

# RESISTENCIA AL DAÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

Ing. Fabiola Miranda Argüello  
Unidad de Materiales y Pavimentos

Ing. Adriana Vargas Nordbeck  
Unidad de Materiales y Pavimentos

Ing. José Pablo Aguiar Moya  
Unidad de Materiales y Pavimentos  
jose.aguiar@ucr.ac.cr

## INTRODUCCIÓN

El daño por humedad es un problema generalizado en pavimentos asfálticos que conlleva a la ocurrencia de fallas prematuras. Este tipo de daño puede ocurrir debido a una pérdida de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado, o a la difusión de humedad a través del mástic asfáltico, debilitando la estructura de la mezcla y haciéndola más susceptible a cargas cíclicas. (Hicks, 2003; Lu, 2005; Howard; 2012 y Aguiar, 2015).

Históricamente se han realizado numerosos esfuerzos para desarrollar un método experimental en laboratorio capaz de predecir el desempeño de los pavimentos asfálticos ante el fenómeno de daño por humedad (Solaimanian, 2003). Actualmente existen muchos procedimientos que pueden ser utilizados para evaluar de manera cualitativa o cuantitativa la susceptibilidad al daño por humedad tanto en los materiales primarios (asfalto y agregados) como en la mezcla asfáltica. Sin embargo, estos métodos arrojan resultados con baja o nula correlación con los resultados de las evaluaciones en campo (Hand, 2012).

La metodología Superpave adoptó el método de ensayo AASHTO T283, más conocido como el ensayo de Lottman Modificado, como requerimiento para la determinación de la susceptibilidad al daño por humedad, el cual a su vez corresponde al ensayo más utilizado para cuantificar este deterioro en mezclas asfálticas (Solaimanian, 2003 y Hand, 2012). No obstante, este corresponde a un procedimiento empírico desarrollado para condiciones que difieren significativamente a las condiciones de campo, en el tanto el protocolo de carga se basa en la aplicación de un esfuerzo estático: es

un parámetro que no es posible asociar directamente con el diseño del pavimento para determinar si su desempeño en campo será aceptable. Por tanto, este criterio genera falsos positivos o negativos en la predicción del daño por humedad (Solaimanian, 2003).

Los ensayos de desempeño han demostrado ser una alternativa eficiente para la evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad en mezclas asfálticas (Solaimanian, 2006; Solaimanian, 2007; Nadkarni, 2009 y Vargas, 2016). Al igual que para el ensayo AASHTO T283, la evaluación de la resistencia al daño por humedad se basa en la comparación de los resultados de los ensayos de Resistencia a la Tensión Diametral (RTD), Módulo Dinámico (MD) y Flow Number (FN) en especímenes acondicionados respecto a especímenes sin acondicionamiento. Adicionalmente, la realización de múltiples ciclos de acondicionamiento permite obtener resultados que simulan de forma más precisa el desempeño en campo de los pavimentos asfálticos (Vargas, 2016)

## OBJETIVO

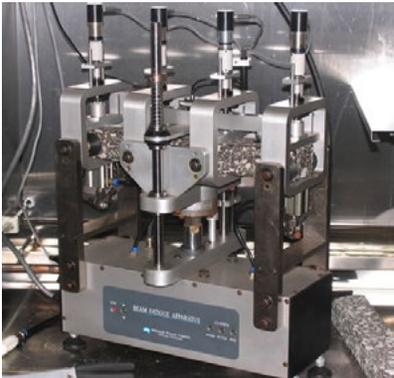
El proyecto tiene como objetivo desarrollar una metodología de laboratorio basado en pruebas de desempeño para cuantificar la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas. Para ello se evaluarán mezclas típicas de Costa Rica, de modo que el producto del estudio permita generar especificaciones técnicas para ser aplicadas en el país. Adicionalmente se estudiará el efecto de la utilización de tecnologías de mejoramiento del desempeño en mezclas costarricenses.

