

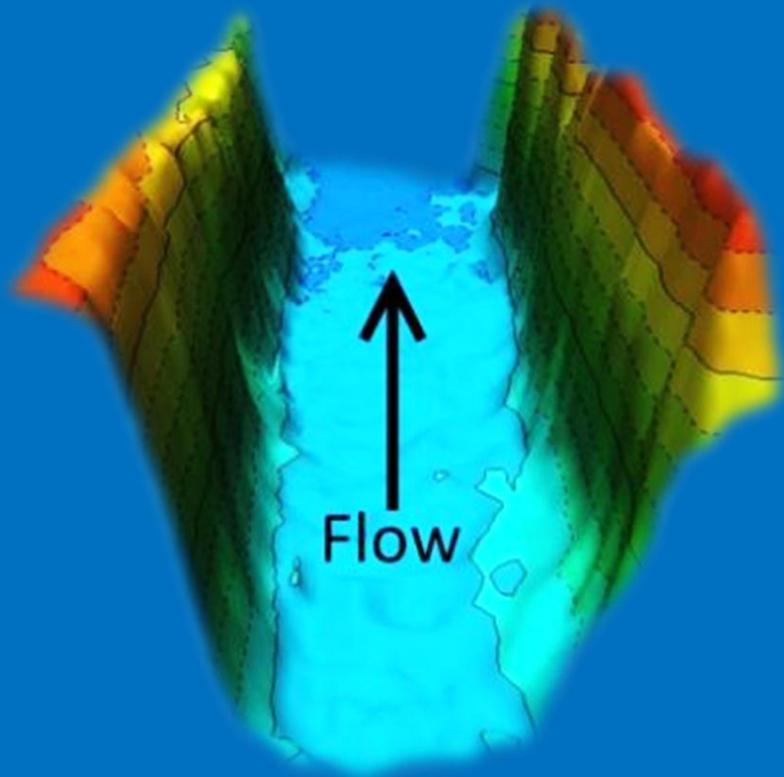


Volumen 4 – 2014

ISSN: 0719-0514

INGENIERÍA

de Obras Civiles



*Revista Científico – Tecnológica
Departamento Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de La Frontera - Chile*



REVISTA INGENIERIA DE OBRAS CIVILES

Estimados Lectores:



“Producir conocimiento aplicable, fomentar la innovación, formar y reciclar profesionales cualificados a lo largo de la vida, valorizar la investigación y fomentar proyectos emprendedores con organizaciones o empresas del ámbito público o privado, son acciones relevantes de la tercera misión de las universidades.

Por ello, es que resulta de gran valor para nuestro quehacer universitario, el trabajo que realiza el Departamento de Ingeniería de Obras Civiles de nuestra Universidad, a través de la continuidad de su revista RIOC.

Al igual que en sus ediciones anteriores, esta nueva edición evidencia la generación de importantes lazos que han permitido establecer las bases para el desarrollo de actividades colaborativas y conjuntas en áreas específicas como la construcción y medioambiente.

Sin duda, esta colaboración en el ámbito de la generación y transmisión de conocimiento se constituye como una valiosa oportunidad, tanto para estudiantes como para investigadores y académicos de nuestra Facultad, de contribuir al desarrollo de la región y país.

Instamos a continuar fortaleciendo iniciativas como estas, que dan cuenta del resultado de acciones concretas en materia de extensión académica y del trabajo que se viene realizando, de manera sostenida, en investigación básica y aplicada”.

Mg. Ruth Novoa Troquián
Directora Vinculación con el Medio
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Universidad de La Frontera



REVISTA INGENIERIA DE OBRAS CIVILES

RIOC es una revista anual de carácter científico - tecnológico que proporciona un foro nacional e internacional para la difusión de la investigación y desarrollo en todos los ámbitos relacionados con la construcción, entendiéndose áreas como materiales de construcción, ciencias de la ingeniería aplicada, arquitectura, edificación, obras civiles, gestión de proyectos, entre otras.

