

119-3-13
**CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO DEL LABORATORIO A
ESCALA NATURAL DE PAVIMENTOS DEL LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA: EL
PAVELAB**

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

Ing. Edgar Camacho Garita
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
edgar.camachogarita@ucr.ac.c

Ricardo Quirós Orozco
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
San Pedro, Costa Rica
ricardo.quirosorozco@ucr.ac.cr

Resumen

El LanammeUCR es un ente académico adscrito a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. El Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, trabaja directamente con el gobierno de Costa Rica realizando investigación aplicada, auditando y transfiriendo tecnología. Está financiado mediante una ley que asigna el 1% del impuesto al combustible aplicado en Costa Rica al LanammeUCR con el principal objetivo de asegurar la eficiencia de la inversión en carreteras en el país. Para cumplir este objetivo, PITRA ha destinado una suma considerable de sus fondos hacia la adquisición de equipos de alta tecnología o del estado del arte tales como el FWD, RSP, Geo3D y equipo para pruebas dinámicas de caracterización de materiales, entre otros. Con el objetivo de mejorar el diseño y construcción de estructuras de pavimento, así como mejorar el entendimiento de los diferentes materiales usados, LanammeUCR decidió adquirir un Simulador de Vehículos Pesados (HVS por sus siglas en inglés) con instrumentación. Con este equipo de ensayo acelerado, LanammeUCR estará totalmente equipado para monitorear el desempeño de diferentes estructuras de pavimento, materiales y nuevas tecnologías de pavimentos, además de desarrollar y calibrar una guía de diseño empírico mecánico para clima, materiales y tráfico locales. Este trabajo técnico resume el plan inicial para el diseño del edificio del sistema de ensayo acelerado que fue construido en LanammeUCR. Esta instalación incluye un sistema de saturación que simula las condiciones del pavimento durante la intensa estación lluviosa de Costa Rica.

Resumo

O LanammeUCR é uma entidade acadêmica ligada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Costa Rica. O Programa de Infra-estrutura do Transporte (PITRA) do

LanammeUCR, trabaja directamente con el gobierno de Costa Rica haciendo investigación aplicada, auditoría y transferencia de tecnología. Está financiado por medio de una ley que asigna el 1% del impuesto sobre los combustibles aplicado en Costa Rica para el LanammeUCR con el principal objetivo de garantizar la eficacia de la inversión en las carreteras del país. Para lograr este objetivo, el PITRA tiene asignada una cantidad considerable de sus recursos para la adquisición de equipos de alta tecnología o de vanguardia como el FWD, RSP, Geo3D y equipo para pruebas dinámicas de caracterización de materiales, entre otros. Con el objetivo de mejorar el dimensionamiento y construcción de las estructuras de pavimento y mejorar el entendimiento de los diferentes materiales utilizados, el LanammeUCR decidió adquirir un Simulador Móvil de Tráfico tipo HVS (heavy vehicle simulator) y instrumentación. Con este equipo de prueba acelerado, el LanammeUCR estará completamente equipado para monitorear el desempeño de diferentes estructuras de pavimentos, materiales y nuevas tecnologías de pavimentos, además de esto podrá desarrollar y calibrar una guía de dimensionamiento mecánico-empírico de pavimentos para el clima, materiales y tráfico local. Este trabajo técnico resume el plan inicial para la concepción del sistema de prueba acelerado que fue construido en el LanammeUCR. Esta facilidad incluye un sistema de saturación que simula las condiciones del pavimento durante una intensa estación lluviosa de Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Desde principios de los noventa, fue evidente que el estado de la infraestructura del transporte en Costa Rica se fue deteriorando rápidamente. Esta condición empeoró debido a la falta de supervisión y planeamiento de la Administración (Ministerio de Obras Públicas y Transportes). Para empeorar aún más la situación, el componente del presupuesto nacional dedicado a la inversión en carreteras fue drásticamente reducido (MOPT, 2011) como consecuencia de las políticas a nivel macroeconómico pertinentes al gasto público, resultado de los Programas de Ajuste Estructural establecidos bajo la guía del Fondo Monetario Internacional (FMI).