## Comité Editorial 2017:

- Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD, Coordinador General PITRA, LanammeUCR
- Ing. Raquel Arriola Guzmán, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA, LanammeUCR

## PROGRAMA EXPERIMENTAL

La evaluación del desempeño mediante ensayos de laboratorio se realiza en dos fases (Figura 1).

| Fase I  |   | Fase II   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| AASHTO T283   | AASHTO TP79   | AASHTO T321   |
| Resistencia Retenida a Tensión Diametral (RRTD)                                   | Módulo Dinámico (MD)<br>Flow Number (FN)  | Resistencia a fatiga con envejecimiento a largo plazo                               |

**Figura 1. Fases del proyecto**

Los ensayos realizados en la Fase I se realizan para 1, 3 y 6 ciclos de acondicionamiento. Cada ciclo involucra someter un espécimen saturado entre el 70 y 80% a un período de congelamiento no menor a 16 horas a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y posteriormente colocarlo en un baño atemperado a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas (Figura 2).



Congelamiento a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 16 horas



Baño a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas

**Figura 2. Ciclo de hielo y deshielo**

El ensayo de fatiga se realiza en las mezclas con mejor desempeño, de acuerdo con los resultados de la Fase I.

## MATERIALES

El esquema experimental abarca todas las combinaciones de los materiales mostrados en el Cuadro 1, para un total de 36 mezclas asfálticas.

**Cuadro 1. Materiales del proyecto**

| Fuente de agregados | Tamaño Máximo Nominal (TMN) | Asfaltos                         |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Barranca            | 9.5 mm                      | Original                         |
| Guápiles            | 9.5 mm                      | Modificado con 2% SBS            |
| Río Claro           | 12.5 mm                     | Modificado 0.5% ADL              |
|                     |                             | Modificado con 2% SBS + 0.5% ADL |
|                     |                             | Modificado con 1% Cal            |
|                     |                             | Modificado con 1% Cal + 2% SBS   |

Los agregados procedentes de las fuentes de Barranca y Guápiles son de origen silíceo (Figura 3 a) los cuales poseen buenas características mecánicas y friccionantes que proporcionan un esqueleto mineral para ser utilizado en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico. Adicionalmente, debido a la presencia de aluminosilicatos, con altos niveles de basicidad, presentan buenas propiedades de adhesión con el ligante asfáltico.

Por otra parte los agregados provenientes de Río Claro contienen abundante material de origen calizo (Figura 3 b), los cuales debido a su alta susceptibilidad al pulimiento los imposibilita para ser utilizados para mezclas asfálticas en capa de rodadura, a pesar de que presentan excelentes propiedades mecánicas. La presencia de carbonato de calcio le asigna un carácter básico, no obstante, menor que los agregados silíceos, lo cual revela una menor afinidad y por tanto adhesión con el ligante asfáltico.



a. Origen Silíceo (Fuente Guápiles)

b. Origen Calizo (fuente Río Claro)

**Figura 3. Agregados provenientes de Guápiles (izquierda) y Río Claro (derecha)**

La Figura 4 muestra las curvas granulométricas utilizadas en el proyecto para ambos TMN. Todas las configuraciones obedecen a mezclas densas gruesas con tendencias típicas de las mezclas diseñadas en Costa Rica, tratando de alcanzar la mayor similitud entre ellas.