En un momento en que existe una gran necesidad por estar continuamente actualizados en todos los profesionales del área de la construcción para optimizar el uso de recursos, utilizar nuevas tecnologías que sean sustentables y eficientes, y a su vez, emplear nuevos métodos de construcción y materiales, RIOC proporciona un espacio para compartir y divulgar conocimientos, de manera tal, de abrir la discusión en estas temáticas planteadas, entregando información esencial que ayudará a mejorar la eficiencia, la productividad y la competitividad en los profesionales del área de la construcción. Por lo tanto, es una lectura esencial para proporcionar a los profesionales del área, académicos y alumnos que trabajan e investigan en este campo, un material de discusión que renueve y actualice sus conocimientos.

En este contexto, RIOC hace extensiva la invitación a todos los interesados a publicar sus artículos originales con la finalidad de divulgar la producción científica - tecnológica de académicos, investigadores, profesionales y estudiantes en temas relacionados con el desarrollo del área de la construcción.

Comité Editorial Asociado
Revista Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de La Frontera



Director

Gonzalo Valdés

Editora Responsable

Viviana Letelier

Editores Asociados

Daphne Bormann

Javier Olhagaray

Alejandra Calabi

Bernardo Valdebenito

*Revista Ingeniería de Obras
Civiles:*

*Avenida Francisco Salazar 01145
Temuco
Chile*

*Departamento de Ingeniería de
Obras Civiles
Universidad de La Frontera*

*Fono:
+56/45/2325680*

*Fax:
+56/45/2325688*

Email: rioc@ufrontera.cl

ISSN 0719-0514

Comité Editorial:

Ph.D. Tatiana Amaral, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

Ph.D. Adriana Martínez, Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

MSc. Carlos Aguirre, Escuela de Construcción Civil, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Ph.D. Galo Valdebenito, Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Gonzalo Valdés, Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

Ph.D. Mario Salazar, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana, Morelia, México.

Ph.D. Oscar Link, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile.

Ph.D. Oscar Reyes, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

MSc. Ramón Botella, Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Ph.D. Virginia Vásquez, Departamento de Arquitectura, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Viviana Letelier, Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

Ph.D. Alejandra Calabi, Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.



Sumario

5. Efectos de la canalización y rectificación de cauces en la calidad del hábitat del salmón Chinook durante las etapas de desove y juvenil.

Effects of reach channelization and straightening on the habitat quality for Chinook salmon at spawning and juvenile stages.

Monsalve A. y Tonina D.

14. Evaluación del Plan de Reacondicionamiento Térmico en Temuco y Padre Las Casas.

Thermal Reconditioning Plan Evaluation in Temuco and Padre Las Casas.

Cárdenas J.P., Araneda C. y Beaumont J.C.

23. Éxito de los ensayos acelerados a escala natural en Costa Rica.

Successful of Accelerated Tests on Natural Scale in Costa Rica.

Loría L., Aguiar J., Padilla P. y Villacorta F.

29. Análisis de Mitigación Estructural de Lahares en el Poblado de Melipeuco, Derivados del Volcán Llaima – Chile, Valor de la Ciencia Mapuche, de la Observación Permanente.

Structural Mitigation Analysis lahars in the Melipeuco Town, Derivatives Llaima Volcano – Chile, Value of Mapuche Science, Permanent Observer.

Amigo A., Silva C. y Saavedra. P.

48. Efecto de la Adición de Cemento en Hormigones con Áridos Reciclados.

Effect of the Cement Addition on Recycled Aggregates Concrete.

Letelier V., Osses R. y Moriconi G.

Éxito de los ensayos acelerados a escala natural en Costa Rica. Successful of Accelerated Tests on Natural Scale in Costa Rica.

