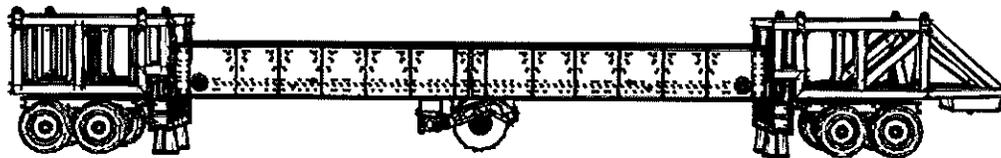


Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UMP-004-P

PROPUESTA PLAN DE TRABAJO INICIAL EQUIPO PARA ENSAYO ACELERADO DE PAVIMENTOS (HVS)

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos



San José, Costa Rica
Abril, 2013



Documento generado con base en el Art. 6, inciso i) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capít. 6, Art. 66 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

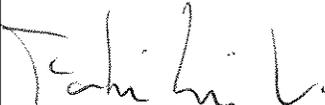
| | | |
|---|---|--|
| 1. Informe LM-PI-UMP-004-P | | 2. Copia No. 1 |
| 3. Título y subtítulo: PROPUESTA PLAN DE TRABAJO INICIAL EQUIPO PARA ENSAYO ACELERADO DE PAVIMENTOS (HVS) | | 4. Fecha del Informe xx/xx/2013 |
| 7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440 | | |
| 8. Notas complementarias | | |
| 9. Resumen <p><i>El Simulador de Vehículos Pesados (HVS en inglés) es un equipo utilizado para ensayos acelerados de pavimentos que permite simular a escala natural el desempeño en campo de una estructura de pavimento a lo largo de su vida de diseño (10 a 15 años) en un periodo reducido de unos pocos meses.</i></p> <p><i>Esto se logra mediante la aplicación de cargas de tráfico aceleradas por 1 llanta o 2 llantas en configuración dual. La llanta se puede mover uni- o bi-direccionalmente a lo largo del equipo. El equipo tiene la capacidad de aplicar cargas de 30kN a 200 kN, a velocidades de hasta 13 km/h. Esto brinda la posibilidad de evaluar el efecto del sobrepeso en camiones de carga y como este afecta el deterioro en la estructura del pavimento.</i></p> <p><i>Adicionalmente, las influencias del efecto del clima y el ambiente, como por ejemplo variación en la temperatura y la humedad en la estructura del pavimento pueden ser simuladas mediante una cámara ambiental. Esto permite al investigador evaluar la respuesta del pavimento a condiciones de tráfico y temperatura controladas.</i></p> <p><i>El presente proyecto de investigación con el HVS se enmarca dentro del Proyecto de Aporte Tecnológico para el Mejoramiento de la Infraestructura Vial de Costa Rica (Promevial) con el fin de caracterizar y mejorar los materiales de uso en el país, introducir nuevos materiales o tecnologías, generar o mejorar las especificaciones existentes y desarrollar una guía de diseño estructural de pavimentos para el país. Con tales objetivos es que se implementará el uso del HVS, sofisticados equipos de monitoreo y el desarrollo de las instalaciones del LanammeUCR concebidas para tal propósito: PaveLab. El plan de investigación desarrollado alrededor del uso del PaveLab se definirá en base a los objetivos previos.</i></p> | | |
| 10. Palabras clave HVS, APT | 11. Nivel de seguridad: Ninguno | 12. Núm. de páginas 21 |
| 13. Preparado por: Ing. Fabricio Lelva Villacorta, Ph.D. Investigador UMP  Fecha: 30 / 01 / 14 | 14. Revisado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D. Coordinador UMP  Fecha: 30 / 01 / 14 | |
| | | 15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: 30 / 01 / 14 |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. OBJETIVO | 4 |
| 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 4 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 4. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO..... | 6 |
| 5. PRUEBAS PRELIMINARES | 7 |
| 6. DISEÑO DE TRAMOS DE PRUEBA PARA EL HVS..... | 7 |
| 7. INSTRUMENTACIÓN..... | 10 |
| 8. CRONOGRAMA..... | 17 |
| 9. REFERENCIAS | 18 |

1. OBJETIVO

El propósito del presente plan es el de definir las actividades de trabajo a seguir para la puesta en funcionamiento e implementación de ensayos acelerados sobre pavimentos mediante el uso del Simulador de Carga Pesada (HVS por sus siglas en inglés) dentro del PaveLab.