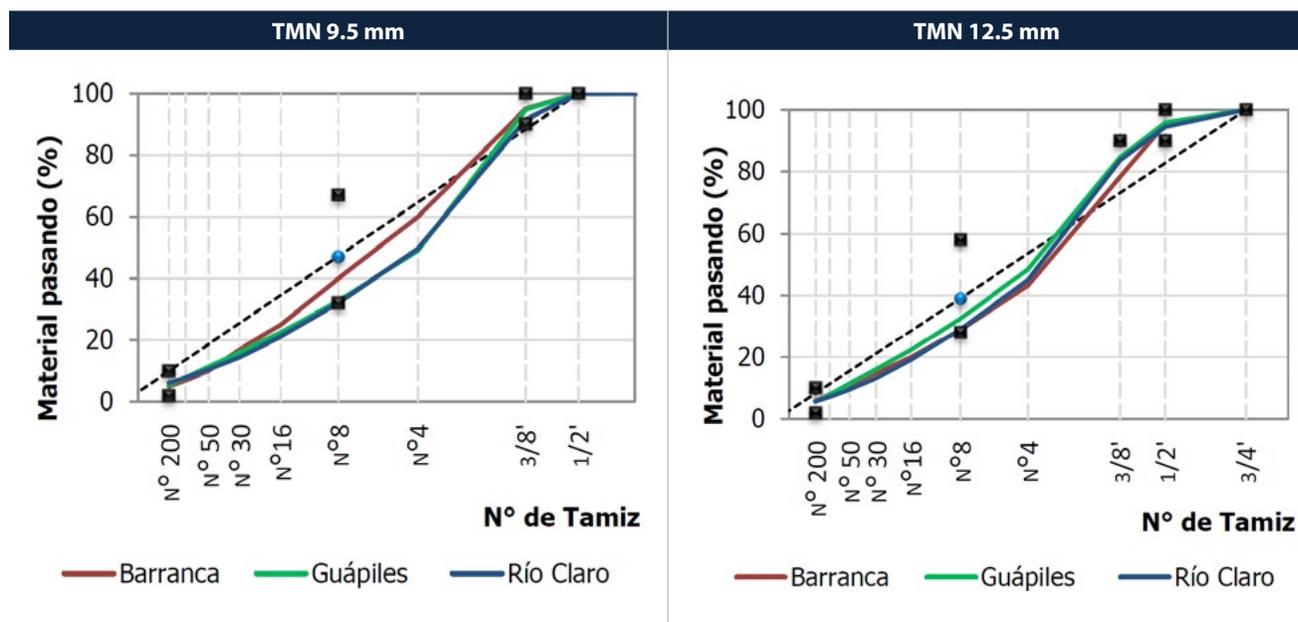


Figura 4. Configuraciones granulométricas de diseño

Las propiedades volumétricas de las mezclas diseñadas se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Avance del proyecto

| Mezcla  | Fuente I: TMN 9.5 mm |      |      |     | Fuente I: TMN 12.5 mm |      |      |     |
|---------|----------------------|------|------|-----|-----------------------|------|------|-----|
|         | % Asfalto PTM        | VMA  | VFA  | P/A | % Asfalto PTM         | VMA  | VFA  | P/A |
| Control | 6.5                  | 15.5 | 73.7 | 1.0 | 7.0                   | 15.8 | 74.5 | 1.1 |
| SBS     | 6.5                  | 15.8 | 74.3 | 1.0 | 6.5                   | 15.1 | 73.3 | 1.2 |
| ADL     | 6.5                  | 15.9 | 72.7 | 1.0 | 6.5                   | 14.7 | 72.7 | 1.2 |
| SBS+ADL | 6.3                  | 15.4 | 72.9 | 1.0 | 5.9                   | 13.1 | 69.9 | 1.5 |
| Cal     | 6.7                  | 16.3 | 74.4 | 0.9 | 6.0                   | 14.0 | 71.5 | 1.3 |
| SBS+Cal | 6.6                  | 16   | 74.4 | 1.0 | 6.3                   | 14.3 | 72.0 | 1.3 |
| Mezcla  | Fuente II: 9.5 mm    |      |      |     | Fuente II: 12.5 mm    |      |      |     |
|         | % Asfalto PTM        | VMA  | VFA  | P/A | % Asfalto PTM         | VMA  | VFA  | P/A |
| Control | 6.6                  | 15.6 | 74.5 | 1.1 | 6.2                   | 14.9 | 73.3 | 1.2 |
| SBS     | 6.6                  | 15.6 | 74.5 | 1.1 | 6.2                   | 14.7 | 72.9 | 1.2 |
| ADL     | 6.4                  | 15.2 | 73.8 | 1.1 | 6.1                   | 14.5 | 72.1 | 1.2 |
| SBS+ADL | 6.7                  | 15.7 | 74.7 | 1.1 | 6.3                   | 14.9 | 73.5 | 1.2 |
| Cal     | 6.5                  | 15.6 | 74.4 | 1.1 | 5.9                   | 14.5 | 72.2 | 1.3 |
| SBS+Cal | 6.5                  | 15.5 | 74.0 | 1.1 | 5.9                   | 14.4 | 72.6 | 1.3 |