Esta reducción del gasto en carreteras resultó en el acelerado deterioro de la infraestructura del transporte del país. Adicionalmente, establecer contactos con el sector privado para realizar nuevas construcciones o actividades de mantenimiento fue difícil debido a las complejidades del proceso de adjudicación y el faltante de presupuesto.

Con el fin de atender estos problemas, el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) fue creado en 1998 según la Ley 7798 con el objetivo de planificar, programar, administrar, financiar, ejecutar y supervisar el mantenimiento y expansión de la red vial nacional. Sin embargo, mayoritariamente debido a la falta de financiamiento, el énfasis de la inversión en carretera cambió rápidamente de construcciones nuevas a mantenimiento de la infraestructura existente. Esto cambió el papel del Departamento de Transportes hacia un rol de supervisión y contralor. Este cambio en prioridades todavía persiste, pero está actualmente complementado con la construcción de nuevos proyectos mediante la adjudicación de concesiones al sector privado.

En 2002, la Ley 8114 destinó recursos económicos para el mantenimiento y rehabilitación de la red vial nacional. Adicionalmente la ley asignó como supervisores responsables, entidades para asegurar la calidad de la red vial nacional y municipal. Parte de estas responsabilidades fueron asignadas por ley al LanammeUCR para lograr el mejoramiento de materiales y estructuras de pavimentos en uso y actualizar las especificaciones nacionales por lo menos cada diez años.

Consecuentemente, LanammeUCR ha estado trabajando en la caracterización de materiales locales, mejorando las mezclas asfálticas usadas localmente y evaluando la red vial nacional desde 2002. Sin embargo, el desarrollo de un procedimiento de diseño de pavimentos es difícil ya que la construcción de nuevos proyectos es limitada.

Sin embargo, en parte debido a la falta de conocimiento de las propiedades de la mezcla asfáltica, diseño estructural, prácticas constructivas diferentes y un pobre control y verificación de la calidad, la mayoría de pavimentos todavía fallan pocos días después de su construcción. Por lo tanto, el monitoreo a largo plazo de proyectos viales adecuadamente diseñados desde la construcción a la falla ha sido difícil. Esto ha significado una limitante importante en el objetivo de desarrollar una guía de diseño estructural para Costa Rica, ya que la calibración y creación en campo de modelos de deterioro de pavimentos no es posible.

Como una alternativa a este problema, y con el objetivo de caracterizar adecuadamente el deterioro de las estructuras de pavimento nuevas, o rehabilitadas, es que desde el 2005, el PITRA-LanammeUCR ha evaluado la posibilidad de construir y utilizar secciones de pavimento a escala natural. Luego del análisis de las diferentes opciones y métodos disponibles a nivel mundial, fue que se decidió que la mejor opción para Costa Rica y el LanammeUCR era invertir en instalaciones para un equipo de Ensayo Acelerado de Pavimentos (APT). Las instalaciones están equipadas con un HVS modelo Mark VI de Dynatest. Este equipo permitiría simular, para secciones de prueba en laboratorio o en campo, condiciones controladas de tráfico de hasta 20 años de deterioro en tan solo pocos meses.

Paralelo a la adquisición del HVS, se ha construido un edificio que alberga las secciones de prueba, que se irán construyendo de manera que representen debidamente las condiciones de saturación, materiales y climas en sitio, esto con la intención de utilizar el HVS en condiciones controladas antes de llevar el equipo a evaluar secciones de prueba en campo.

Todo lo anterior ha sido enmarcado dentro del plan de investigación a mediano y largo plazo, que el PITRA ha establecido para su Unidad de Materiales y Pavimentos dentro del proyecto PROMEVIAL. El plan establece una línea de investigación cuyos objetivos finales se orientan en el desarrollo de nuevas especificaciones, que consideren los materiales, el clima, y las condiciones de tránsito del país, para el eventual desarrollo de la Guía de Diseño Empírico Mecánico de Pavimentos para Costa Rica.

El APT en este sentido, es una herramienta que no solo ayudará en la evaluación de las secciones de prueba, sino que también permitirá el desarrollo de los modelos de desempeño de pavimentos para el país. Todo lo anterior se complementa además con investigación en materiales y pavimentos que ha sido realizada en el LanammeUCR desde hace varios años atrás, y que se espera continúe realizándose en el futuro.

