

## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

INFORME: LM-PI-UMP-020-R1

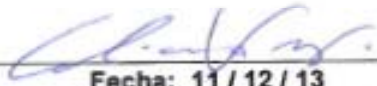


# EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON Y SIN LA ADICIÓN DE POLÍMEROS MODIFICANTES PARA MEZCLAS TÍPICAS EN COSTA RICA

Preparado por:  
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica  
Diciembre, 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.

<b>1. Informe</b> LM-PI-UMP-020-R1		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON Y SIN LA ADICIÓN DE POLÍMEROS MODIFICANTES PARA MEZCLAS TÍPICAS EN COSTA RICA		<b>4. Fecha del Informe</b> DICIEMBRE, 2013
<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		
<b>8. Notas complementarias</b>		
<b>9. Resumen</b> El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo. El porcentaje de mezcla asfáltica producida con asfaltos modificados ha crecido en los últimos años debido a todas las ventajas que la modificación del asfalto puede brindar a las mezclas, en cuanto a factores ambientales y económicos, mejora del desempeño, incremento de la vida útil y hasta para cumplimiento de especificaciones contractuales. El LanammeUCR se dio a la tarea de evaluar cuatro mezclas asfálticas de granulometría densa: dos clasificadas finas y las otras dos clasificadas como gruesas, con dos tamaños nominales máximos distintos (12.5mm y 9.5mm) que son consideradas mezclas típicas en el país, mediante varios ensayos de desempeño. Los ensayos utilizados fueron: resistencia retenida a la tensión diametral, resistencia a la deformación permanente mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), resistencia al agrietamiento mediante el ensayo de fatiga a flexotracción y módulo dinámico de la mezcla. Para todos los casos, el modificador utilizado fue un polímero SBR (Estireno-Butadieno-Caucho), que actualmente se está utilizando en algunos proyectos a nivel nacional. Los resultados de este estudio mostraron que la modificación del asfalto con polímeros puede utilizarse en mezclas típicas de Costa Rica para mejorar el desempeño de los pavimentos asfálticos. Sin embargo, la magnitud del beneficio de la modificación también dependerá de otros factores, como el tamaño máximo nominal del agregado y el tipo de granulometría de la mezcla.		
<b>10. Palabras clave</b> Mezcla asfáltica modificada, polímero, SBR	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 48
<b>13. Preparado por:</b> Ing. Adriana Vargas Nordbeck, Ph.D. Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 11 / 12 / 13		
<b>14. Revisado por:</b> Ing. José Pablo Aguilar Moya, Ph.D. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 11 / 12 / 13		<b>15. Aprobado por:</b> Ing. Guillermo Loria Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: 11 / 12 / 13

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	8
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.3 ANTECEDENTES .....	8
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.5 MARCO TEÓRICO.....	10
1.5.1 <i>POLÍMERO MODIFICANTE</i> .....	10
1.5.1.1 <i>Estireno-butadieno caucho (SBR)</i> .....	11
<b>2. METODOLOGÍA PROPUESTA .....</b>	<b>11</b>
2.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.2 ENSAYOS REALIZADOS .....	13
2.2.1 <i>MÓDULO RESILIENTE A TENSIÓN DIAMETRAL</i> .....	14
2.2.2 <i>MÓDULO DINÁMICO</i> .....	14
2.2.3 <i>RESISTENCIA RETENIDA A LA TENSIÓN DIAMETRAL</i> .....	14
2.2.4 <i>RESISTENCIA RETENIDA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL</i> .....	15
2.2.5 <i>RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE</i> .....	15
2.2.6 <i>RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO</i> .....	15
2.4 CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA.....	16
2.4.1 <i>AGREGADO MINERAL</i> .....	16
2.4.2 <i>LIGANTE ASFÁLTICO</i> .....	18
2.4.3 <i>POLÍMERO MODIFICANTE</i> .....	19
2.5 ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE MEZCLA .....	19
2.6 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA Y DESEMPEÑO DEL MATERIAL.....	21
2.6.1 <i>MÓDULO RESILIENTE A TENSIÓN DIAMETRAL</i> .....	22
2.6.2 <i>MÓDULO DINÁMICO</i> .....	22
2.6.3 <i>RESISTENCIA RETENIDA A LA TENSIÓN DIAMETRAL</i> .....	24
2.6.4 <i>RESISTENCIA RETENIDA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL</i> .....	25
2.6.5 <i>RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE</i> .....	26

2.6.6 RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO .....	27
<b>3. CONCLUSIONES .....</b>	<b>30</b>
<b>4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>31</b>