| Mezcla  | Fuente III: 9.5 mm |      |      |     | Fuente III: 12.5 mm |      |      |     |
|---------|--------------------|------|------|-----|---------------------|------|------|-----|
|         | % Asfalto PTM      | VMA  | VFA  | P/A | % Asfalto PTM       | VMA  | VFA  | P/A |
| Control | 6.4                | 15.1 | 73.5 | 1.3 | 6.3                 | 14.9 | 73.3 | 1.2 |
| SBS     | 6.3                | 14.9 | 73.4 | 1.3 | 5.9                 | 14.0 | 71.5 | 1.4 |
| ADL     | 6.2                | 14.5 | 72.4 | 1.4 | 5.9                 | 13.7 | 70.8 | 1.5 |
| SBS+ADL | 6.3                | 14.7 | 75.0 | 1.3 | 6.0                 | 14.0 | 71.4 | 1.4 |

## Estado del proyecto

El avance del proyecto se resume en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Avance del proyecto**

| Mezcla      | Asfalto | Fuente I |      |    |    | Fuente II |      |    |    | Fuente III |      |    |    |
|-------------|---------|----------|------|----|----|-----------|------|----|----|------------|------|----|----|
|             |         | MD       | RRTD | FN | VF | MD        | RRTD | FN | VF | MD         | RRTD | FN | VF |
| TMN 9.5 mm  | Control | ✓        | ✓    | ✓  | ✓  | ✓         | ✓    | ✓  |    | ✓          | ✓    |    |    |
|             | SBS     | ✓        | ✓    | ✓  | ✓  | ✓         | ✓    | ✓  |    |            | ✓    |    |    |
|             | ADL     | ✓        | ✓    | ✓  | -  | ✓         | ✓    | ✓  |    |            |      |    |    |
|             | SBS+ADL | ✓        | ✓    | ✓  | ✓  | ✓         | ✓    | ✓  |    | ✓          |      |    |    |
|             | Cal     | ✓        | ✓    | ✓  | -  | ✓         | ✓    | ✓  |    |            |      |    |    |
|             | SBS+Cal | ✓        | ✓    | ✓  | ✓  | ✓         | ✓    | ✓  |    |            |      |    |    |
| TMN 12.5 mm | Control | ✓        | ✓    | ✓  | ✓  | ✓         | ✓    | ✓  |    | ✓          | ✓    |    |    |
|             | SBS     | ✓        | ✓    | ✓  | ✓  | ✓         | ✓    | ✓  |    |            | ✓    |    |    |
|             | ADL     | ✓        | ✓    | ✓  | -  | ✓         | ✓    | ✓  |    |            |      |    |    |
|             | SBS+ADL | ✓        | ✓    | ✓  | ✓  | ✓         | ✓    | ✓  |    | ✓          |      |    |    |
|             | Cal     | ✓        | ✓    | ✓  | -  | ✓         | ✓    | ✓  |    |            |      |    |    |
|             | SBS+Cal | ✓        | ✓    | ✓  | ✓  | ✓         | ✓    | ✓  |    |            |      |    |    |

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de RTD para las mezclas control de las tres fuentes analizadas en el proyecto y los resultados de los ensayos de la Fase I para las fuentes de Barranca y Guápiles.