IMPLEMENTACIÓN DEL HVS EN EL LANAMMEUCR

En el 2005 inicia el proceso de análisis para la creación de las instalaciones para el APT, principalmente por la necesidad de evaluar a largo plazo las estructuras de pavimento existentes y las nuevas tecnologías que se han probado en laboratorio, pero que aún no han sido utilizadas en

campo. En el 2009, el HVS se introdujo en el presupuesto para los años venideros. Entonces a partir de ese año la implementación del PaveLab se ha programado y planificado.

Durante el año 2011, se trabajó en la licitación y compra del equipo, paralelamente se diseñaron las propuestas de planes de trabajo del HVS y de la conceptualización de las pistas de prueba y sus fosas. En 2012 inicia la construcción de las instalaciones del PaveLab mientras se diseñaban las especificaciones finales de las fosas de prueba. En la parte administrativa se analizaron los requerimientos de instrumentación y de recurso humano requeridos. Esto implicó la contratación de nuevos investigadores orientados en el trabajo de diseño y análisis de materiales, instrumentación, desempeño de pavimentos y modelado estructural de materiales. A finales del 2012 se inicia la construcción de las pistas de ensayo preparando la llegada del HVS a inicios del año 2013. A partir de entonces se trabaja en la prueba del equipo y organización de la primera etapa de ensayos a realizarse en el segundo semestre del 2013

El plan de investigación y ensayo del PaveLab está aún en desarrollo. Desde el inicio de este plan, el LanammeUCR ha tenido la intención de formar un comité para APT con miembros del sector público (Ministerio de Transportes, Cámara Nacional de Construcción, y el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos), con el objetivo de asegurar que los ensayos realizados como parte del Plan de Trabajo para el HVS traigan los mayores beneficios al país. Con base en el plan más reciente, se espera que el inicio de ensayos con el HVS se desarrolle en dos principales fases: 1) del 2013 al 2015 se espera que el HVS sea usado en experimentos controlados en las instalaciones del PaveLab, utilizando la saturación de las fosas de ensayo. Esto permitiría la comparación de diferentes tipos de mezclas asfálticas en caliente y métodos de estabilización de suelos que son actualmente utilizados o serán utilizados en el futuro en el país.

En una segunda fase en el 2016, los ensayos no solo se realizarán en las instalaciones del LanammeUCR, si no que se llevará el equipo a campo para la evaluación de diferentes proyectos de construcciones nuevas o rehabilitaciones. Se ha planificado que la experimentación inicial involucraría la comparación de mezclas en caliente con ligantes modificados, con el objetivo de cuantificar el mejoramiento asociado. Esto se convierte en un tema muy importante en Costa Rica, debido a la limitación que implica la existencia de un único tipo de ligante asfáltico en el país producido por la refinería nacional de petróleo. Sin embargo, debido a la diversidad climática y de tránsito en el país, es necesario contar con la disponibilidad de diferentes opciones.

La generación de la mayoría de los datos se llevará a cabo por la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA. No obstante, es a través del Comité APT del PaveLab que se espera que los resultados se difundan a la comunidad ingenieril, de manera que se logre un impacto en el diseño de pavimentos y prácticas de construcción regional. Adicionalmente, ya que el LanammeUCR está vinculado a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, se espera que se logre también, el desarrollo de trabajos de graduación, con la finalidad de que el potencial de la información generada por el HVS sea desarrollado.

Para la primera etapa de ensayos se planteó la construcción de 4 tramos experimentales con una réplica para cada tramo. La Tabla 1 muestra las características de las 4 secciones propuestas. Aquí se incluyen los respectivos espesores de las diferentes capas de las estructuras de pavimento, las propiedades de cada capa, la respuesta mecánica obtenida mediante el análisis

de multicapa elástica y el número estimado de pasadas asociados a la magnitud de la carga. Se estima que el daño principal será de agrietamiento por fatiga en los casos diseñados con base granular.

El objetivo de esta etapa es realizar una comparación estructural en términos de espesores de mezcla asfáltica y tipo de material de base (granular vs. estabilizado con cemento) manteniendo el resto de variables constantes. Adicionalmente, se pretende determinar el factor de daño equivalente causado por cargas superiores a la carga estándar de 40 kN.

