los diseños realizados a las condiciones reales.

El estado del arte, que confiere el campo de las investigaciones actuales, ha llevado a los ingenieros a retornar a las bases de la mecánica de los materiales, con la finalidad de proponer metodologías más económicas pero sin dejar de lado la calidad de las estructuras.

En Costa Rica, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, LanammeUCR, es el ente designado por ley para el desarrollo de investigaciones en nuevas metodologías y prácticas que promuevan una mejor calidad de la infraestructura del país.

Es por esto que desde el 2005, el Programa de Infraestructura del Transporte a través de su Unidad de Materiales y

pavimentos, evaluó la posibilidad de construir y utilizar secciones de pavimento a escala natural para el desarrollo de ensayos de simulación a escala acelerada de pavimentos.

Luego del análisis de las diferentes opciones y métodos disponibles en el mundo, se determinó que para las condiciones tanto técnicas y económicas del país, el Simulador de Vehículos Pesados (Heavy Vehicle Simulator, HVS), era el equipo que mejor se adaptaba.

Con el HVS se pretende el desarrollo de una caracterización adecuada del desempeño de las estructuras de pavimentos del país a largo plazo, como único método para lograr el desarrollo y calibración apropiados de la Guía Mecánico-Empírica de Diseño para Costa Rica (CR-ME) que se encuentra actualmente en desarrollo.

Objetivos

Objetivo general

Describir las tareas desarrolladas en el LanammeUCR durante el proceso de implementación de los ensayos a escala acelerada para pavimentos en Costa Rica.

Materiales y Métodos

El proyecto se ha definido en varias fases por medio de las cuales, se espera lograr el desarrollo adecuado de ensayos acelerados a escala natural en Costa Rica.

La primera fase consiste en el ensayo en laboratorio de ocho pistas experimentales, con las cuales, se pretende desarrollar la experiencia necesaria para el desarrollo de las fases que le preceden, que implicarán, el traslado del equipo a las nuevas instalaciones que se construirán en la sede de la Universidad de Costa Rica en Guanacaste y, a diferentes proyectos localizados en el país.

A continuación se describen los materiales y métodos relacionados con la primera fase mencionada anteriormente.

Pistas experimentales

Las ocho pistas experimentales construidas para la primera fase se ubican en una fosa de 22.0 metros de largo, 8.2 metros de ancho y una profundidad que varía entre los 2.55 metros y 2.75 metros, ubicada en las instalaciones del programa de investigación asignado: PAVELAB (Figura 1).



Figura 1.- Excavación de la fosa para la construcción de las pistas

Cuatro de las ocho pistas cuentan con material granular como base y las cuatro restantes, con base estabilizada con 4.2% de cemento por metro cúbico -en ambos casos el espesor de esta capa es de 25 cm-. La geometría y las propiedades de los materiales de las estructuras de pavimento propuestas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Geometría y propiedades de los materiales de las pistas de ensayo

Propiedades\Tramo	AC1	AC2	AC3	AC4
H1, cm - (MA)	7,0	7,0	12	12
H2, cm - (Base)	24	24	24	24
H3, cm - (SB)	30	30	30	30
E1 @ 25 °C, MPa	3500	3500	3500	3500
E2, MPa	2000	200	200	2000
E3, MPa	140	140	140	140
E4, MPa	35	35	35	35
Asfalto	PG 64-22	PG 64-22	PG 64-22	PG 64-22

Instrumentación

Ya que la medición apropiada de las respuestas del ensayo es uno de los principales objetivos en investigaciones de este tipo, es necesaria una instrumentación adecuada de las pistas de ensayo. Para la primera etapa del proyecto se colocaron: perfilómetro laser 3D automatizado, transductores para medición de presión para pavimentos y para suelos, deflectómetros de profundidad múltiple, deflectómetro de superficie del pavimento y termocuplas; cuyo arreglo es posible observar en la Figura 2.