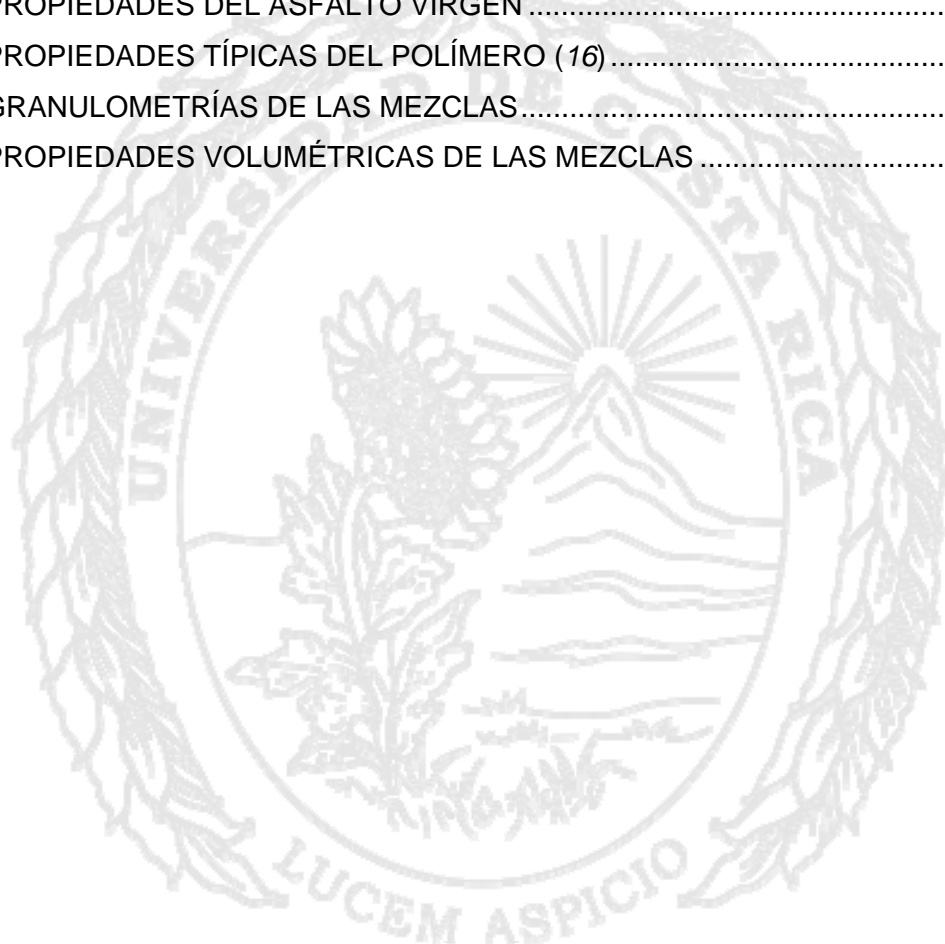


## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LOS APILAMIENTOS DE AGREGADO .....	17
FIGURA 2. CURVA GRANULOMÉTRICA PARA MEZCLAS DE 12.5 MM.....	20
FIGURA 3. CURVA GRANULOMÉTRICA PARA MEZCLAS DE 9.5 MM.....	21
FIGURA 4. MÓDULO RESILIENTE A TENSIÓN DIAMETRAL .....	22
FIGURA 5. CURVAS MAESTRAS PARA MEZCLAS DE 9.5 MM.....	23
FIGURA 6. CURVAS MAESTRAS PARA MEZCLAS DE 12.5 MM .....	24
FIGURA 7. TENSIÓN DIAMETRAL Y RESISTENCIA RETENIDA A LA TENSIÓN DIAMETRAL.....	25
FIGURA 8. COMPRESIÓN UNIAXIAL Y RESISTENCIA RETENIDA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL.....	26
FIGURA 9. DEFORMACIÓN PERMANENTE PROMEDIO.....	27
FIGURA 10. NÚMERO DE REPETICIONES A LA FALLA POR FATIGA.....	28
FIGURA 11. NÚMERO PROMEDIO DE CICLOS A LA FALLA A 450 $\mu\epsilon$ .....	28
FIGURA 12. NÚMERO PROMEDIO DE CICLOS A LA FALLA A 750 $\mu\epsilon$ .....	29
FIGURA 13. FACTOR DE FATIGA A 20°C Y 10 HZ.....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO .....	17
TABLA 2. PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO .....	18
TABLA 3. PORCENTAJE DE PARTÍCULAS PLANAS, PARTÍCULAS ELONGADAS Y PARTÍCULAS PLANAS Y ELONGADAS (RELACIÓN 1:5) .....	18
TABLA 4. PARTÍCULAS FRIABLES Y ARCILLOSAS EN AGREGADOS .....	18
TABLA 5. PROPIEDADES DEL ASFALTO VIRGEN .....	19
TABLA 6. PROPIEDADES TÍPICAS DEL POLÍMERO (16) .....	19
TABLA 7. GRANULOMETRÍAS DE LAS MEZCLAS .....	20
TABLA 8. PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LAS MEZCLAS .....	21



## RESUMEN EJECUTIVO

El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo. El porcentaje de mezcla asfáltica producida con asfaltos modificados ha crecido en los últimos años debido a todas las ventajas que la modificación del asfalto puede brindar a las mezclas, en cuanto a factores ambientales y económicos, mejora del desempeño, incremento de la vida útil y hasta para cumplimiento de especificaciones contractuales. El LanammeUCR se dio a la tarea de evaluar cuatro mezclas asfálticas de granulometría densa: dos clasificadas finas y las otras dos clasificadas como gruesas, con dos tamaños nominales máximos distintos (12.5mm y 9.5mm) que son consideradas mezclas típicas en el país, mediante varios ensayos de desempeño. Los ensayos utilizados fueron: resistencia retenida a la tensión diametral, resistencia a la deformación permanente mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), resistencia al agrietamiento mediante el ensayo de fatiga a flexotracción y módulo dinámico de la mezcla. Para todos los casos, el modificante utilizado fue un polímero SBR (Estireno-Butadieno-Caucho), que actualmente se está utilizando en algunos proyectos a nivel nacional. Los resultados de este estudio mostraron que la modificación del asfalto con polímeros puede utilizarse en mezclas típicas de Costa Rica para mejorar el desempeño de los pavimentos asfálticos. Sin embargo, la magnitud del beneficio de la modificación también dependerá de otros factores, como el tamaño máximo nominal del agregado y el tipo de granulometría de la mezcla.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo, gracias a que la modificación mejora el desempeño del pavimento y extiende su vida útil comparada con la de pavimentos asfálticos convencionales (1, 2). El asfalto es un material viscoelástico que posee características altamente dependientes de la temperatura, pues se comporta más como un sólido a bajas temperaturas y como un líquido a altas temperaturas. La adición de polímeros modificantes hace posible que el rango de temperaturas ideal en el cual la combinación de estas características es tal que el pavimento puede operar sin sufrir fallas

sea mayor (3). Además, el uso de polímeros tiende a mejorar la adherencia del asfalto con los agregados, así como el recubrimiento de las partículas, lo cual resulta en una mayor durabilidad.