Loría L.¹, Aguiar J.², Padilla P.³, Villacorta F.⁴

¹ *Coordinador General, PITRA-LanammeUCR*

² *Coordinador, Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA-LanammeUCR*

³ *Investigadora, Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA-LanammeUCR*

⁴ *Investigador, Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA-LanammeUCR*
luis.loriasalazar@ucr.ac.cr, phone: 506-2511-2542, fax: 506-2511-4442

RESUMEN

El diseño de pavimentos en Costa Rica, tradicionalmente ha sido realizado por medio del uso de la metodología de diseño AASHTO 93, que basa en correlaciones empíricas de los resultados obtenidos de las pistas de ensayo de Ottawa, Illinois en 1950. Hace algunos años en los Estados Unidos, - donde fue originada esta metodología-, se identificó la necesidad de una transición de este estado empírico (estado actual), hacia un estado empírico-mecanística (estado del arte), y finalmente una implementación totalmente mecánica (estado de las investigaciones actuales), buscando con este objetivo un retorno a los principios básicos de la ingeniería. Dentro de este contexto, ha sido por tanto necesario el contar, con una base de datos que permita generar los modelos requeridos para una adaptación a las condiciones propias de los materiales y del lugar. En Costa Rica, debido a la falta de un historial de datos y, contemplando la experiencia en el diseño de los países sudafricanos, quienes a razón de recursos, han apostado por la práctica de la ingeniería a lo largo de todos estos años; se adquirió un equipo para el análisis acelerado de pavimentos en la escala natural: el Simulador de Vehículos Pesados (HVS, por sus siglas en inglés). Los primeros ensayos de implementación y adaptación desarrollados por el PITRA-LanammeUCR se muestran a continuación en el presente documento

ABSTRACT

Traditionally the design of pavements in Costa Rica had been made using AASHTO 93 design method, which is related with empirical correlations of the results obtained from Ottawa, Illinois testing tracks, in 1950. Some years ago in the United States of America, where that methodology was generated, it had been recognized the necessity of one transition from this empirical state (actual state), to one empirical-mechanistic (state of art) and finally, in a few years later, to a total mechanical implementation (state of the recent research), in order to return to the use of the basic engineering principles. In front of this context, it is necessary to count whit a database, to develop the required models to adjust the materials conditions of specific the place. Costa Rica does not count with a database with those characteristics, because of this reason, and taking in count the experience of South African people, who by economical reasons, always have opted by the engineering practice; PITRA-LanammeUCR decided to buy an Accelerated Pavement Tester (APT): the Heavy Vehicle Simulator (HVS). The first results obtained are shown below in this document.

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del artículo:
Recibido 16-05-2014
Aceptado 21-07-2014
Publicado 10-11-2014

Palabras Claves:
Ensayos a escala acelerada
Diseño
Pavimentos
Materiales

ARTICLE INFO

Article history:
Received 16-05-2014
Accepted 21-07-2014
Available 10-11-2014

Keywords:
Accelerated Scale Tests
Design
Pavements
Materials

1. 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 solicitaciones ante las cuales se veían sometidos. La idea de los APT es fundar las metodologías de diseño, en las teorías mecanísticas 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-mecanístico y el mecanístico.

Las bases de los APT se ubican dentro del estado mecanístico, 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-mecanicista), 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 (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.

2. 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.

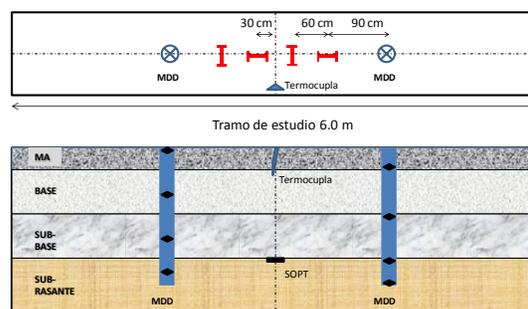


Figura 2.- Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa.

3. 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.