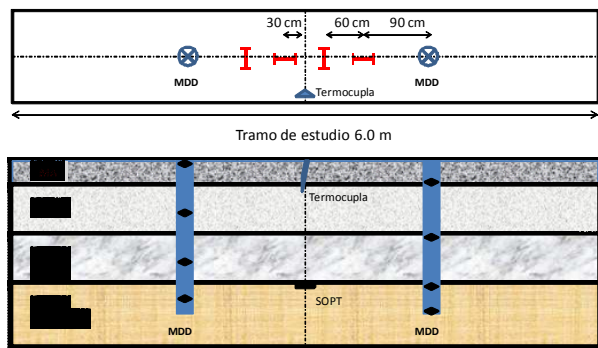


Figura 2.- Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa

Evaluación de Resultados

Primeramente, para la caracterización de las estructuras finalmente colocadas, se utilizó el radar de penetración para la determinación de los espesores de cada capa. Como se muestra en la Figura 3 se determinó que el espesor promedio de la capa asfáltica para las secciones AC1 y AC2 es de 5,1 cm y de 13,1 cm para las secciones AC3 y AC4. Por otro lado el material de base granular y base estabilizada para las secciones AC1 y AC2 fue en promedio 18.0 cm y 21.2 cm respectivamente. Para las secciones restantes se obtuvo 31,0 cm de base granular y 24,9 cm de base estabilizada. Finalmente se calculó que el espesor promedio de la sub-base granular de 30,1 cm.

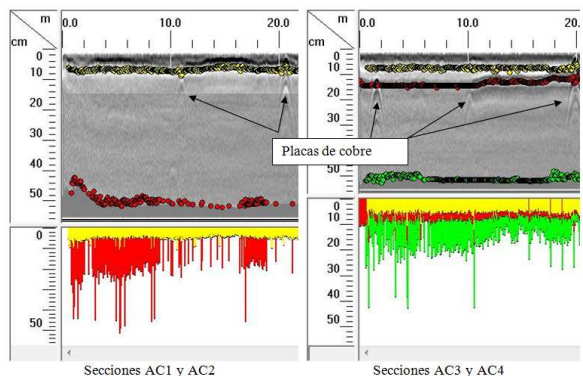


Figura 3.- Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa

Seguidamente, con la ayuda de deflectómetros de profundidad múltiple (MDDs), se recopilaron datos de deflexión en las diferentes capas del pavimento de la primera pista de ensayo AC1 (Figura 4).

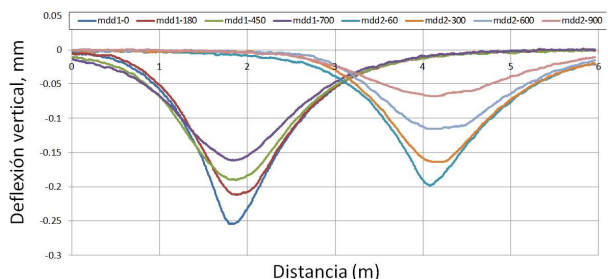


Figura 4.- Deflexión vertical medida con los MDDs

Los valores mdd1 representan la deflexión medida a nivel de superficie, la mitad de las capas granulares y a 200 mm dentro de la subrasante; mdd2, la deflexión medida a profundidades a nivel de interface entre capas y a 300 mm dentro de la subrasante. Los resultados muestran consistencia y distribución de las cargas traducida en menores deflexiones con la profundidad. Todo esto se realizó con una carga de 20 kN por neumático a una velocidad de 4 km/h. Con estos datos es posible obtener un perfil tridimensional como el que se muestra en la Figura 5.

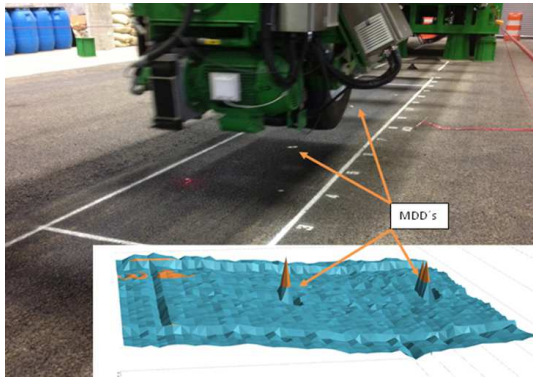


Figura 5.- Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa

Al finalizar el ensayo de la primera pista, se realizaron mediciones con el deflectómetro de impacto (FWD), los resultados mostraron heterogeneidad en los materiales de las capas superiores y homogeneidad en las inferiores (Figura 6).

