

## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

PROPUESTA: LM-PI-UIMP-030-P

# PROTOCOLO DE PREDICCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

Preparado por:  
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica  
Abril, 2014

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

Preparado por: Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-  
LanámmeUCR, jose.aguiar@ucr.ac.cr



Información técnica del documento

<p><b>1. Informe</b> LM-PI-UMP-030-P</p>		<p><b>2. Copia No.</b> 1</p>	
<p><b>3. Título y subtítulo:</b> PROTOCOLO DE PREDICCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS</p>		<p><b>4. Fecha del Informe</b> Marzo, 2014</p>	
<p><b>7. Organización y dirección</b> 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</p>			
<p><b>8. Notas complementarias</b></p>			
<p><b>9. Resumen</b> <i>La siguiente propuesta busca seleccionar o modificar un ensayo fundamental de caracterización por deformación permanente en mezclas asfálticas, que pueda ser implementado en el LanammeUCR. Inicialmente se consideraran los ensayos confinados de barrido de esfuerzos no destructivos y los ensayos de barridos de esfuerzos a distintas temperaturas. El proyecto en cuestión es una colaboración con la Dra. Nicole Krings del Instituto Real de Tecnología KTH en Suecia.</i></p>			
<p><b>10. Palabras clave</b> Asfalto, Materiales, Emulsión, Modificantes, Modificación,</p>		<p><b>12. Núm. de páginas</b> 8</p>	
<p><b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno</p>			
<p><b>13. Preparado por:</b> Ing. Carlos F. Coronado Dejuk, MSc Investigador-PITRA</p> <p><i>Carlos Coronado Dejuk</i></p> <p>Fecha: 04 / 04 / 14</p>		<p>Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos</p> <p><i>J. P. Aguiar</i></p> <p>Fecha: 04 / 04 / 14</p>	
		<p><b>14. Revisado por:</b> Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA</p> <p><i>Guillermo Loría Salazar</i></p> <p>Fecha: 04 / 04 / 14</p>	

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
3. PLAN DE TRABAJO .....	8
4. RECURSOS NECESARIOS.....	8

## 1. INTRODUCCIÓN

El desempeño de los pavimentos flexibles se ve afectado por distintos tipos de mecanismos de falla, entre ellos: deformaciones permanentes, fisuración por fatiga, fisuración térmica y susceptibilidad a la humedad. Un énfasis especial se le ha dado al estudio de las deformaciones permanentes (plásticas) debido a que es el tipo de deterioro que puede acontecer de manera más abrupta y en edades más tempranas en este tipo de pavimentos. Los otros mecanismos tienden a producirse de manera más lenta después de someterse el pavimento a varios años de tráfico u ocurren por la interacción con el ambiente. Adicionalmente, su estudio se ha incrementado en las últimas décadas, por el aumento en las cargas de tráfico y de presión en las ruedas sobre los pavimentos, convirtiendo este tipo de deterioro en el más dominante en pavimentos flexibles a nivel mundial.

Las deformaciones permanentes se manifiestan como canales o surcos que se forman a lo largo de la trayectoria longitudinal de circulación de los vehículos. Estos canales comprometen el confort y la seguridad, especialmente en momentos de lluvia, donde la acumulación de agua puede producir el efecto de hidropilano en la conducción, además de inducir al fallo por humedad en la mezcla asfáltica.

La deformación permanente total es la suma de pequeñas deformaciones producidas en las distintas capas que componen el pavimento flexible. Sin embargo, para estructuras con bases bien compactadas y adecuada capacidad de soporte en la subrasante; las deformaciones producidas en la mezcla asfáltica son la principal causa de deformación permanente total en este tipo de pavimentos. Esta es la razón por la que actualmente la mayor parte de las investigaciones se enfocan en la mejor manera de medir, caracterizar y predecir las deformaciones permanentes en mezclas asfálticas.

Las deformaciones plásticas en mezclas asfálticas se producen por dos mecanismos principales: densificación (reducción de contenidos de vacíos) y flujo plástico (flujo de cortante). En general para mezclas con un buen grado de compactación, el principal factor que incide en la estabilidad de la mezcla es la resistencia a esfuerzos de corte que esta presenta, especialmente en los primeros 10 centímetros de su espesor (de arriba hacia abajo).