Todo esto enmarcado dentro del planteamiento del Proyecto de Aporte Tecnológico para el Mejoramiento de la Infraestructura Vial de Costa Rica (Promevial) que busca la generación de herramientas necesarias en el área de infraestructura vial que produzcan un cambio significativo en la calidad de vida de los Costarricenses mediante una salto positivo en la calidad funcional y estructural de nuestras carreteras.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos del uso del HVS, en conjunto con trabajo complementario de laboratorio, se busca alcanzar lo siguiente

1. Determinar la metodología de ensayo a seguir para futuras aplicaciones del HVS.
2. Comparar y verificar modelos mecánicos por medio de la recopilación y análisis de respuestas del pavimento.
3. Realizar la caracterización física mecánica de materiales y comparación con resultados de ensayos de laboratorio.
4. Realizar un análisis forense de las estructuras ensayadas.
5. Desarrollar modelos de transferencia para convertir la respuesta estructural del pavimento en medidas de daño o desempeño.
6. Publicar artículos a nivel nacional e internacional como producto de las investigaciones realizadas en cuanto a la caracterización de materiales, análisis y generación de modelos matemáticos para desempeño de pavimentos.

3. JUSTIFICACIÓN

El uso del HVS será fundamental en asegurar un gran avance en cuanto al nivel de investigación realizado por el LanammeUCR y por medio del cual se posibilitará la generación de una serie de productos tales como:

1. Metodología de diseño mecánica-empírica de pavimentos, basándose en las condiciones de materiales, climáticas, de tráfico y constructivas reales de Costa Rica.
2. Desarrollo de un software que permita la implementación de la metodología de diseño estructural de pavimentos para Costa Rica, que se base en los modelos de desempeño obtenidos mediante el uso de HVS.
3. Desarrollo de nuevas especificaciones de materiales que se basen en el desempeño real y aporte estructural de los materiales en campo.
4. Optimización de estructuras de pavimentos en uso en el país, basándose en las condiciones climáticas, estructurales, de materiales y tráfico de la zona específica donde se planea construir la estructura.
5. Posibilidad de evaluación de materiales mejorados o nuevos materiales en una estructura de pavimento real.
6. Posibilidad de evaluar estructuras de pavimentos de alta importancia para el país en campo previo a su apertura al tráfico vehicular con el fin de corroborar el correcto desempeño de la estructura o identificar posibles deficiencias en la misma.

Entre las ventajas de contar con una herramienta de este tipo para cumplir con los objetivos encomendados al LanammeUCR por la ley 8114, se ha determinado que el HVS es el equipo que se ajusta a los requerimientos de:

- Se trata de un equipo que se puede utilizar tanto dentro de instalaciones previamente acondicionadas o bien, puede ser fácilmente transportado a una sección de interés de una carretera.
- Es capaz de simular el deterioro de hasta 20 años que sufre una carretera en períodos cortos de aproximadamente 3 meses.
- Puede controlarse la cantidad y la ubicación de las aplicaciones de carga.
- Los datos obtenidos entre otros equipos similares son compatibles entre sí.
- Los resultados obtenidos permitirán mejorar y calibrar modelos de respuesta y desempeño, y asociarlos con los criterios de diseño y/o métodos de ensayo de laboratorio.

4. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

Con base en los requisitos establecidos por el LanammeUCR, el HVS Mark VI tiene las siguientes características:

- Dimensiones:
 - Longitud: 23,02 m
 - Ancho: 3,07 m en general
 - Altura: 3,28 m
- Peso del equipo: 34.000 kg



Figura 1. HVS Mark VI PaveLab, LanammeUCR.

- Llantas de ensayo: El equipo es capaz de utilizar llantas de camión simple y doble (dual). (Doble neumático 11R22-5 y las ruedas de equipo estándar).
- Método de aplicación de la carga: El equipo es capaz de aplicar la carga hacia delante y hacia atrás sobre una distancia de 6 m, con un ancho de huella de 1,4 m. La aplicación puede realizarse en forma bidireccional con 26.000 pasadas en periodo de 24 horas, o de manera unidireccional con 13.000 pasadas en el periodo de 24 horas.
- Carga de ensayo: La carga de ensayo que el equipo permite aplicar está entre 30 y 100 kN empleando llantas de camión. Las cargas se aplican sobre un mínimo de 6 metros lineales de sección de prueba.
- Velocidad máxima alcanzable: 12,8 km/h \pm 3,0 km/h.
- Rango de temperaturas: La unidad es capaz de operar entre los -15 °C y los +40 °C.

Se programó para que el equipo sea inicialmente utilizado dentro de una de las instalaciones PaveLab, del LanammeUCR de la Universidad de Costa Rica, puesto que así es posible brindar en los ensayos un ambiente seguro para los investigadores y los usuarios de las carreteras, con la aplicación de un número de cargas que puede ser controlado de manera precisa, y colocadas en lugares específicos forma más controlada y con mayor rapidez.

5. PRUEBAS PRELIMINARES

Capacitación en el Ensayo de Aceptación en Fábrica (Factory Acceptance Test, FAT): en esta etapa de capacitación de 5 días de duración se suministraron las herramientas básicas para verificar la operación y mantenimiento básico del HVS en la fábrica. Adicionalmente, se aseguró que el equipo se encuentra completamente funcional y que reúne las especificaciones físicas y operacionales en la fábrica de producción del equipo y antes de su envío.