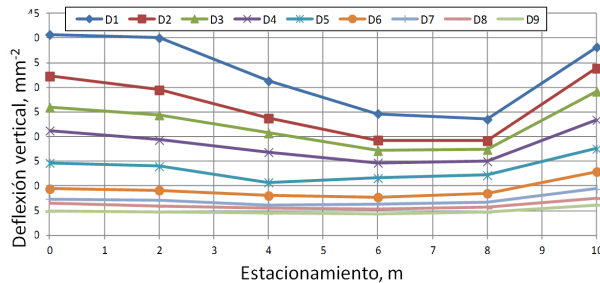


Figura 6.- Resultados ensayo de deflectometría de impacto

En complemento a los resultados anteriores, se determinaron los siguientes indicadores internacionales que permiten cuantificar la capacidad de soporte de la estructura: Índice Base de Curvatura (BCI, por sus siglas en inglés), Índice base de Daño (BDI, por sus siglas en inglés) e Índice de Curvatura Superficial (SCI, por sus siglas en inglés).

Con estos parámetros se determinó que para el caso de la base estabilizada, no se superó el valor de BCI de los $80 \times 10^{-3} \text{ mm}$, lo que indica que no hay deficiencias en las capas intermedias, por otro lado, en los extremos se alcanzaron valores de BDI de $100 \times 10^{-3} \text{ mm}$, lo que significa deficiencias en la capa de base, finalmente, para la capa asfáltica, el valor de SCI estuvo por debajo de $50 \times 10^{-3} \text{ mm}$ y con poca variabilidad, lo que indica homogeneidad de esta capa. La Figura 7 presenta los resultados respectivos.

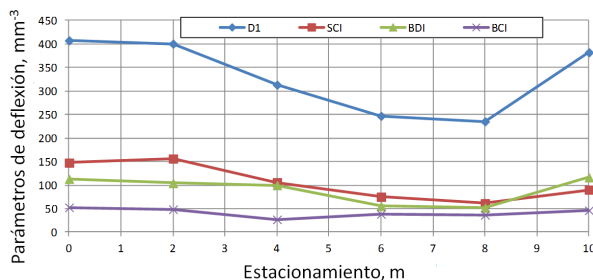
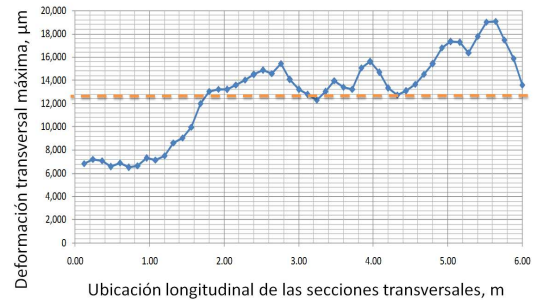


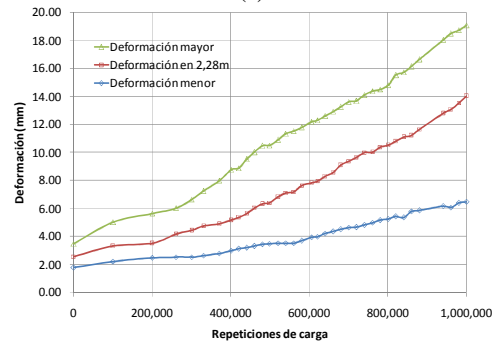
Figura 7.- Parámetros de deflexión

Adicionalmente, en la Figura 8 se muestra el perfil del tramo

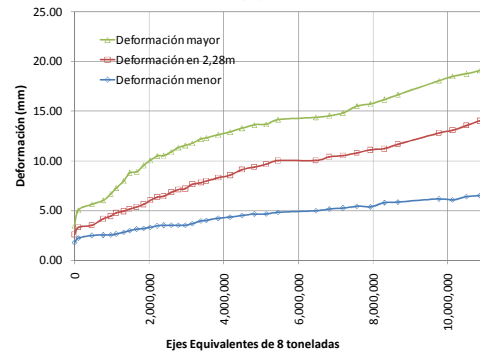
al final del ensayo, cuando la sección alcanzó el límite de falla establecido -12.5 mm ; así como la progresión de la deformación -máxima, mínima y un valor representativo-, de la sección con respecto a las repeticiones de carga y los ejes equivalentes.



(a)



(b)



(c)

Figura 8.- (a) Deformación longitudinal máxima a 1.000.000 de repeticiones, deformación permanente con respecto a (b) repeticiones de carga y (c) ejes equivalentes

En complemento a lo anterior, la Figura 9 presenta las secciones transversales promedio del perfil medido a diferentes niveles de repetición de carga. Esta figura revela el efecto de consolidación de la estructura y el desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica.