### Resistencia Retenida a la Tensión Diametral

La Figura 5 presenta los resultados del ensayo de RTD de las mezclas de control de las tres fuentes del proyecto. Las mezclas diseñadas con agregados de Guápiles presentan el mejor comportamiento para este ensayo, seguidas por las mezclas conformadas con agregados de Barranca. Por su parte, las mezclas con agregados de Río Claro evidencian una clara afectación producto del acondicionamiento, revelando una caída progresiva en el valor de RTD conforme se incrementa la cantidad de ciclos aplicada. Lo anterior es consistente respecto al comportamiento esperado de acuerdo con la naturaleza de los agregados y su afinidad al ligante asfáltico.

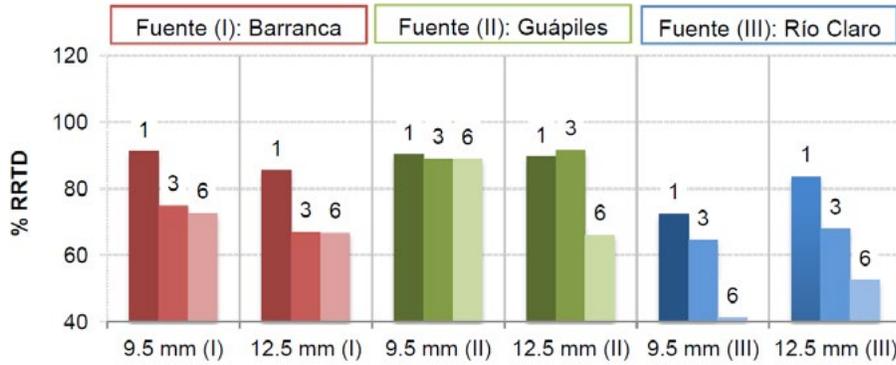


Figura 5. Resultados del ensayo de RTD para las mezclas control

### Módulo Dinámico

El ensayo de Módulo Dinámico (MD), se realizó en especímenes sin acondicionar y en especímenes con 1, 3 y 6 ciclos de hielo y deshielo. La condición inicial permite cuantificar la rigidez de la mezcla. Al someter los especímenes a ciclos de hielo y deshielo, se produce un deterioro de la mezcla que genera una caída de rigidez. Esta reducción se asocia directamente a la susceptibilidad de la mezcla al daño por humedad; cuanto mayor sea la diferencia en módulo dinámico de los especímenes acondicionados respecto a los secos, más susceptibles son las mezclas al daño por humedad. Lo anterior se cuantifica a través de la siguiente relación:

$$\text{Razón } E^* = \frac{E_n^* \text{ ciclos de congelamiento}}{E^* \text{ sin acondicionar}}$$

Donde  $E^*$  corresponde al valor de módulo dinámico y el número  $n$  corresponde a 1, 3 y 6 ciclos de hielo y deshielo aplicados en el proyecto. La Figura 6 presentan los resultados de MD en condiciones típicas de operación ( $20^\circ$  y 10 Hz) para las fuentes de Barranca y Guápiles.