Capacitación en el Ensayo de Aceptación en Sitio (Site Acceptance Test, SAT): en esta segunda etapa capacitación cuya duración es de 3 semanas, se profundizó más en los procedimientos de preparación de ensayos, programación, desarrollo y operación de ensayos con el HVS, además de las rutinas de mantenimiento del equipo. De igual manera, se aseguró que el equipo se encuentra completamente funcional y que no ha sufrido ningún deterioro o daño durante el envío.

6. DISEÑO DE TRAMOS DE PRUEBA PARA EL HVS

Las Figuras 2 a 4 muestran la distribución en planta y perfiles frontal y lateral de las instalaciones para el HVS. Como se muestra en la Figura 2, los tramos de ensayo estarán distribuidos sobre la fosa de saturación que cubre un área de 22 metros de largo por 9 metros de ancho. Para controlar el nivel freático, un sistema de distribución de agua operado por gravedad va a ser construido adjunto a la fosa de saturación según se indica en las Figuras 2 y 3 (el tanque de agua se indica en color azul en las figuras). Finalmente, la Figura 4 muestra la colocación del HVS con respecto a los tramos de estudio. Se observa que la distancia efectiva de ensayo es aproximadamente de 6 metros dejando 1 metro a cada lado del tramo para las zonas de aceleración y desaceleración. Para este primer grupo de experimentos se propone mantener como variables fijas los materiales de subrasante y

materiales granulares de base y sub-base. Esto permitirá analizar el efecto de espesor de la mezcla asfáltica y el uso de asfaltos modificados en respuesta mecanística y desempeño.

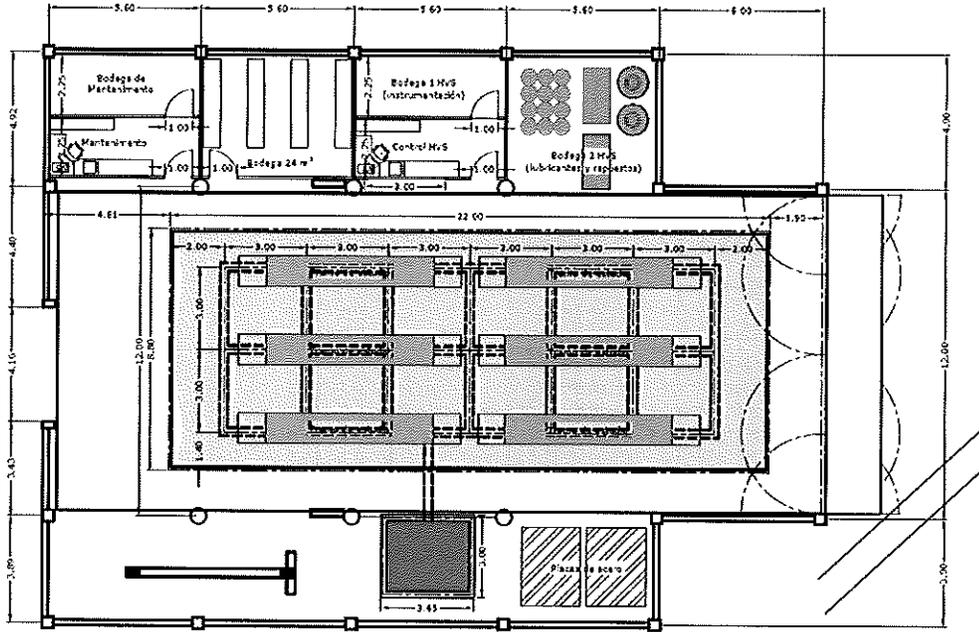


Figura 2. Vista en Planta de Instalaciones del HVS.

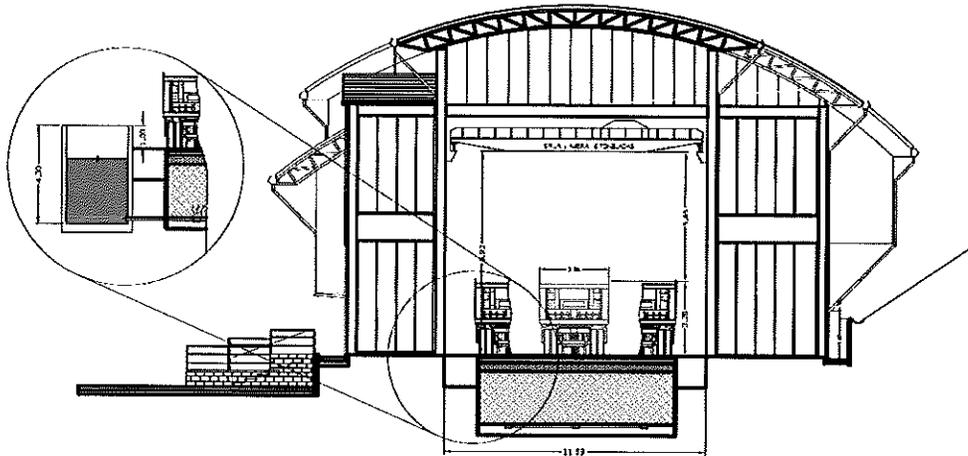


Figura 3. Vista Frontal de Instalaciones del HVS, con detalle de sistema de Agua.