Tabla 1: Tramos experimentales propuestos

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

Como complemento al equipo HVS, se requiere de instrumentación para poder realizar todas las mediciones de respuesta deseadas, así como la recolección de la información generada por el HVS. Entre el equipo en uso en las pistas de prueba se incluye un Perfilómetro laser 3D automatizado cuya cabeza de medición se mueve a lo largo de la viga del HVS y toma mediciones cada 10 mm.

Se poseen transductores para medición de pavimentos (PAST por sus siglas en ingles) para la medición de esfuerzos y deformaciones en pavimentos, este tipo de medidor consiste de una celda de carga de resistencia eléctrica cubierto por una tira de fibra de vidrio reforzada con epóxico que lo recubre en varias capas Los transductores para presión en suelos (SOPT por sus siglas en inglés): Son usados para la medición de presión (esfuerzos) en materiales no ligados como gravas, arenas o arcillas El deflectómetro de profundidad múltiple (MDD por sus siglas en inglés), es usado para medir en sitio las deflexiones elásticas y/o deformaciones permanentes en las distintas capas de un tramo de prueba. Consiste en una serie de módulos de transductores linear variable diferencial montados sobre una varilla en un agujero de 39 mm de diámetro perforado sobre el tramo de prueba.

El mmedidor de actividad de grietas (CAM por sus siglas en inglés) es un instrumento que se coloca entre las llantas duales de un eje y mide el movimiento relativo de la grieta transversal al movimiento de las llantas. Finalmente, el deflectómetro de superficie del pavimento (RSD): Cuenta con una exactitud de medición de 10 micrones, con capacidad de recolección de datos automática de hasta 256 puntos de datos.

Los sensores PAST se colocan en la interface base/capa asfáltica y se pueden colocar en el sentido longitudinal o desplazamiento de la carga y en el sentido transversal o perpendicular al desplazamiento de la carga. La instalación de los sensores MDD está diseñada para 4

profundidades: una en cada interface y 1 sensor 300 mm dentro de la subrasante. En cuanto a las termocuplas, se propone colocar a 4 profundidades: 1 superficie, 1 a media profundidad de la capa asfáltica, 1 a nivel de los sensores PAST y 1 a 5 cm de profundidad de la capa de base. En el caso de los tramos AC3 y AC4 se propone utilizar el mismo arreglo de sensores pero sin incluir los sensores PAST.

Es importante considerar, que el plan realizado para la elaboración de ensayos del proyecto de investigación está aún en desarrollo, y sujeto a modificaciones basadas en investigaciones previas a la puesta en operación en el 2013, y a contribuciones de los diferentes sectores involucrados.

HVS DEL PAVELAB

El modelo del HVS adquirido por el LanammeUCR es el Dynatest/HSIR HVS Mark VI, el cual corresponde al último modelo diseñado por Dynatest hasta la fecha de compra. Este equipo no tiene fuente de alimentación propia. Sin embargo, su rediseño y nuevas características ofrecen un amplio rango de opciones de prueba.

Dentro de sus características, el Mark VI tiene la capacidad de aplicar hasta 26,000 pasadas bidireccionalmente o 13,000 en una dirección de la carga, en un período de 24 horas, a lo largo de 6 metros de sección de prueba. Los niveles de carga están entre los 30 y 100 kN con la posibilidad de alcanzar hasta 200 kN, usando una llanta de avión y opciones de balastro. En cuanto su velocidad, lo máximo posible es de 12.8 km/hr \pm 3 km/hr. Este valor se puede incrementar hasta 20 km/hr utilizando una extensión de viga. El equipo además, tiene la capacidad de representar la distribución del tráfico por medio de mecanismos integrados.

El equipo es capaz de apagarse automáticamente cuando se alcanza cierto número de pasadas. También, en caso de un mal funcionamiento, el HVS puede ser detenido por dos mecanismos diferentes. El equipo puede también operar en un rango de temperaturas que varían de -15°C a 40 °C (5°F a 105 °F).