Considerando lo anterior, la resistencia de las mezclas a deformación permanente es función del tipo de ligante, agregados y composición volumétrica de la mezcla. Así mismo se ve

influenciada por las condiciones ambientales y de tráfico a la que se le somete. Una mezcla resistente es aquella que tiene un esqueleto mineral bien articulado, con buena adhesión entre el agregado y el ligante, y un nivel de compactación suficiente para evitar grandes consolidaciones, en los distintos escenarios ambientales y de tráfico a los que se va a estar sujeto el pavimento.

Los ensayos de laboratorio en mezclas tratan de caracterizar el desempeño de estos a diferentes tipos de deterioro. En el caso de las deformaciones permanentes, inicialmente se utilizaron ensayos empíricos, principalmente el Marshall y Hveem, donde se encontraba el nivel óptimo de ligante que correspondía a la mayor estabilidad de la mezcla, sin embargo estos ensayos no son capaces de medir ninguna propiedad específica de la mezcla.

En la actualidad, la mayoría de laboratorios de investigación utilizan ensayos fundamentales y de simulación para caracterizar las deformaciones permanentes en mezclas. Los ensayos de simulación más populares son las máquinas de pista de laboratorio (LWT por sus siglas en inglés) y los ensayos de pavimentos acelerados (APT por sus siglas en inglés). Los primeros (LWT) suelen correlacionar bien de manera cualitativa con deformaciones in situ (APT). Sin embargo no son capaces de brindar propiedades específicas de la mezcla y por tanto son utilizados principalmente como herramienta de QA/QC.

Los ensayos fundamentales intentan reproducir los estados de esfuerzos que se generen en sitio de manera que brinden propiedades y características intrínsecas de la mezcla. De esta manera se generan modelos de predicción de las deformaciones con el paso de vehículos a lo largo del tiempo. Existen muchos tipos de ensayos fundamentales, sin embargo con la adopción generalizada del diseño de mezcla SUPERPAVE, y como parte del proyecto NCHRP 9-19, se recomendó el uso de tres tipos de ensayos confinados para caracterizar deformaciones permanentes en mezclas, a saber: Ensayo de Módulo Dinámico (EMD), Ensayo de Fluencia (EF) y Ensayo de Cargas Repetidas (ECR). Los parámetros principales que se obtienen de cada uno son el módulo complejo ( $E^*$ ), el tiempo de flujo (Ft) y el número de flujo (Fn), respectivamente.

Los tres ensayos se pueden llevar a cabo en el Evaluador de Desempeño de Mezclas Asfálticas (AMPT por sus siglas en inglés). El EMD es un ensayo no destructivo y que brinda el valor  $E^*$  utilizado por el método de diseño de pavimento Mecanístico-Empírico, sin embargo, es de

muy larga duración y estudios han comprobado que no es capaz de correlacionar de buena manera en altas temperaturas (cuando más se dan las deformaciones permanentes). El EF brinda información sobre la componente elástica, viscoelástica, viscoplástica y plástica de la mezcla, sin embargo el ensayo estático no simula las cargas móviles que se dan in situ. Además para mezclas muy rígidas, el ensayo puede tardar mucho, y la información brindada es únicamente para un nivel de temperatura y esfuerzo. El ECR es el que mejor simula las condiciones dinámica in situ y además brinda información sobre las deformaciones plásticas y resilientes, sin embargo, al igual que el EF, para mezclas duras se puede demorar mucho tiempo, y no hay predicción para situaciones variables de esfuerzos y temperaturas.

En los últimos tres años se han creado dos nuevos ensayos que tratan de corregir los inconvenientes anteriores. El equipo de Azari y Mohseni proponen un ensayo confinado de barrido de esfuerzos no destructivo llamado iRLPD (Incremental Repeated Load Permanent Deformation), en el que se mide el parámetro tasa de cambio de deformación mínima (MSR por sus siglas en inglés) con cuatro distintos niveles de esfuerzo, para ser capaces de generar una curva maestra MSR vs TP, donde TP es temperatura  $\times$  esfuerzo. Esta curva es capaz de predecir el desempeño de la mezcla asfáltica en un rango de esfuerzos y temperaturas y el procedimiento es muy corto y sencillo. No necesita de funciones de transferencia al campo y su variabilidad es baja. El inconveniente que tiene es que no es capaz de predecir la primera región de flujo de la mezcla, pues la base teórica del MSR se da en la segunda etapa. El ensayo utiliza el mismo ciclo de carga - descanso del ECR (es decir, 0.1 segundos de carga y 0.9 segundos de descanso) y por tanto no considera la recuperación viscoelástica completa en cada ciclo.