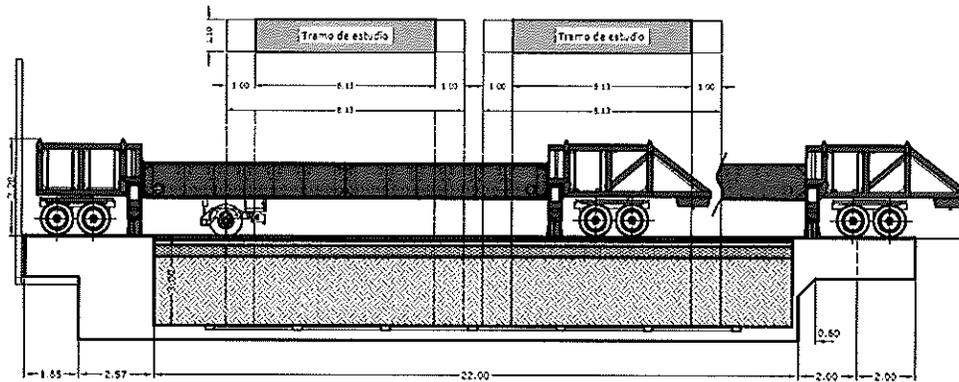


Figura 4. Vista Lateral de Colocación del HVS sobre Pista de Ensayo.

La Tabla 1 muestra las características de las seis 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. Se estima que la cantidad de pasadas que pueden resistir estas estructuras, no deberían superar las 300.000 pasadas para el tramo AC1 y alrededor de 1 millón de pasadas para AC2. Para los casos AC3 y AC4 se estima una cantidad de pasadas superior a los 2 millones, que por restricciones de tiempo, esa sería la cantidad máxima por aplicar para al menos realizar una comparación con los resultados de las estructuras AC1 y AC2.

Para estos ensayos se espera un rendimiento de 75.000 pasadas (bidireccional) por semana (15.000 por día - 5 días a la semana) de forma conservadora. En este análisis se incluyen las estimaciones de ejes equivalentes de diseño obtenidos mediante la aplicación de la guía de diseño AASHTO 93 ya que ésta es la metodología vigente en Costa Rica. Para los tramos experimentales con base granular se planea realizar un ensayo en condición seca y un ensayo en condición húmeda con ciclos de simulación de agua superficial basados en registros climáticos de lluvia para el valle central.

| | | |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------|
| Informe LM-PI-UMP-004-P | Fecha de emisión: 30 de enero de 2014 | Página 9 de 19 |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------|

Tabla 1. Tramos experimentales propuestos

| Propiedades\Tramo | AC1 | AC2 | AC3 | AC4 |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| H1, cm | 7.0 | 12 | 7.0 | 12 |
| H2, cm | 24 | 24 | 24 | 24 |
| H3, cm | 30 | 30 | 30 | 30 |
| E1, MPa | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 |
| E2, MPa | 200 | 200 | 2000 | 2000 |
| E3, MPa | 140 | 140 | 140 | 140 |
| E4, MPa | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Carga, kN | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Presion, kPa | 700 | 700 | 700 | 700 |
| Ligante | PG 64-22 | PG 64-22 | PG 64-22 | PG 64-22 |
| $\epsilon_{hAC} \times 10^{-6}$ | 349 | 229 | 108 | 89 |
| $\epsilon_{vSR} \times 10^{-6}$ | 455 | 379 | 246 | 196 |
| N° Cargas Permitidas* | 8.40E+05 | 2.90E+06 | 2.60E+06 | 8.00E+06 |
| Fatiga AI** | 2.55E+05 | 1.02E+06 | 1.21E+07 | 2.29E+07 |
| Def. Per. AI | 1.25E+06 | 2.84E+06 | 1.96E+07 | 5.43E+07 |
| Fatiga SA*** | 9.51E+04 | 4.57E+05 | 2.77E+06 | 3.72E+06 |
| Def. Per. SA | 8.15E+06 | 9.64E+07 | 6.20E+09 | 4.51E+10 |
| PDMAP 10% | 1.86E+05 | 7.46E+05 | 8.84E+06 | 1.67E+07 |
| PDMAP 45% | 2.57E+05 | 1.03E+06 | 1.22E+07 | 2.30E+07 |

* Guía AASHTO 93: R=90%, S=0.5, Δ PSI=2.