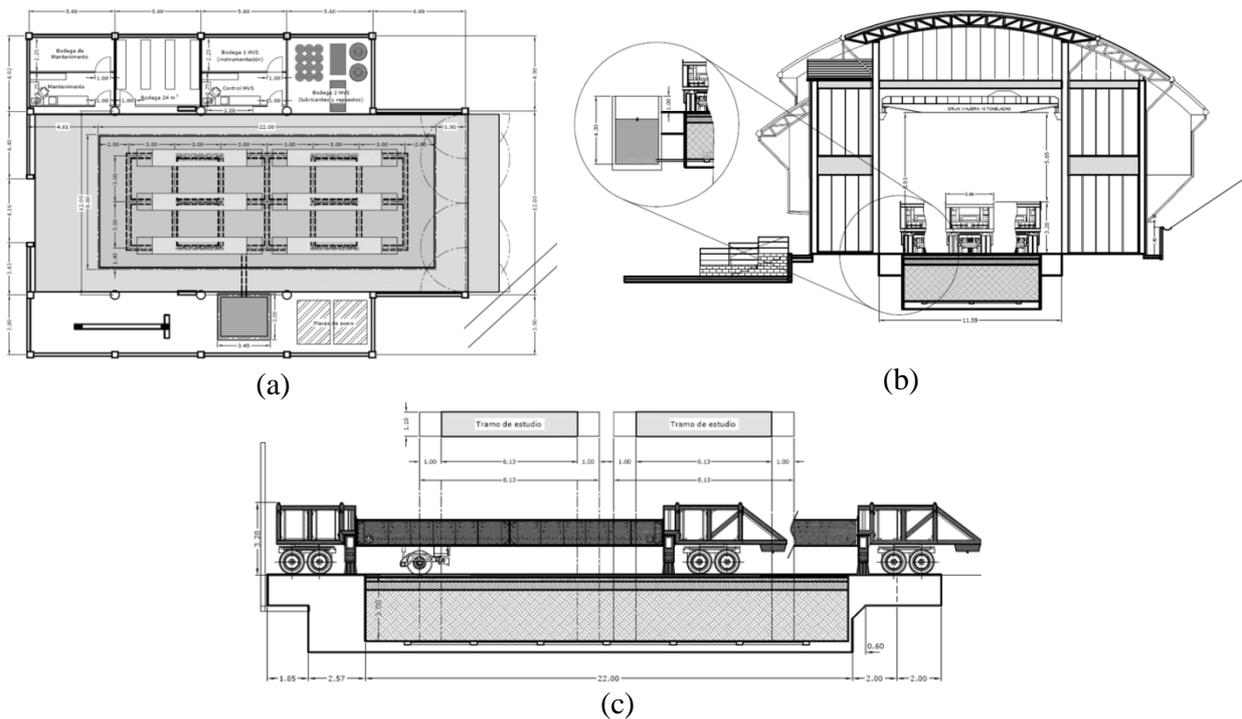
Algunas de las características nuevas que este modelo tiene respecto a los anteriores incluyen un rediseño del marco y simplificación del sistema hidráulico basado en el diseño del modelo del Mk V. Además tiene la posibilidad de una extensión de la viga la cual permite mayores velocidades y secciones de prueba más largas. Por su peso reducido, es fácil de transportar y finalmente, las llantas del HVS Mk VI están montadas en una plataforma giratoria, lo que lo hace más vulnerable en sitio. Esta característica podría ser de especial ayuda en LanammeUCR, por la limitación de espacio de las instalaciones del PaveLab.

PaveLab

Las instalaciones el APT que dan casa a la pista de ensayo para el PaveLab están localizadas en el nuevo Laboratorio de Seguridad Vial y Fuerza. A pesar de que las instalaciones son parte de este nuevo proyecto, su construcción es completamente independiente del resto de la estructura original del laboratorio, para asegurar que se conocen los requerimientos necesarios de energía, los de emergencia, y el aislamiento acústico para la operación óptima.