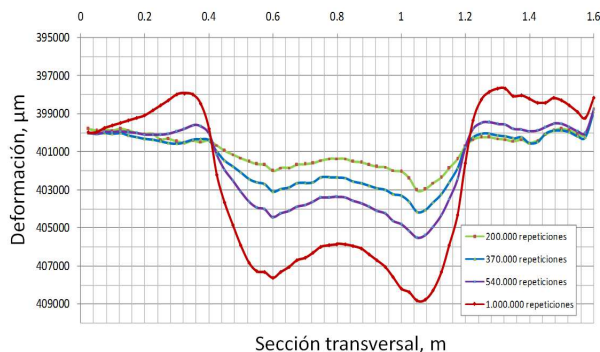
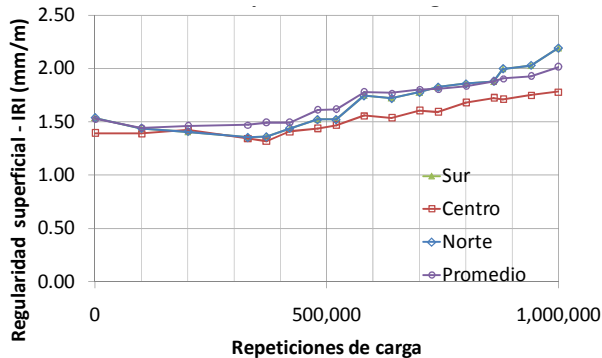
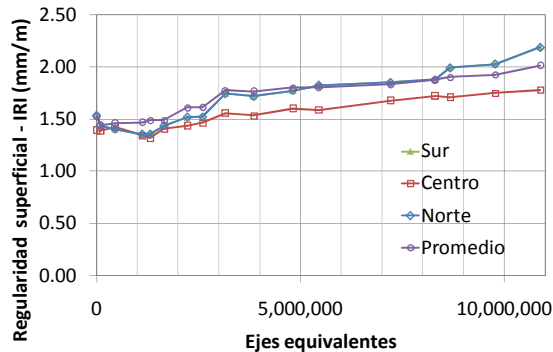


Figura 9.- Deformación transversal promedio

Por otro lado, considerando los valores de deformación longitudinal de la superficie, medidos con el sistema láser incorporado, se realizaron los cálculos respectivos al índice de regularidad superficial (IRI, por sus siglas en inglés) a lo largo de la realización del ensayo. Como se aprecia en la Figura 10, se parte de valores de IRI = 1.5 m/km, que disminuyen ligeramente a 1.3 m/km -resultado de la pasada de la llanta- y luego, como corresponde teóricamente, vuelven a aumentar. Cabe mencionar que estos valores de IRI bajos pueden asociarse a la limitación de la corta longitud del tramo de prueba.



(a)



(b)

Figura 10.- Regularidad superficial según (a) repeticiones de carga y (b) ejes equivalentes

Conclusiones

La experiencia obtenida del desarrollo de este proyecto ha permitido para Costa Rica, por medio de su LanammeUCR, generar la base para un desarrollo exitoso de investigación de primer mundo en el área de carreteras.

Por la naturaleza del proyecto, este es solo el inicio de una serie de resultados que vendrán a permitir al LanammeUCR, el desarrollo de metodologías de diseño que serán la base para la generación de la Guía Empírico-Mecánica de Diseño para Costa Rica, CR-ME, que será un insumo fundamental en la ingeniería de pavimentos del país, garantizando la máxima eficiencia en la inversión en infraestructura, principal tarea asignada por ley al LanammeUCR.

Referencias bibliográficas

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", Washington, D.C.

Asphalt Institute (1981). "Thickness Design—Asphalt Pavements for Highways and Streets". *MS-1, Manual Series No. 1. Ninth Edition.* United States of America.

Coetzee, N. et al. (2008). "The Heavy Vehicle Simulator in Accelerated Pavement Testing: Historical Overview and New Developments". *3rd International Conference APT.*

"Heavy Vehicle Simulator. Monitoring of test sections and instrumentation". Documento consultado el 6 de abril del 2010. <http://www.gautrans-hvs.co.za/>

LTPP. (2009). "LTPP Beyond FY 2009: What Needs to Be Done?". *ReporteFHWA-HRT-09-052.*

Theyse, H.L. (2000). "Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Method" *South African Transport Conference*

Leiva, F. et al. (2013) "Implementación de Ensayos Acelerados de Pavimentos en Costa Rica con el Equipo HVS". *XVII Congreso Iberoamericano del Asfalto, CILA2013.* Antigua, Guatemala.