** Instituto del Asfalto.

***CSIR-South Africa

7. INSTRUMENTACIÓN

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 y partes que se planean utilizar están las siguientes:

- Perfilómetro laser 3D automatizado: El perfilómetro laser consiste en una viga de aluminio que se coloca sobre el tramo de prueba, apoyado en los extremos transversales de la sección. La cabeza de medición se mueve a lo largo de la viga y toma mediciones cada 10 mm.. Las mediciones transversales de perfil son tomadas en varios puntos a lo largo de la sección de prueba.

- Sistema de Adquisición de Datos: Corresponde al sistema de hardware y software necesario para poder controlar, monitorear y guardar toda la información generada y procesada por el equipo HVS.

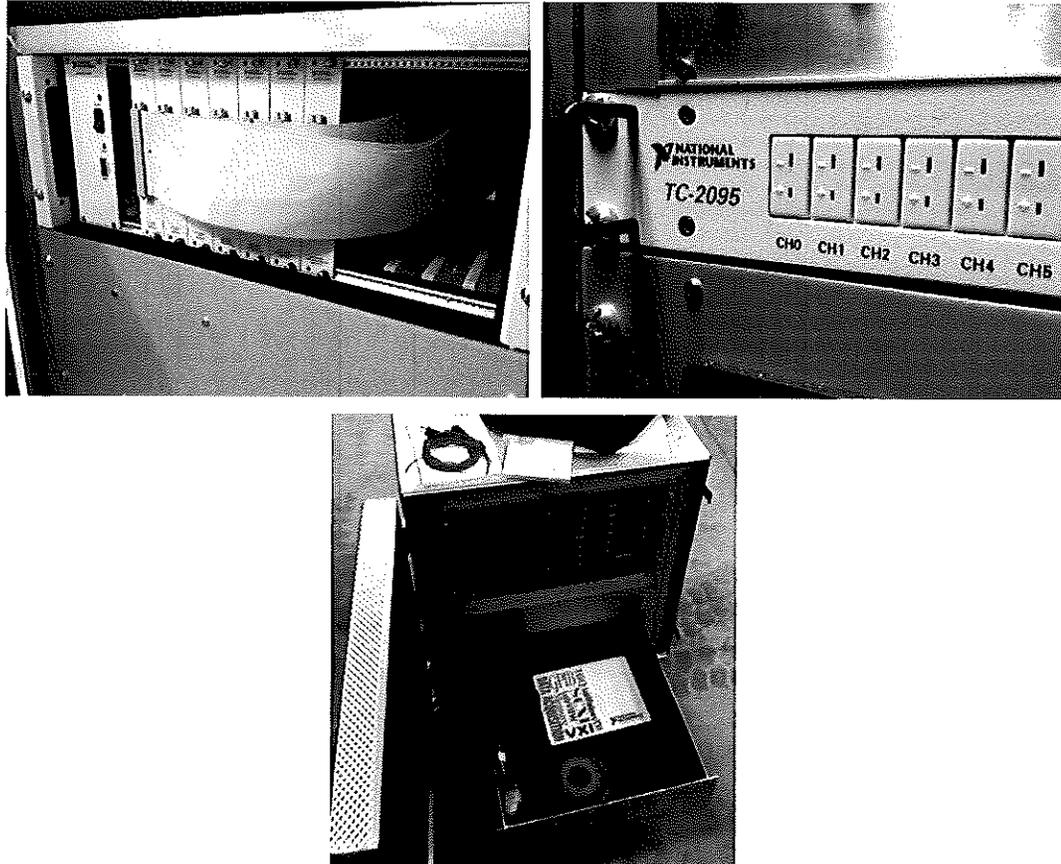


Figura 5. Sistema de Adquisición de Datos.

- Dynatest PAST II: Los transductores para medición de pavimentos (PAST por sus siglas en inglés) son usados para la medición de esfuerzos y deformaciones en pavimentos de concreto asfáltico o concreto Portland. Este tipo de medidor consiste de una celda de carga de resistencia eléctrica cubierto por una tira de fibra de vidrio reforzada con epoxy que lo recubre en varias capas.

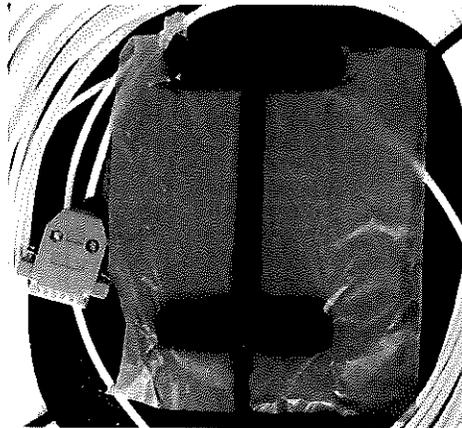


Figura 6. Transductor para medición de deformaciones unitarias.