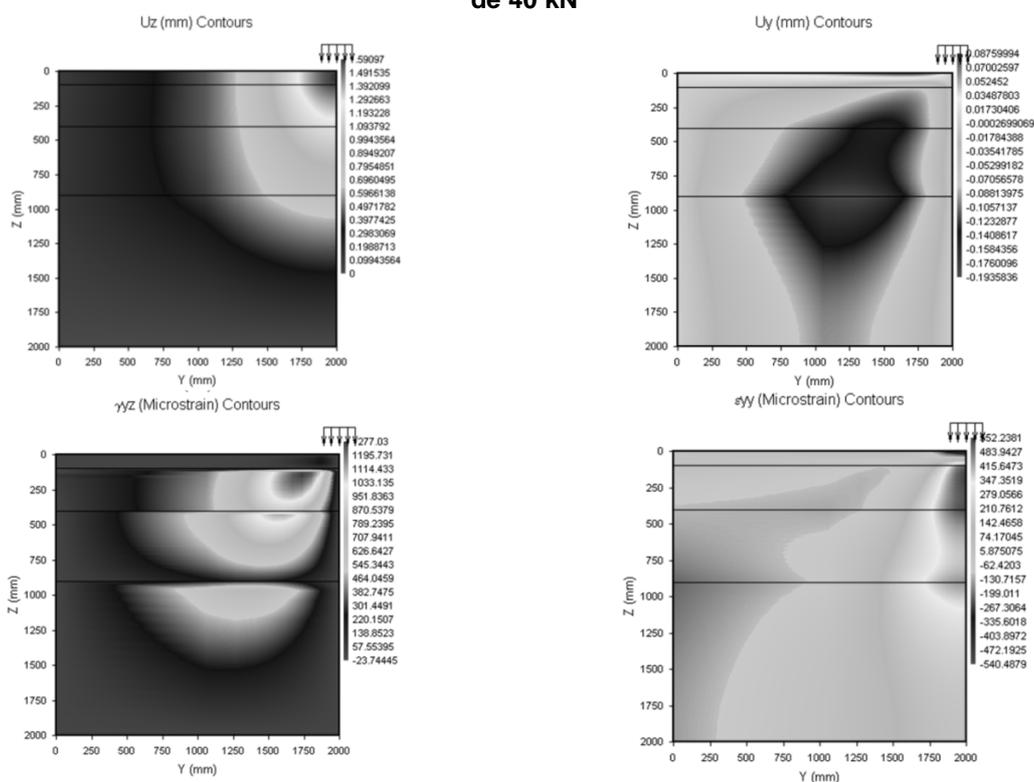
La Figura 1, muestran la distribución actual de las instalaciones del PaveLab. Como se muestra, habrá 6 áreas de ensayo, distribuidas en pistas de 22 por 9 metros. Para controlar el nivel freático, se construirá un sistema de distribución de agua adyacente a la sección de prueba, como se puede ver en las Figuras 1a y 1b. El diseño general de las secciones de prueba, está basado en la experiencia que otras instalaciones han tenido en otros países (Hugo et al, 2004), como las de la Universidad de California, Davis y las del Departamento de Transporte de Florida, FDOT.

Figura 1: (a) Vista en planta del PaveLab, (b) vista lateral del PaveLab, detalle del sistema de distribución de agua, (c) colocación del HVS sobre las pistas de prueba



Varios análisis se hicieron para determinar las dimensiones óptimas de la pista de ensayo. Primero se realizó un análisis con el software EverStressFE, para la definición de las estructuras de pavimento. De ese análisis se estableció la profundidad necesaria para que la disipación adecuada de los esfuerzos por parte de la estructura de pavimento. Un ejemplo de este análisis se muestra en la Figura 2, donde es posible observar que los esfuerzos generados por el HVS (para 40 kN de carga) son despreciables a una profundidad de 2 m. Posteriormente se realizó un análisis similar para una carga superior de 200 kN.

Figura 2: Ejemplo de análisis de EverStressFE para una estructura simple bajo una cara estándar de 40 kN



Se observó en general que los esfuerzos y deformaciones más grandes se daban en un área entre la superficie y 1 m de profundidad. Y aún más relevante, se encontró que una profundidad de 2.5 m sería adecuada para asegurar que los esfuerzos y deformaciones mencionados, representarían los desarrollados en campo ante tales condiciones de carga.

Seguidamente, se amplió el análisis con modelaciones en dos dimensiones con el software de Elemento Finito (FEM) ABAQUS, para complementar los valores obtenidos anteriormente. El análisis se realizó para una carga máxima de 40 kN, esta carga equivale a una presión de inflado de 120 psi en un área circular de 124 mm de radio. Es importante mencionar que con el HVS se alcanzarán cargas sobre los 100 kN (en su configuración básica), los 40kN de carga se consideraron como la carga típica aplicada por un eje simple de un camión.