El polímero SBR (Estireno-Butadieno-Caucho) ha sido usado ampliamente como un modificante. Este se clasifica como un elastómero que tiene una alta respuesta elástica y por lo tanto es capaz de resistir la deformación permanente ya que puede extenderse y recuperar su forma original, además de tener mayor resistencia a la tensión y la habilidad de recuperar su condición inicial una vez removida la carga aplicada (4).

Aunque estos beneficios se han documentado y la práctica de modificación con polímeros se ha adoptado ampliamente a nivel mundial, en Costa Rica se cuenta con poca experiencia en el tema, lo cual hace que dichas ventajas no sean lo suficientemente aprovechadas. Por esta razón, es necesario estudiar el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con polímeros diseñadas con materiales propios del país y para granulometrías usadas típicamente en las carreteras nacionales.

### 1.1 Objetivo general

Evaluar el desempeño de mezclas asfálticas modificadas producidas en Costa Rica y cuantificar las mejoras y ventajas asociadas con su uso en las carreteras y caminos nacionales.

### 1.2 Objetivos específicos

- Definir las granulometrías de agregado con base en la mezcla producida en plantas asfálticas para uso nacional.
- Cuantificar el efecto del Butonal NX 1138 en la modificación del asfalto de uso común en Costa Rica.
- Evaluar el desempeño de las mezclas asfálticas diseñadas en laboratorio mediante la utilización de ensayos dinámicos.

### 1.3 Antecedentes

A finales del año 2011, el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), solicitó al LanammeUCR, la revisión de las especificaciones contenidas en el capítulo 400, sección 401 del Manual de



Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010), sobre mezcla asfáltica en caliente.

El LanammeUCR, atendiendo esta solicitud, como parte de las obligaciones estipuladas en la Ley 8114, estudió el comportamiento de diversas mezclas diseñadas en el laboratorio, así como provenientes de planta, entre las cuales se encontraban mezclas producidas con asfaltos modificados. Se encontró que las mezclas modificadas tuvieron mejoras sustanciales en el desempeño de acuerdo a los ensayos realizados, con lo que se realizó una propuesta para modificar las especificaciones contenidas en el CR-2010, en la que se reconoce el beneficio producto del uso de polímeros modificantes (5).

#### 1.4 Justificación

En ciertos casos el asfalto debe ser modificado de manera que pueda cumplir con las especificaciones. La modificación de asfaltos ha sido practicada por los últimos 50 años, pero ha tomado especial atención durante la última década. Esta atención se ha debido a los siguientes factores:

- Incremento de la demanda de los pavimentos de MAC: El volumen del tráfico y las cargas a las que está sometido el pavimento ha incrementado sustancialmente en los últimos años; provocando fallas por deformación permanente (ahuellamiento) y fatiga.
- Especificaciones en el asfalto por la metodología Superpave: Las especificaciones para el ligante asfáltico en Superpave requiere que el asfalto cumpla con ciertos requisitos de rigidez a bajas y altas temperaturas. En regiones con condiciones climáticas extremas esto no es posible si no se modifica el asfalto.
- Aspectos ambientales y económicos: Existe una corriente ambientalista y económica de reciclar productos de desecho industrial (como llantas, vidrio, cenizas, plástico, etc.) de manera que se obtenga un beneficio. De manera que estos subproductos son utilizados como aditivos en el asfalto.
- Prolongar la vida útil de los pavimentos y reducir su mantenimiento: El cemento asfáltico modificado es usualmente más caro que el sin modificar, pero a la larga, se amplía la vida útil de los pavimentos, y los costos por mantenimiento se reducen.

En la actualidad existen gran variedad de agentes modificantes en el mercado. Sin embargo, no todos los modificantes son apropiados para todas la aplicaciones, de manera que se debe

tener este cuidado. En general, el cemento asfáltico deberá ser modificado para alcanzar las siguientes mejoras:

- Menor rigidez (o viscosidad) a temperaturas altas asociadas con el proceso de producción. Esto facilita el bombeo del cemento asfáltico así como el mezclado y compactación de la mezcla asfáltica en caliente.
- Mayor rigidez (o viscosidad) a temperaturas altas de servicio. Esto aumentará la resistencia al ahuellamiento o a la deformación permanente.
- Menor rigidez y propiedades de recuperación más rápidas a temperaturas de servicio bajas. Esto incrementará la resistencia al agrietamiento por fatiga.
- Aumentar la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado en presencia de humedad. Esto reducirá el desnudamiento.

Todas estas mejoras que pueden ser obtenidas mediante la modificación de asfaltos, son consideradas de gran importancia para la obtención de mejores materiales para la construcción de carreteras en nuestro país.

## **1.5 Marco teórico**

El ligante asfáltico es un factor clave en el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente (MAC). El ligante asfáltico es un material viscoelástico cuyo comportamiento depende de la razón de carga y la temperatura. Idealmente, se requiere que la MAC sea lo suficientemente flexible a temperaturas bajas de servicio para prevenir el agrietamiento y lo suficientemente rígida a temperaturas altas para prevenir la deformación permanente. Sin embargo, los asfaltos convencionales no poseen las características necesarias para alcanzar el desempeño deseado, especialmente si el rango de temperaturas de servicio es amplio. Por esta razón se ha utilizado la modificación del asfalto con polímeros como forma de mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas.