- Dynatest SOPT: 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.

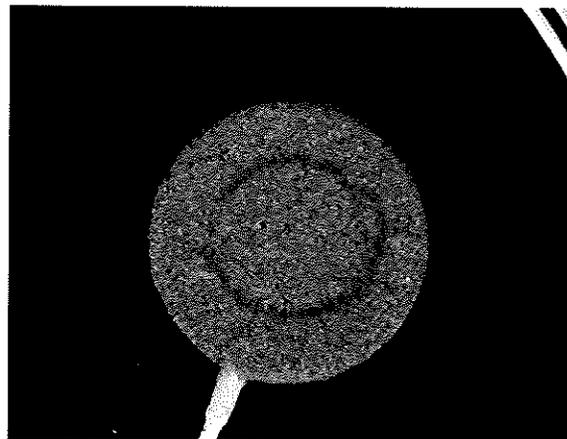


Figura 7. Transductor para medición de presión.

- Deflectómetro de Profundidad Múltiple: 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 lineal variable diferencial (LVDTs) que se montan sobre una varilla dentro de un hoyo de 39 mm de diámetro en el tramo de prueba.



Figura 8. Deflectómetro de Profundidad Múltiple.

- Medidor de Actividad de Grietas: El medidor 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. Tanto movimientos verticales, como horizontales, son grabados.

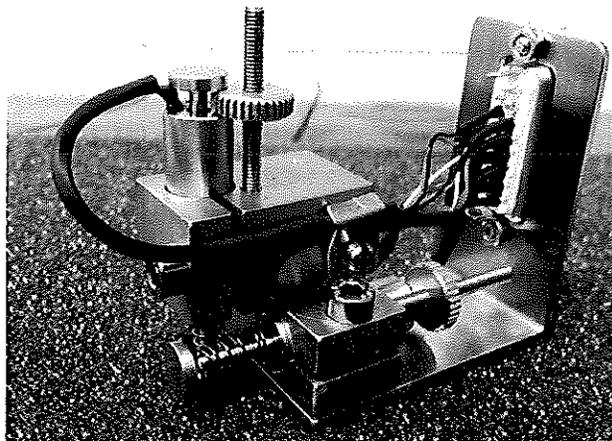


Figura 9. Medidor de actividad de grietas.

- Deflectómetro de superficie del pavimento (RSD): Cuenta con una exactitud de medición de 10 micrones, con una recolección de datos automática, con capacidad de recolectar hasta 256 puntos de datos por medición.

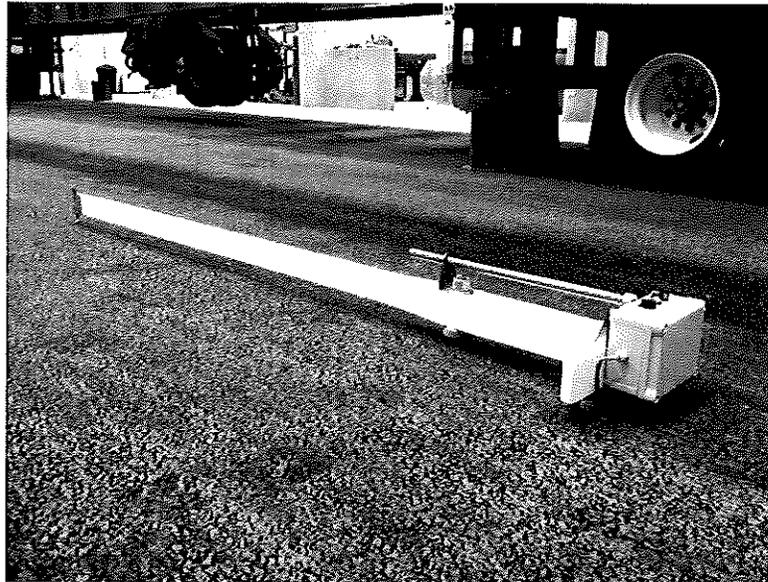


Figura 10. Deflectómetro de superficie del pavimento.

Cada uno de estos componentes adicionales al HVS es considerado de gran importancia en el desarrollo del programa de ensayos APT para Costa Rica puesto que permitirán obtener mucha información adicional a la que se obtiene directamente del HVS. Adicionalmente se prevé una evaluación anual de las nuevas alternativas de equipo que salgan al mercado con el fin de asegurar que los nuevos componentes sean desarrollados o adquiridos con el fin de garantizar que las capacidades del equipo se mantengan con el estado de la práctica.

7.1 Propuesta de Instrumentación

Se propone el arreglo de instrumentación mostrado en la Figura 11 para las secciones AC1 y AC2. Adicionalmente se propone la instalación de los sensores MDD a 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 II 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 II.