Se analizó la misma condición de carga para dos escenarios diferentes: 1) la sección de ensayo con una rampa para facilitar la entrada del equipo de construcción y 2) la misma sección, esta vez sin la rampa de acceso. En ambos casos, se asumió que el ensayo podría tener dos condiciones extremas de carga a lo largo de dirección longitudinal. Para el análisis se utilizó una profundidad de la fosa de 2.5 m, de manera que los resultados fueran comparativos con los obtenidos por el EverStressFE. La distribución de esfuerzos obtenida de este análisis se muestra en las Figuras 3 y 4.

Figura 3: (a) Esfuerzos y (b) deformaciones horizontales para la fosa con y sin rampa

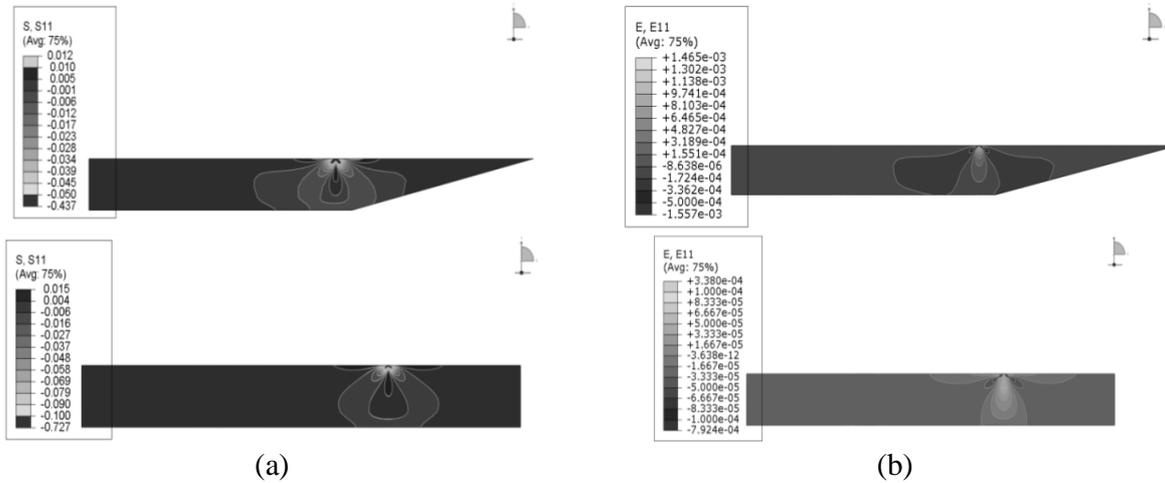
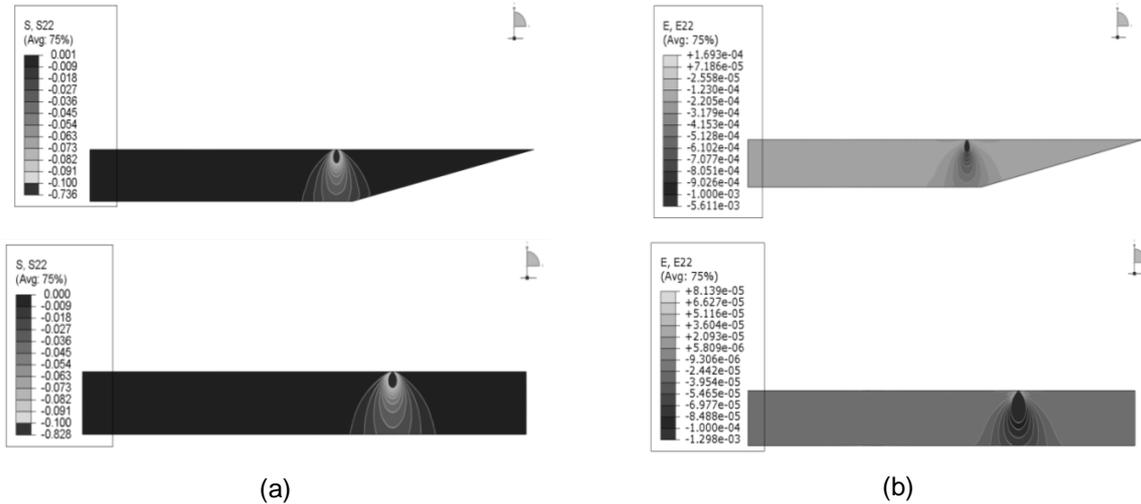