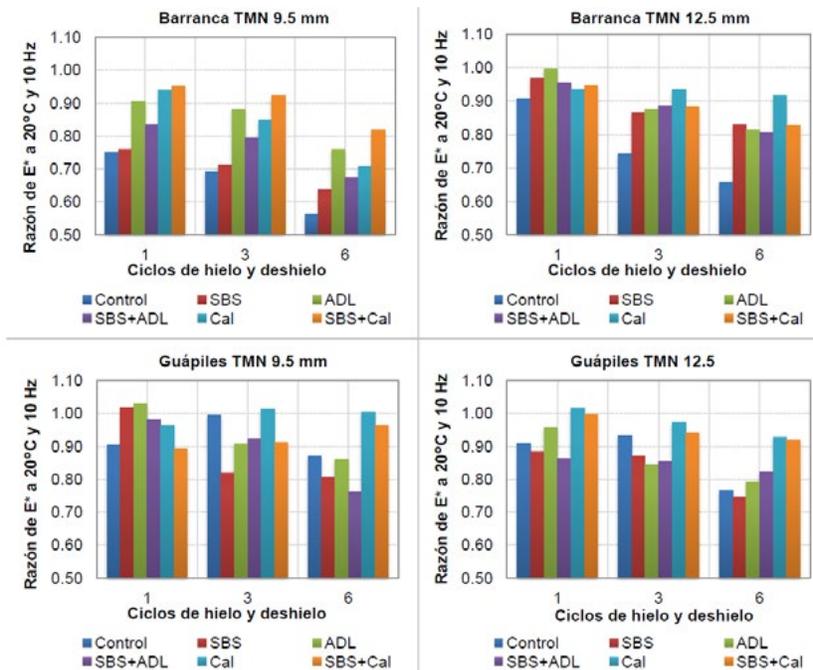


Figura 6. Resultados del ensayo de MD para las fuentes de Barranca y Guápiles

## Flow Number

Los resultados del ensayo de Flow Number (Figura 7) son analizados bajo el mismo principio anterior. El objetivo de este procedimiento consiste en cuantificar el efecto del daño por humedad en la pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica. La relación analizada obedece a la siguiente expresión:

$$\text{Razón de FN} = \frac{FN_{n \text{ ciclos de congelamiento}}}{FN_{\text{sin congelamiento}}}$$

Donde FN corresponde al número de ciclos para ingreso a flujo terciario a  $n$  ciclos de hielo y deshielo respecto a la condición sin acondicionar.

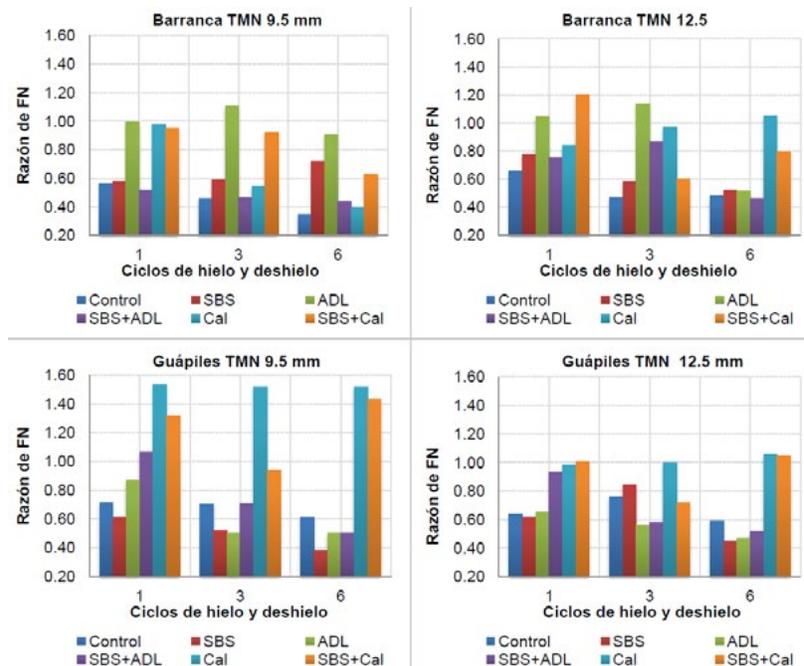
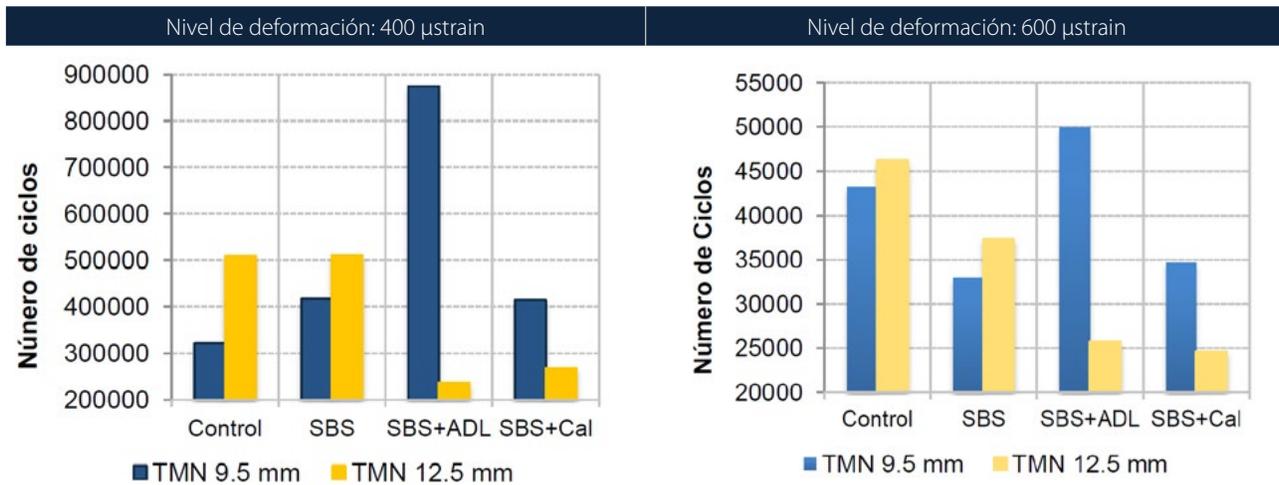