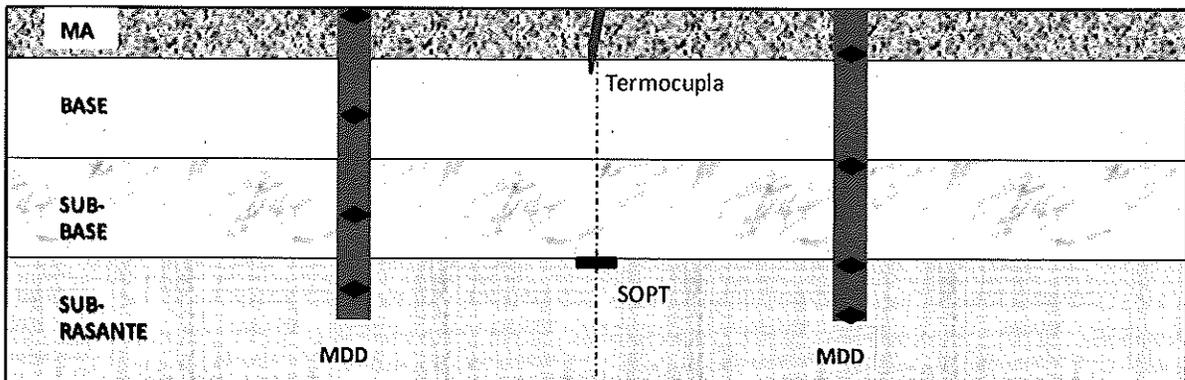
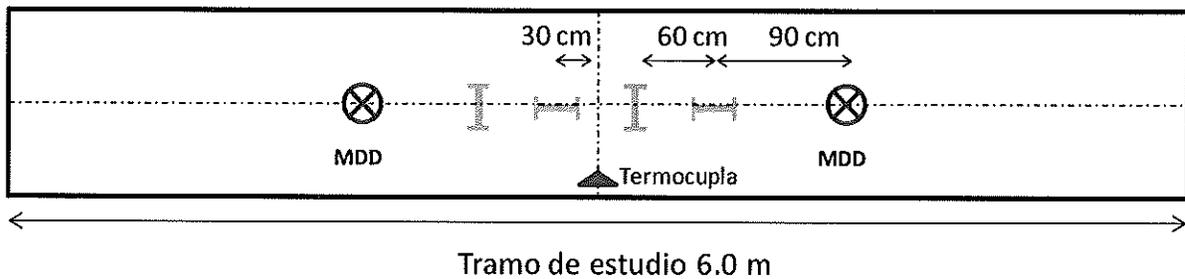


Figura 11. Arreglo de instrumentación.

7.2 Propuesta de recolección de datos

La Tabla 2 muestra una lista de sensores y ensayos complementarios por realizar junto con la frecuencia de toma de datos. La mayoría de estas actividades están relacionadas con el número predeterminado de pasadas de la rueda cargada. A continuación se describe la frecuencia de toma de datos para estas actividades:

Toma de datos relacionada con pasadas HVS: se propone tomar datos en la condición inicial, 100, 200, 300, 500, 1000, 1500, 3000, 5000, 10000, 15000 y de aquí en adelante cada 15000 pasadas hasta la falla.

Toma de núcleos: se propone la toma de núcleos una vez terminada la construcción de los tramos fuera de la zona de carga. Al final del experimento se propone tomar núcleos tanto en la zona de carga como afuera de la misma.

Tabla 2 Toma de datos y ensayos complementarios

| Tipo de Instrumentación | Relacionado a pasadas de HVS | Horario | Diario | Otro |
|-------------------------------|------------------------------|---------|--------|------|
| Perfil Laser 3D | ✓ | | | |
| Deformaciones Unitarias | ✓ | | | |
| Presión | ✓ | | | |
| Temperatura | | ✓ | | |
| Condiciones climáticas | | | ✓ | |
| Deflexión superficial RSD | ✓ | | | |
| Deflexión estructural MDD | ✓ | | | |
| Núcleos | | | | ✓ |
| FWD/LWD/DCP | | | | ✓ |
| Daño superficial | | | ✓ | |
| Caracterización de materiales | | | | ✓ |

Ensayos FWD/LWD/DCP: se propone realizar ensayos con los equipos LWD y DCP durante la construcción de los tramos en las capas granulares y suelo; y los ensayos de FWD al terminar la construcción de la capa superficial. Al final del experimento se propone realizar ensayos con el FWD sobre la estructura fallada y ensayos LWD/DCP sobre las capas granulares y suelo falladas.

Inspección de danos superficiales: este se refiere, por ejemplo, a la aparición de grietas, pérdida de fricción, pérdida de adherencia agregado-ligante entre otros que pueden ser documentados diariamente cuando se realice el respectivo mantenimiento diario del HVS.