El equipo de Kim et al. proponen un ensayo con una base teórica similar al equipo de Mohseni y Azari, sin embargo ellos utilizan barridos de esfuerzos con tres temperaturas diferentes (temperatura baja, intermedia y alta) para tres niveles de esfuerzo diferentes y ascendentes. Además utilizan un ECR de referencia a temperatura alta. Consideran diferentes tiempos de carga y reposo para cada temperatura de ensayo, de manera que puedan representar más fielmente la recuperación viscoelástica. Este protocolo le conoce como Ensayo Triaxial de Barrido de Esfuerzos (TSS por sus siglas en inglés) y se utiliza para calibrar el modelo Shift Model para predicción de deformaciones permanentes, creado por ellos mismos. Este

protocolo de ensayo es más extenso que el iRLPD. Es capaz de predecir de buena manera tanto la primera como la segunda región de flujo, sin embargo al necesitar más especímenes de ensayo, presenta mayor variabilidad que el iRLPD.

Con base en lo anterior se evidencian los numerosos esfuerzos que se han dado en la creación de un protocolo de laboratorio capaz de caracterizar la deformación permanente en mezclas asfálticas de manera fiable, sencilla, rápida y relativamente poco costosa y capaz de adaptarse a los actuales equipos de laboratorio, debido a la importancia de este tipo de deterioro en los pavimentos flexibles. Lo anterior es el objetivo de la presente investigación.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollo de un nuevo protocolo de ensayo capaz de medir y predecir la deformación permanente en pavimentos asfálticos para distintas condiciones ambientales y de tráfico. El ensayo debe ser fiable, simple, relativamente rápido y capaz de adaptarse al AMPT para no incurrir en el costo de nuevos equipos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisión del estado del arte en lo que se refiere a deformaciones permanentes en mezclas asfálticas.
- Limitaciones y ventajas de ensayos de laboratorio para caracterización de deformaciones permanentes en la actualidad.
- Propuesta de protocolo de ensayo para caracterizar la deformación permanente en mezclas para diferentes temperaturas y esfuerzos, considerando distintas presiones de confinamiento y ciclos de carga.
- Modelación de la deformación permanente con el tiempo.
- Validación del modelo con ensayos de simulación o de campo.
- Recomendación de configuración de ensayo para la evaluación de la susceptibilidad a las deformaciones permanentes de las mezclas.

Eventualmente se tratará de acoplar el modelo generado con algún programa de elemento finitos, de manera que se pueda generar una simulación en computadora con los datos obtenidos por el ensayo.

### 3. PLAN DE TRABAJO

Para el cumplimiento de los objetivos, se plantea el siguiente plan de trabajo inicial.

Año 1: Familiarizarse con ensayo y mecanismo de daño.

- Revisión literaria: Historia del ensayo, otros ensayos de deformación permanente, mecanismos de daño, modelos visco-elasto-plásticos (grandes deformaciones, energía), mecánica de fractura.
- Conociendo el ensayo: comenzar a configurarlo (equipo, software, calibración, etc)
- Desarrollo y acercamiento teórico del ensayo.

Año 2: Modificación-extensión del ensayo y desarrollo de modelo de simulación.

Año 3: Estudios paramétricos y validación del modelo.

Año 4: Ensayos de simulación o campo. Recomendaciones y pautas a seguir.

### 4. RECURSOS NECESARIOS

Para el desarrollo del proyecto se dispondrá de los equipos existentes en el LanammeUCR, por lo que no se requerirá fondos para equipo nuevo. No obstante, se requiere de capital humano para el desarrollo y ejecución del proyecto. En este sentido y mediante la coordinación de la Dra. Nicole Kringos del Instituto Real de Tecnología KTH en Suecia, quien dirigirá el proyecto en conjunto con el LanammeUCR, se contratará a un investigador que esté desarrollando sus estudios de posgrado en la KTH para desarrollar este proyecto. El estudiante es el Ing. Carlos F. Coronado Dejuk, MSc.