Figura 7. Resultados del ensayo de FN para las fuentes de Barranca y Guápiles

## Resistencia al agrietamiento por fatiga

Con base en los resultados anteriores se seleccionan las mezclas con mejor desempeño y se aplica el ensayo de fatiga en viga a flexotracción a dos niveles de deformación. Las mezclas evaluadas corresponden a la condición control, con asfalto modificado con SBS, SBS+ADL y SBS+Cal. Los resultados obtenidos de acuerdo con el estado del proyecto se presentan en la Figura 8. La mayor resistencia a la fatiga se obtiene para la combinación de asfalto modificado con SBS y ADL. Para los tratamientos control se observa un mejor desempeño en la mezcla de TMN de 12.5 mm, lo cual se encuentra influenciado por los contenidos de asfalto (7,0% para la mezcla de TMN de 12.5 mm y 6.5% para la mezcla de TMN de 9.5 mm). Por otro lado, a pesar de que la adición de cal genera un aporte en la resistencia al daño por humedad, se identifica una afectación negativa en su desempeño a la fatiga, lo cual puede estar asociado a un incremento de rigidez del material.



**Figura 8. Resultados del ensayo de fatiga para la fuente de Barranca**

### Discusión de resultados

El desarrollo del proyecto y los resultados obtenidos con base en el avance del proyecto, permiten concluir que los protocolos de ensayo basados en la comparación del desempeño en especímenes sin acondicionamiento y acondicionados, pueden ser utilizados para definir criterios de aceptación o rechazo de mezclas asfálticas asociadas al fenómeno de daño por humedad. No obstante, deben definirse diferentes razones en función del ensayo utilizado.

A nivel general, el mejor desempeño se alcanza en mezclas con la combinación de SBS y agentes antidesnudantes. No obstante, existe una alta variación en los resultados en función de los materiales utilizados y su variabilidad. Por otro lado, se identifica una afectación de los agentes modificadores en las propiedades volumétricas de la mezcla, por lo que resulta necesario realizar una verificación del diseño en caso de su incorporación. Los puntos anteriores pretenden evidenciar la importancia del diseño de la mezcla en función del desempeño requerido en campo.