### *1.5.1 Polímero Modificante*

Un polímero es una cadena de unidades llamadas monómeros. La secuencia y estructura química de los monómeros determinan las propiedades físicas del polímero resultante (2, 4). Los polímeros generalmente afectan el asfalto creando una matriz interconectada dentro del mismo, la cual aumenta la elasticidad, disminuye el punto de fragilidad y aumenta el punto de ablandamiento del ligante asfáltico. A su vez, las mezclas producidas con asfaltos

Propuesta LM-PI-UMP-020-R1	Fecha de emisión: 06 de marzo de 2014	Página 10 de 48
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

modificados mostrarán mayor rigidez a temperaturas altas y alta flexibilidad a temperaturas bajas, mejorando el desempeño (6).

Los polímeros comúnmente utilizados en la construcción de pavimentos flexibles pueden clasificarse en dos categorías generales: plastómeros y elastómeros. Los plastómeros son materiales que muestran resistencia temprana bajo carga pero tienden a fracturarse con la deformación. Cualquier deformación es permanente ya que su componente elástico es poco o ninguno (2). Plastómeros de uso común para la modificación de asfalto incluyen polietileno, polipropileno, etilo vinil acetato (EVA), policloruro de vinilo (PVC), etileno propileno (EPDM) y poliolefino (4).

Por otra parte, los elastómeros resisten la deformación permanente gracias a su capacidad de estirarse y recuperar su forma original una vez removida la carga. Estos polímeros solo contribuyen a la resistencia del asfalto cuando son estirados; sin embargo, su resistencia a la tensión aumenta con la elongación (2). Elastómeros usados para la modificación del asfalto incluyen estireno-butadieno caucho (SBR), estireno-butadieno-estireno (SBS), estireno-isopreno-estireno (SIS) y caucho molido proveniente de llantas de desecho (4).

#### 1.5.1.1 Estireno-butadieno caucho (SBR)

El SBR es uno de los polímeros más usados en la modificación de asfaltos, usualmente como una dispersión en agua (látex). Este polímero sintético está hecho de una secuencia aleatoria de monómeros de estireno y butadieno. Las moléculas de estireno proveen un elemento fuerte y rígido, mientras que las de butadieno son elásticas, por lo que la combinación de ambas resulta en un material que es fuerte y elástico.

La adición de polímeros SBR aumenta la ductilidad del pavimento asfáltico (7), permitiéndole ser más flexible y resistente al agrietamiento a bajas temperaturas. La modificación con SBR también aumenta la elasticidad, mejora la adhesión y cohesión y reduce la tasa de oxidación, lo cual ayuda a compensar por problemas asociados al envejecimiento de la mezcla (8).

## **2. METODOLOGÍA PROPUESTA**

Para lograr los objetivos planteados, se evaluaron cuatro mezclas asfálticas de granulometría densa: dos clasificadas finas (DF) y las otras dos clasificadas como gruesas (DG), con dos tamaños nominales máximos distintos (12.5mm y 9.5mm) que son

Propuesta LM-PI-UMP-020-R1	Fecha de emisión: 06 de marzo de 2014	Página 11 de 48
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

consideradas mezclas típicas en Costa Rica. Cada una de las mezclas fue producida con y sin la adición del modificante Butonal NX 1138, el cual es un polímero SBR que actualmente se ha utilizado en algunos proyectos a nivel nacional.

Las combinaciones mencionadas de granulometría, tamaño nominal máximo y asfalto llevaron a la elaboración de 8 mezclas distintas a evaluar. Las mezclas fueron diseñadas mediante la metodología Superpave para un nivel de compactación de 100 giros. Todas las mezclas evaluadas en este estudio utilizaron la misma fuente de agregados y ligante asfáltico. Las mezclas modificadas utilizaron el mismo diseño de mezcla de las no modificadas, variando solamente la inclusión de 1.5% de polímero en el ligante asfáltico. Las mezclas resultantes fueron sometidas a una serie de ensayos dinámicos para evaluar sus características y desempeño. Los detalles de los materiales y procedimientos utilizados se describen más adelante.

## 2.1 Investigación bibliográfica

El efecto de la modificación del asfalto con polímeros, y más específicamente con SBR ha sido investigado ampliamente en otros países. Collins et al. (9) investigaron los efectos de modificar siete diferentes tipos de asfalto con tres diferentes polímeros (SBR, SBS y EVA). Los autores estudiaron las propiedades reológicas de las mezclas y las asociaron a la resistencia a la deformación de la mezcla. El estudio hace énfasis en la importancia de la compatibilidad entre el asfalto y el polímero, notando que la compatibilidad disminuye al aumentar la viscosidad del asfalto. Por esta razón la mayoría de asfaltos modificados parten de un asfalto base suave y añaden polímeros para aumentar la rigidez a temperaturas altas. Con este enfoque se optimiza el desempeño de los ligantes asfálticos dentro del rango completo de temperatura.

Button y Little (10) evaluaron, entre otros polímeros, el efecto del SBR en asfaltos dos grados más suaves de lo normal para la producción de MAC basados en las propiedades reológicas y físico-químicas del asfalto modificado y en la estabilidad, rigidez, propiedades en tensión y resistencia a la fatiga, agrietamiento térmico, deformación plástica y daño por humedad de la mezcla. Se encontró que la modificación mejoró la susceptibilidad de las mezclas a la temperatura, así como la distribución de esfuerzos de tensión, lo cual podría aumentar la resistencia de las mezclas al agrietamiento. King y Doucet (11) también encontraron

evidencia de que el uso de SBR puede reducir el agrietamiento reflectivo, basado en resultados de desempeño de campo.