Muestreo y caracterización de materiales: se propone realizar el muestreo de material de suelo, material granular, mezcla asfáltica y ligante asfáltico durante el proceso de construcción para realizar ensayos de aceptación o calidad del material y ensayos de caracterización y desempeño. Al final de cada experimento se propone realizar un análisis forense de los materiales constituyentes de cada tramo y repetir, dentro de lo posible, los mismos ensayos realizados anteriormente.

8. CRONOGRAMA

El mayor componente de la información generada por el HVS será procesado y analizado por la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA–LanammeUCR. Los ensayos para la caracterización de materiales y ensayos de desempeño en el laboratorio serán realizados por personal del laboratorio de infraestructura vial y civil del LanammeUCR. También resulta importante de resaltar que a través del Comité de APT, se espera que los resultados generados como parte del proyecto del HVS sean difundidos a la comunidad ingenieril de tal forma que se genere un impacto positivo para el desarrollo de los métodos de diseño y prácticas de construcción actualmente usados en el País y la Región. La Tabla 3 muestra en cronograma de actividades tentativo para el año 2013.

Tabla 3 Cronograma del proyecto

| Programación | 2013 | | | | | | | | | 2014 | | | | | |
|--------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|------|---|---|---|---|---|
| | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | F | M | A | M | J |
| Instalación de sensores | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| Cons. Base G. y BEC | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instalación sensores asfalto | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción MAC | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instalación MDD's | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo AC | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo AC | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| Ensayo AC3 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| Ensayo AC4 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| Presentación HVSIA | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| Caracterización Mat. Lab. | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| Desempeño Lab. | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| Modelación | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| Análisis Forense AC1 | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| Informe parcial y artículo TRB | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| Presentación TRB AFD40(2) | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| Análisis Forense AC2 | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| II Informe parcial | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| Análisis Forense AC3 | | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| III Informe parcial | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| Análisis Forense AC4 | | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| Informe Final Artículo TRB | | | | | | | | | | | | | | | ■ |

9. REFERENCIAS

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, Washington, D.C., 1993.
2. Asphalt Institute MS-1, Manual Series No. 1, *Thickness Design—Asphalt Pavements for Highways and Streets*. Ninth Edition (1981).
3. Coetzee, N et al. (2008). *The Heavy Vehicle Simulator in Accelerated Pavement Testing: Historical Overview and New Developments*. 3rd International Conference APT. Documento consultado el 14 enero del 2013.
www.cedex.es/apt2008/.../The_Heavy_Vehicle_Simulator_in_accelerated.pdf
4. Gokhale, S et al. (2009). *Evaluation of Pavement Strain Gauge Repeatability: Results from Accelerated Pavement Testing*. Transport Research Board. Washington DC.
5. Harvey, J. T., L. du Plessis, F. Long, S. Shatnawi, C. Scheffy, B-W. Tsai, I. Guada, D. Hung, N. Coetzee, M. Reimer, and C. L. Monismith. *Initial CAL/APT Program: Site Information, Test Pavement Construction, Pavement Materials Characterizations, Initial CAL/APT Test Results, and Performance Estimates*. Report prepared for the California Department of Transportation. Report No. RTA-65W485-3. Pavement Research Center, CAL/APT Program, Institute of Transportation Studies, University of California Berkeley, June 1996, 350 pp.
6. Harvey, J. T., Hoover, T., Coetzee, N. F., Nokes, W. A., and Rust, F. C. *Caltrans Accelerated Pavement Test (CAL/APT) Program—Test Results: 1994–1997*. AAPT Symposium on Accelerated Pavement Testing, Boston, MA, March 16-18, 1998.
7. *Heavy Vehicle Simulator. Monitoring of test sections and instrumentation*. Documento consultado el 6 de abril del 2010. <http://www.gautrans-hvs.co.za/>
8. *Heavy Vehicle Simulator. APT Facilities*. Documento consultado el 14 enero del 2013. <http://www.gautrans-hvs.co.za/>
9. Huang, Y. H. *Pavement Analysis and Design*. 1st Ed., Prentice–Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1993.
10. JOOSTE, F.J. and Sampson, L. (2004). *The Economic Benefits of HVS Development Work on G1 Base Pavements (Draft)*. Modelling and Analysis Systems, Pretoria, South Africa. January, 2004.
11. Odermatt, N et al. (ND). *Analysis of permanent deformation in subgrade material using a heavy vehicle simulator*. Documento consultado el 14 de enero del 2013.

12. <http://www.mrr.dot.state.mn.us/research/apt/data/cs11-05.pdf>
13. Romanoschi, S et al. (2004). *Accelerated Pavement Testing Evaluation of the Structural Contribution of Full-Depth Reclamation Material Stabilized with Foamed Asphalt*. Transport Research Board. Washington DC.
14. Theyse, H.L., *Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Method*, South African Transport Conference, July 2000.
15. Wiman, L. (2009). *Heavy Vehicle Simulator*. Documento consultado el 14 de enero del 2013. http://www.vti.se/templates/Page_3250.aspx