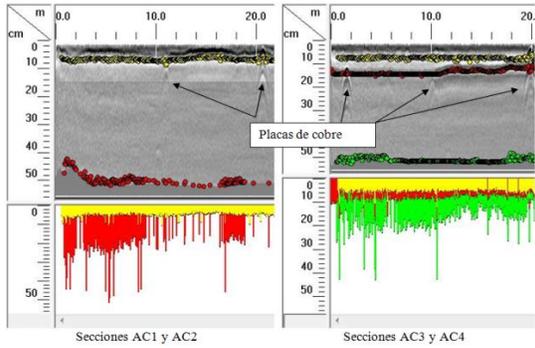


Figura 3.- Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa.

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

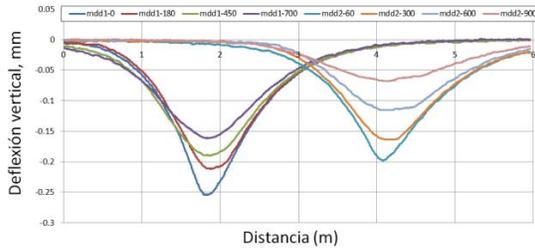


Figura 4.- Deflexión vertical medida con los MDDs

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.

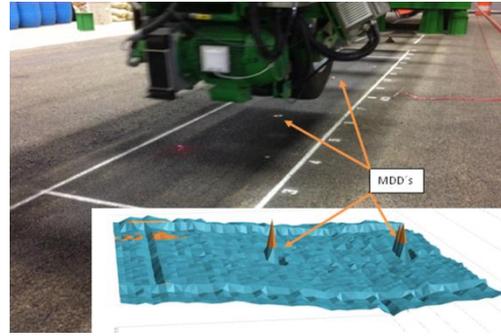


Figura 5.- Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa.

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).

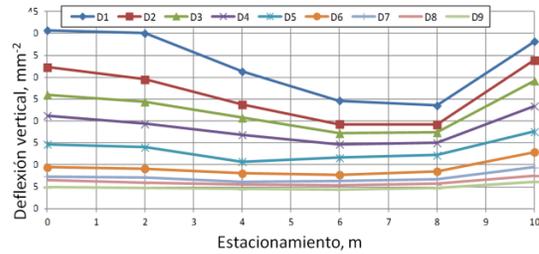


Figura 6.- Resultados ensayo de deflectometría de impacto

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 80x10-3mm, lo que indica que no hay deficiencias en las capas intermedias, por otro lado, en los extremos se alcanzaron valores de BDI de 100x10-3mm, lo que significa deficiencias en la capa de base, finalmente, para la capa asfáltica, el valor de SCI estuvo por debajo de 50x10-3 mm y con poca variabilidad, lo que indica homogeneidad de esta capa. La Figura 7 presenta los resultados respectivos.

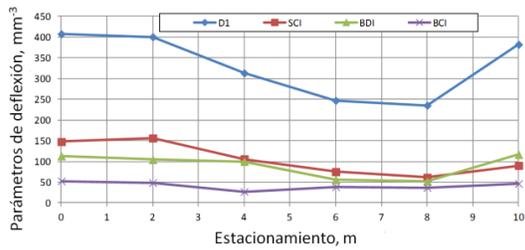
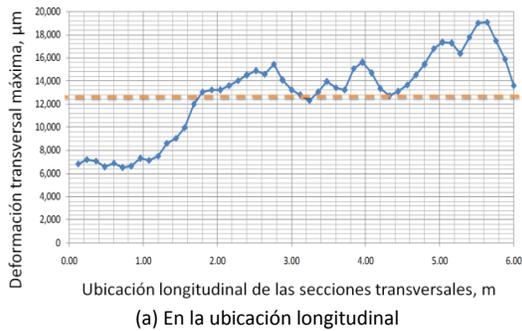
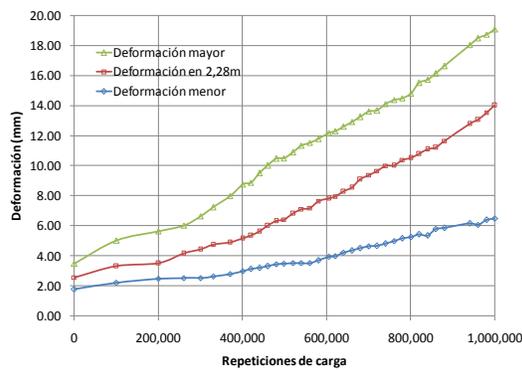


Figura 7.- Parámetros de deflexión.