Por otro lado, Lee y Demirel (12) determinaron que la adición de SBR no tuvo efecto en la deformación permanente basado en los resultados de creep estático de mezclas modificadas. Además, los autores encontraron que el efecto de la modificación en la susceptibilidad al daño por humedad varía dependiendo del tipo de agregado y ligante asfáltico usado. Sugandh et al. (13) investigaron el efecto de modificantes en el desempeño de mezclas de uso común. Se encontró que en el caso del SBR, en la mayoría de ensayos utilizados para evaluar el potencial de ahuellamiento de las mezclas, el comportamiento de las mezclas modificadas fue más favorable que el de las no modificadas. La misma tendencia se observó al evaluar la resistencia al agrietamiento por fatiga. Newman (14) también encontró que mezclas asfálticas modificadas con SBR resistieron mayor número de ciclos antes de alcanzar la falla por fatiga comparadas con las mezclas no modificadas.

Bahia y Perdomo (15) encontraron que asfaltos modificados con SBR tuvieron efectos favorables en todos los parámetros de desempeño del ligante asfáltico de acuerdo a la metodología Superpave:  $G^*/\sin \delta$  y  $m$  aumentaron, mientras que  $G^*\sin \delta$  y  $S$  disminuyeron. Sin embargo, los cambios relativos fueron más altos para el parámetro  $G^*/\sin \delta$ , lo que sugiere que el polímero es más efectivo para mejorar el desempeño a altas temperaturas.

Como se puede observar, las conclusiones de los diversos estudios indican que la modificación con el polímero SBR tiende a mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas, aunque el efecto del uso del polímero puede verse afectado por otros factores, como el tipo de agregado o de asfalto. No obstante, esta técnica puede representar una opción viable para mejorar el desempeño de mezclas típicas utilizadas en Costa Rica.

## 2.2 Ensayos realizados

Con el fin de obtener las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas y evaluar su desempeño para determinar el efecto del polímero modificante, se realizaron ensayos de módulo resiliente, módulo dinámico, resistencia retenida a la tensión diametral, resistencia retenida a la compresión uniaxial, resistencia a la deformación permanente mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA) y resistencia al agrietamiento mediante el ensayo de fatiga a flexotracción.

### 2.2.1 Módulo Resiliente a Tensión Diametral

El ensayo de Módulo Resiliente a Tensión Diametral (MRTD) se realizó de acuerdo a la norma AASHTO TP 31, *Método estándar para la determinación del módulo resiliente de especímenes bituminosos mediante la tensión indirecta*. Para cada mezcla, tres especímenes de 150 mm de diámetro y 75 mm  $\pm$  3 mm de altura con una relación de vacíos de 7%  $\pm$  1% fueron sometidos a una carga cíclica aplicada diametralmente. El ensayo se realizó a tres distintas temperaturas (5, 25 y 40°C) con el fin de caracterizar la rigidez de la mezcla a través del rango de temperaturas típicas de servicio.

### 2.2.2 Módulo Dinámico

El módulo dinámico ( $E^*$ ) fue obtenido conforme a la norma AASHTO TP 62, *Método estándar para determinar el módulo dinámico de mezclas asfálticas en caliente*. El ensayo consiste en aplicar una carga sinusoidal uniaxial a muestras compactadas de MAC al tiempo que se mide la deformación correspondiente. Las mediciones se realizaron a una serie de temperaturas (4.4, 21.1, 37.7 y 54.4°C) y frecuencias de carga (0.01 Hz a la temperatura más alta y 0.1, 1 y 10 Hz a todas las temperaturas). Se compactaron tres especímenes por mezcla a una altura de 175 mm con 9% de vacíos y de los cuales posteriormente se obtuvieron núcleos de 100 mm de diámetro por 150 mm de altura con un contenido de vacíos de 7% para ser ensayados.

### 2.2.3 Resistencia Retenida a la Tensión Diametral

La susceptibilidad al daño por humedad de las mezclas se evaluó mediante la determinación de la tensión diametral de especímenes en condición seca y húmeda, de acuerdo a la norma AASHTO T283, *Método estándar para la resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño por humedad*. Para cada mezcla, se compactaron seis especímenes con un diámetro de 150 mm y una altura de 95 mm  $\pm$  5mm y una relación de vacíos de 7%  $\pm$  1%. Un grupo de tres especímenes se seleccionó como el de control y fue ensayado sin acondicionamiento. El otro grupo fue acondicionado mediante saturación por vacío e inmersión en agua por 30 minutos, seguido por 24 horas en un baño de agua a 60°C. Ambos grupos fueron sometidos a una carga diametral hasta alcanzar la falla. La resistencia retenida a la tensión diametral (RRTD) se calcula como la razón de las tensiones diametrales de los especímenes acondicionados y los de control.

#### 2.2.4 Resistencia Retenida a la Compresión Uniaxial

La resistencia al daño por humedad también se evaluó mediante el ensayo AASHTO T 165, *Método estándar para la evaluación del daño por humedad en especímenes compactados mediante la compresión uniaxial*. Similar al ensayo de RRTD, se prepararon seis especímenes con un contenido de vacíos de  $7\% \pm 1\%$ , de los cuales tres fueron seleccionados como grupo de control y tres fueron acondicionados en un baño de agua tibia a  $60^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. En este caso, los especímenes fueron sometidos a una carga uniaxial a razón de 2.5 mm/min hasta alcanzar la falla. La resistencia retenida a la compresión uniaxial (RRCU), calculada como el promedio de la resistencia de los especímenes acondicionados entre la de los secos, es un indicador de la susceptibilidad de las mezclas al daño por humedad.

#### 2.2.5 Resistencia a la Deformación Permanente

El Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA) se utilizó para evaluar la resistencia a la deformación permanente de las mezclas conforme a la norma AASHTO TP 63, *Método estándar para determinar la susceptibilidad a la deformación permanente de mezclas asfálticas utilizando el APA*. El ensayo aplica pasadas de una rueda con carga sobre una manguera presurizada a los especímenes de ensayo para inducir ahuellamiento. Se prepararon seis especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 75 mm de altura, con un contenido de vacíos de  $7\% \pm 1\%$  para cada una de las mezclas, los cuales fueron ensayados a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  usando una presión vertical de 689 kPa y una presión de manguera de 689 kPa durante 8000 ciclos de carga.