Figura 4: (a) Esfuerzos y (b) deformaciones verticales para la fosa con y sin rampa



Los resultados mostrados en la Figura corresponden a la aplicación de la carga, que corresponde a la aplicación de la carga en el extremo de la sección de ensayo, cercano al eje de la fosa donde la condición es crítica por la configuración generada por la llanta. A pesar de que la Figura no muestra diferencias significativas en la disipación de esfuerzos y deformaciones respecto a ambas configuraciones (con y sin rampa), existe una ligera diferencia en los esfuerzos y deformaciones entre las condiciones indicadas.

Finalmente, luego de la realización de investigación literaria exhaustiva con respecto a fosas para otros HVS, se decidió que la mejor configuración para la sección de prueba del HVS en Costa Rica debería ser: sin rampa de acceso y con 3 metros de profundidad. La decisión de no usar la rampa, se basa en que realmente la colocación de tal configuración reduce significativamente el área efectiva de ensayo de la fosa: eliminando la rampa, una sección más de ensayo puede colocarse. Por lo demás, la selección de 3 metros de profundidad, se realizó considerando que se realicen ensayos con mayores cargas aplicadas en el futuro. Esta decisión fue posteriormente

afirmada por propietarios de otros HVS con experiencia, y por Dynatest, quien ha ayudado y brindado un gran soporte en el diseño de este proyecto.

CONCLUSIONES

El LanammeUCR es uno de los laboratorios en la región capaz de dar análisis confiables para pavimentos en el sector público y privado, evaluar por entero la red vial del país, evaluar la calidad de los materiales actuales desde la nanoescala a la escala natural. Una de las principales razones por la que el LanammeUCR se fundó fue para mejorar la calidad de vida de los costarricenses y su competitividad como nación. Enfocándose en el objetivo anterior, es que se enmarca la implementación del APT del PaveLab. La idea de la adquisición de un HVS está basada en el plan de investigación, a corto y largo plazo que el LanammeUCR tiene como compromiso con Costa Rica. Por lo tanto, las pruebas que se hagan con el PaveLab se basarán en investigación que se dirigirá al desarrollo de nuevas especificaciones para el país, y que eventualmente llevarán al desarrollo de la Guía de Diseño Mecánico-Empírico para Costa Rica. En este sentido, el HVS del PaveLab es una herramienta por medio de la cual, no solo se evaluarán los pavimentos en la escala natural, sino que también ayudará en la generación de modelos de deterioro para el país, que indiquen a los diseñadores de pavimentos, los tipos de pavimentos efectivos y los que no lo son, y las condiciones bajo las cuales estos se presentan. Esto le permitirá a la Administración, determinar si el Ministerio del Transporte, sus subcontratistas (compañías privadas), y la nueva modalidad – concesionarias – están diseñando y construyendo pavimentos que puedan cumplir con las expectativas funcionales y estructurales de los usuarios.

REFERENCIAS

- Asamblea Legislativa. (1998) “Ley 7798 – Creación del Consejo Nacional de Vialidad”. Normativa y Jurisprudencia de Costa Rica.
- Asamblea Legislativa. (2002) “Ley 8114 – Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria”. Normativa y Jurisprudencia de Costa Rica.
- Choubane, B. Greene, J. and Sheppard, K. (2011) “Instrumentation of Florida’s Accelerated Pavement Testing Facility”. FDOT, State Materials Office. Gainesville, FL.
- Hugo, F. Epps Martin, A.L. (2004) “Significant Findings from Full-Scale Accelerated Pavement Testing”. NCHRP Synthesis 325. Washington, D.C.
- International Organization for Standardization. (2005) “ISO/IEC 17025 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”. Geneva, Switzerland
- Jones, D. Morton, B. (2002). “HVS operations: Protocol for instrumentation, data collection and data storage - 2nd Draft”. CSIR Report TR-2002/22. Pretoria, South Africa.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2011). “Presentación de Carreteras, Dirección de Planificación Sectorial”. <http://www.mopt.go.cr/planificacion/carreteras/presentacion.asp>. Sitio web consultado en 09/28/11.