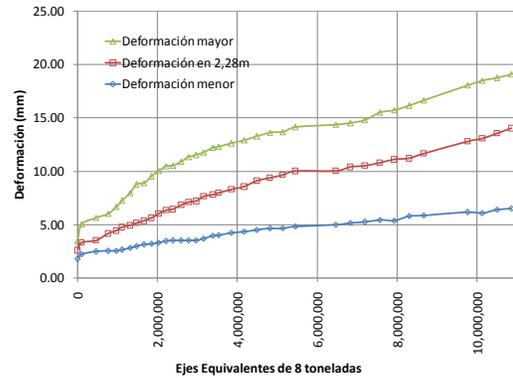
Adicionalmente, en la Figura 8 se muestra el perfil del tramo al final del ensayo, cuando la sección alcanzó el límite de falla establecido -12.5 mm-; así como la progresión de la deformación - máxima, mínima y un valor representativo-, de la sección con respecto a las repeticiones de carga y los ejes equivalentes.



(a) En la ubicación longitudinal



(b) Con respecto a repeticiones de carga



(a) En la ubicación longitudinal

Figura 8.- Deformación permanente

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.

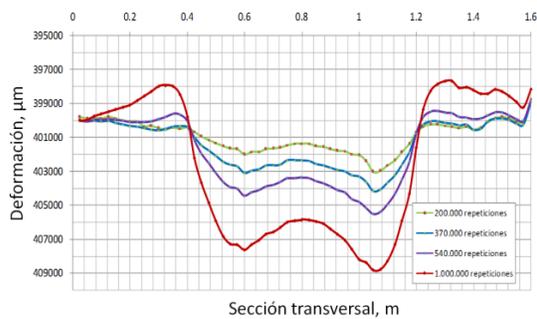
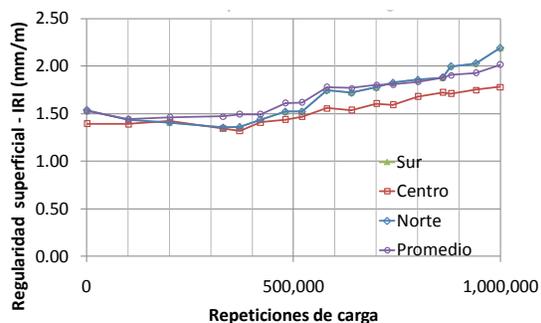
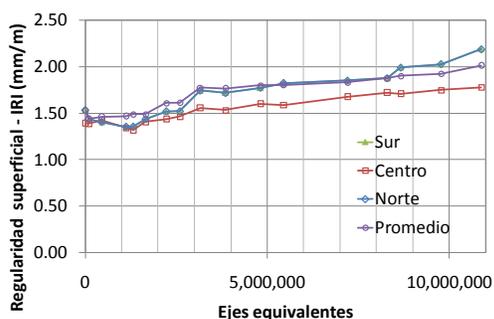


Figura 9.- Deformación transversal promedio

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) Con respecto a carga



(b) Con respecto a ejes equivalentes

Figura 10.- Regularidad superficial.

4. 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

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?. Reporte FHWA-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.

Loría, L., Leiva, P., Leiva, F. 2014. Primeros ensayos de los ensayos a escala acelerada en Costa Rica. XIV CIC Congreso de Ingeniería Civil 2014. San José, Costa Rica.