#### 2.2.6 Resistencia al agrietamiento

La resistencia al agrietamiento de las mezclas se evaluó utilizando el ensayo de fatiga a flexotracción, el cual simula la flexión que experimenta una capa mezcla asfáltica en una estructura de pavimento. Los ensayos se realizaron bajo la condición de esfuerzo constante, de acuerdo a la norma AASHTO T 321, *Método estándar para la determinación de la vida a fatiga de especímenes compactados mediante la aplicación de cargas cíclicas en flexotracción*, a niveles de deformación unitaria de 450 y 750  $\mu\epsilon$ .

Para cada nivel de deformación, se obtuvieron tres especímenes en forma de vigas rectangulares con dimensiones de 380x50x63 mm $\pm$ 6 mm y un contenido de vacíos de 7%  $\pm$ 1% a partir de un bloque de mezcla asfáltica compactado con un compactador de rodillo. A estos se les aplicó una carga sinusoidal a una frecuencia de 10 Hz y a una temperatura de 20°C, hasta alcanzar una reducción del 50% de la rigidez con respecto a la rigidez inicial medida a los 50 ciclos de carga.

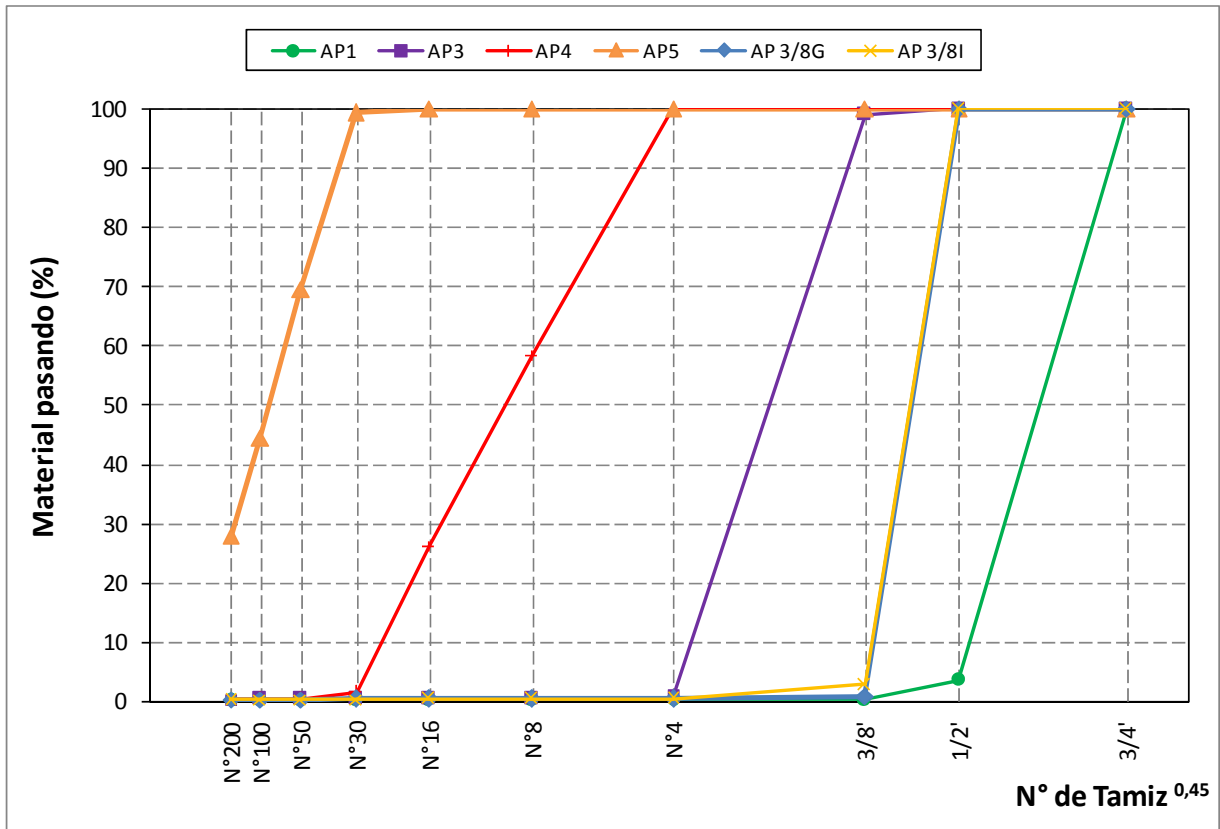
## 2.4 Caracterización de materia prima

Este estudio se llevó a cabo utilizando una única fuente de agregado y una fuente de ligante asfáltico. En el caso de las mezclas modificadas, se utilizó un solo tipo de polímero combinado con el asfalto. Las características de los materiales se presentan a continuación.

### 2.4.1 Agregado mineral

El agregado utilizado fue material triturado dividido en seis diferentes apilamientos, según el tamaño de partícula: AP1 y AP 3/8G (grueso), AP 3/8 I y AP3 (intermedio), AP4 y AP5 (fino). La Figura 1 muestra las curvas granulométricas de los diferentes apilamientos. Estos apilamientos fueron combinados en diferentes proporciones para producir las mezclas asfálticas según el tamaño máximo nominal de agregado y tipo de granulometría requeridos.