Los resultados obtenidos a la fecha aportan información concluyente en cuanto a materiales permisibles para la fabricación de mezcla asfáltica en Costa Rica, en donde la presencia de agregados de origen calizo, adicional a su potencial pulimiento con el paso del tránsito, revela de manera preliminar una mayor susceptibilidad al daño por humedad en comparación con los agregados de origen silíceo.

Todo lo anterior se está también relacionando con ensayos fundamentales de energía superficial que buscan complementar los ensayos de desempeño bajo distintas condiciones de acondicionamiento con parámetros termodinámicos fundamentales como la energía de adhesión y cohesión. Todo en aras de definir un protocolo de ensayo idóneo para determinar la resistencia al daño por humedad adecuado a las condiciones nacionales.

## REFERENCIAS

- 1.Hicks, R. Gray, Larry Santucci, y Tim Aschenbrener. Introduction and Seminar Objectives. Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements - A National Seminar. 2003.
- 2.Lu, Q. and J.T. Harvey. Investigation of Conditions for Moisture Damage in Asphalt Concrete and Appropriate Laboratory Test Methods. Research Report No. UCPRC-RR-2005-15, University of California Pavement Research Center, UC Davis and Berkeley, 2005.
- 3.Howard, I.L., V. Gallivan and G. Huber. Workshop Introduction. Moisture Damage to Hot- Mix Asphalt Mixtures - Synopsis of a Workshop. Transportation Research Circular E-C198. 2012.
4. Aguiar-Moya, J.P., J. Salazar-Delgado, A. Baldi-Sevilla, F. Leiva-Villacorta, and L. Loria-Salazar. Effect of Aging on Adhesion Properties of Asphalt Mixtures with the Use of Bitumen Bond Strength and Surface Energy Measurement Tests. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 21505, Transportation Research Board of 15 the National Academies, Washington D.C., 2015, pp. 57-65.
- 5.Solaimanian, M., J. Harvey, M. Tahmoressi and V. Tandon. Test Methods to Predict Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements. Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements - A National Seminar. 2003.
6. Hand, A. Testing for Moisture Damage in the Laboratory. Moisture Damage to Hot-Mix Asphalt Mixtures - Synopsis of a Workshop. Transportation Research Circular E-C198. 2012.
- 7.Solaimanian, M., R.F. Bonaquist and V. Tandon. Improved Conditioning and Testing Procedures for HMA Moisture Susceptibility. NCHRP Report 589, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2007.
- 8.Solaimanian, M., D. Fedor, R. Bonaquist, A. Soltani and V. Tandon. Simple Performance Test for Moisture Damage Prediction in Asphalt Concrete. Journal of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 75, 2006, pp. 345–380.
- 9.Nadkarni, A.A., K.E. Kaloush, W.A. Zeiada and K.P. Biligiri. Using Dynamic Modulus Test to Evaluate Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2127, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., 2009, pp. 29-35.
10. Vargas-Nordcbeck, A., F. Leiva Villacorta, J.P. Aguiar Moya and L.G. Loria Salazar. Evaluating Moisture Susceptibility of Asphalt Concrete Mixtures Through Simple Performance Tests. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2575, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2016, pp. 70-78. DOI: 10.3141/2575-08.



LanammeUCR

## LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

### PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE **PITRA**

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.

*Coordinador General*

Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA

*Subcoordinador*

#### **UNIDADES**

##### **Unidad de Auditoría Técnica (UAT)**

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc

*Coordinadora*

##### **Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)**

Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA

*Coordinadora*

##### **Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)**

Ing. Raquel Arriola Guzmán

*Coordinadora*

##### **Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)**

Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD.

*Coordinador*

##### **Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)**

Ing. Roy Barrantes Jiménez

*Coordinador*

##### **Unidad de Gestión Municipal (UGM)**

Lic. Carlos Campos Cruz

*Coordinador*

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Katherine Zúñiga Villaplana / Óscar Rodríguez Quintana

Boletín técnico: RESISTENCIA AL DAÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS / Diciembre, 2017