**Figura 1.** Curvas granulométricas para los apilamientos de agregado

Las Tablas 1 a 4 muestran las propiedades de los diferentes apilamientos del agregado. Puede observarse que la fuente de agregado utilizada tiene partículas con una forma apta para la producción de mezclas asfáltica (vacíos no compactados en la fracción fina superiores a 40%, totalidad de la fracción gruesa con 2 o más caras fracturadas, porcentajes de partículas planas y/o elongadas inferiores a 10%). Además, la fuente de agregado se encuentra limpia (equivalente de arena superior al 45%, porcentaje de arcillas y partículas friables menor a 2%) y es resistente a producir finos dañinos tipos arcilloso (índice de durabilidad mayor a 35%).

**Tabla 1.** Propiedades del agregado fino

Apilamiento	Vacíos no compactados, %	Equivalente de arena, %	Índice de durabilidad
AP4	45.0	--	--
AP5	44.1	47.0	60

Propuesta LM-PI-UMP-020-R1	Fecha de emisión: 06 de marzo de 2014	Página 17 de 48
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

**Tabla 2.** Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

Apilamiento	Malla No.	Apertura (mm)	% Agregados con Cara Fracturada	
			1 Cara	2 o más Caras
AP1	1/2"	12.5	0	100
AP3/8	3/8"	9.5	0	100
AP3/8 I	3/8"	9.5	0	100
AP3	3/8"	9.5	0	100

**Tabla 3.** Porcentaje de partículas planas, partículas elongadas y partículas planas y elongadas (relación 1:5)

Apilamiento	Malla N°	% Part. Elongadas	% Part. Elong.	% Part. Planas y Elongadas
AP1	1/2"	0	2.08	0
AP3/8	3/8"	0	0.74	0
AP3/8 I	3/4"	0	2.71	0
AP3	No. 4	0	1.83	0

**Tabla 4.** Partículas friables y arcillosas en agregados

Apilamiento	Rango de mallas (N°)	% Arcillas y Partículas Friables
AP1	3/8" - 3/4"	0.04
AP3/8	3/8" - 3/4"	0.13
AP3/8 I	3/8" - 3/4"	0.45
AP3	No. 4 - 3/8"	0.62
AP4	No. 16	1.23

#### 2.4.2 Ligante asfáltico

Se utilizó una sola fuente de ligante asfáltico, de grado AC-30 de acuerdo al sistema de clasificación por viscosidad absoluta. Este es el tipo de asfalto utilizado en todas las mezclas asfálticas producidas en Costa Rica. La Tabla 5 muestra las propiedades del asfalto virgen (sin modificar) comparadas con los requisitos para asfaltos de grado AC-30 establecidos en el CR-2010.

Propuesta LM-PI-UMP-020-R1	Fecha de emisión: 06 de marzo de 2014	Página 18 de 48
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

**Tabla 5.** Propiedades del asfalto virgen

Propiedad	Condición envejecimiento	Resultado	Requisito
Viscosidad absoluta a 60°C (Poise)	Original	3509	2400 - 3600
Viscosidad cinemática a 135°C (cStoke)	Original	530	350 mín.
Penetración a 25°C (1/100 cm)	Original	50	50 mín.
Punto de ignición (°C)	Original	329	232 mín.
Solubilidad en tricloroetileno (%)	Original	99.94	99 mín.

#### 2.4.3 Polímero modificante

El polímero SBR utilizado en este estudio fue el Butonal NX 1138, el cual se distribuye en forma de dispersión acuosa. La Tabla 6 muestra algunas propiedades del polímero proporcionadas por el fabricante.

**Tabla 6.** Propiedades típicas del polímero (16)

Propiedad	Valor
Contenido de sólidos (%)	63.0 - 65.0
pH	5.0 - 5.6
Viscosidad en viscosímetro rotacional Brookfield a 20°C (mPa s)	250 - 2000

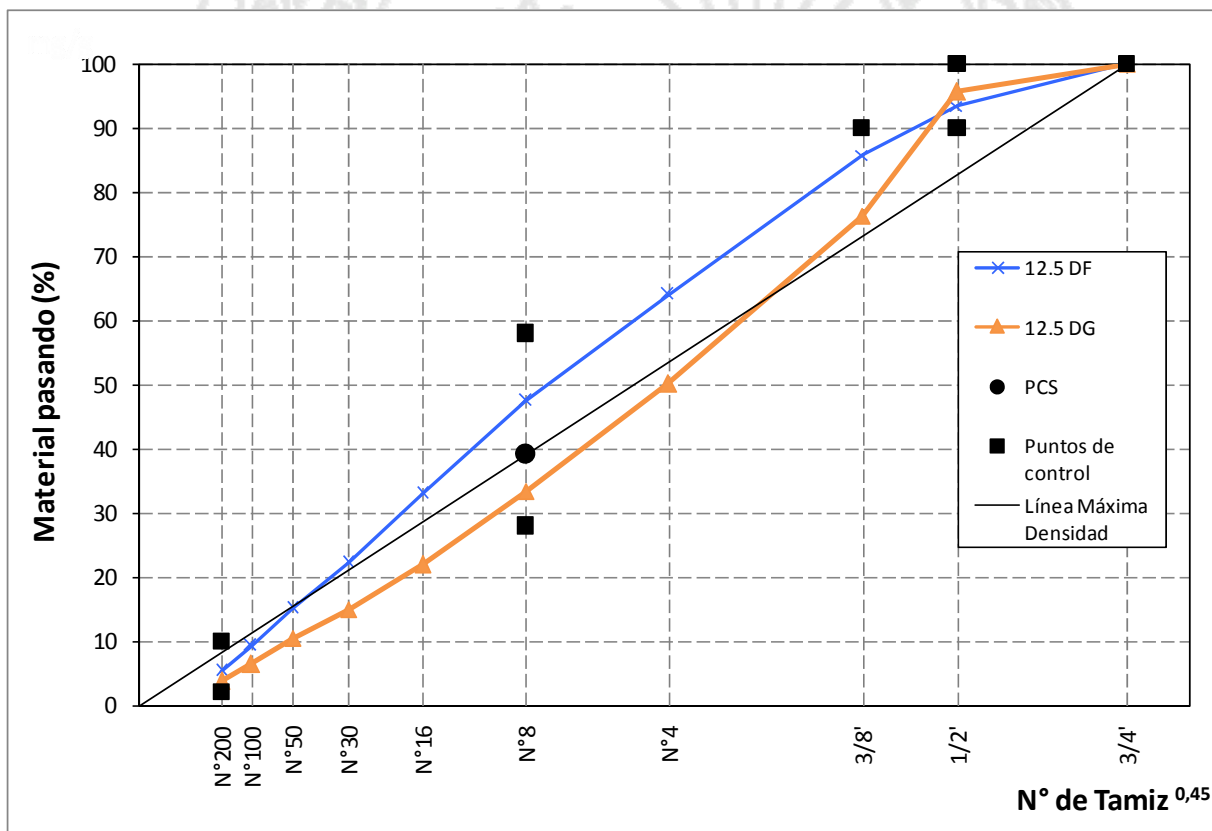
## 2.5 Elaboración de diseños de mezcla

Como se indicó anteriormente, las mezclas asfálticas fueron diseñadas mediante la metodología Superpave descrita en las normas AASHTO R 35 y AASHTO M 323 para un nivel de compactación de 100 giros. Se evaluaron cuatro mezclas densas con un tamaño nominal máximo nominal de 9.5 mm y otras cuatro mezclas de tamaño nominal máximo de 12.5 mm. Para los dos tamaños máximos se elaboraron una mezcla densa fina (DF) y otra densa gruesa (DG), ambas con asfalto virgen y con asfalto modificado. La modificación del ligante asfáltico con el polímero se realizó a una temperatura de 160°C durante un mínimo de una hora. El porcentaje de polímero utilizado fue de 1.5%. Las mezclas modificadas utilizaron el mismo diseño de mezcla de las no modificadas.

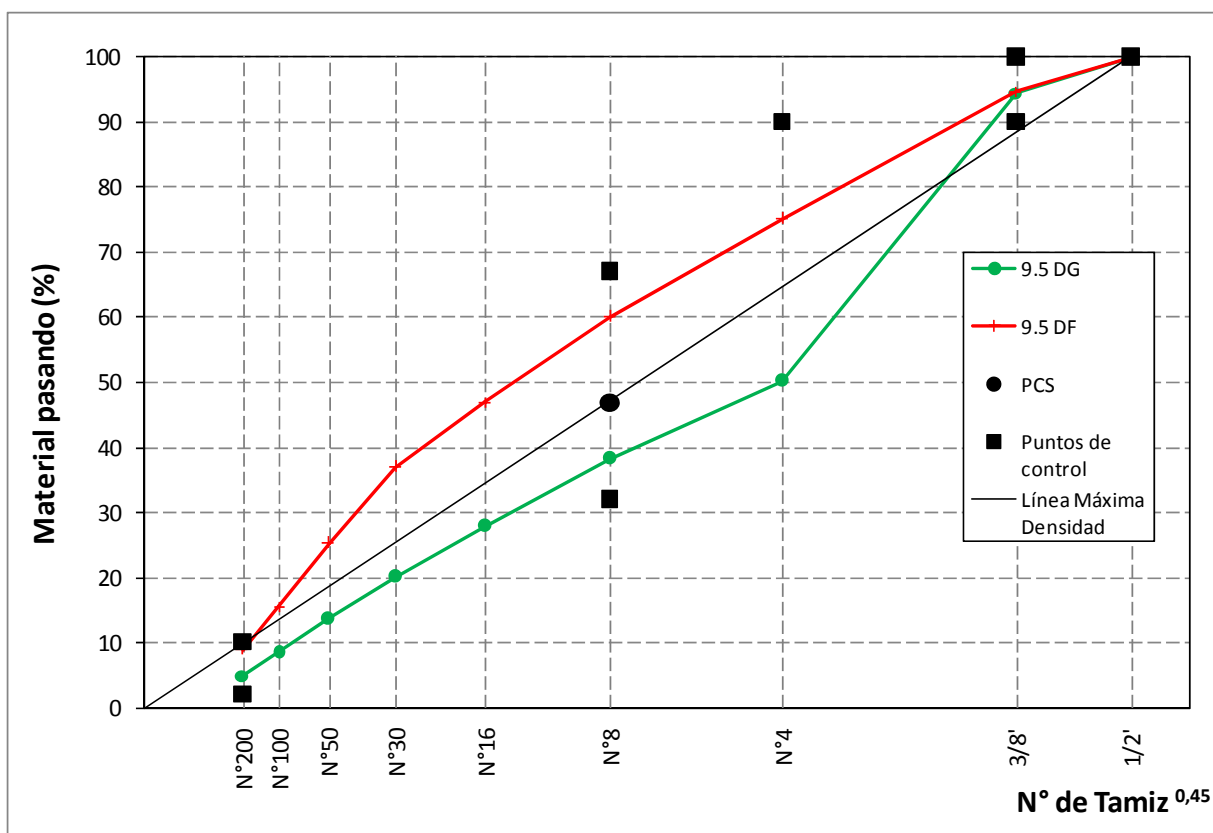
La Tabla 7 y las Figuras 2 y 3 muestran las cuatro granulometrías utilizadas. Las propiedades volumétricas de cada mezcla se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 7.** Granulometrías de las mezclas

Malla (mm)	% Pasando			
	9.5 DF	9.5 DG	12.5 DF	12.5 DG
19.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12.5	100.0	100.0	93.4	95.6
9.5	94.7	94.4	85.8	76.2
4.75	75.1	50.2	64.1	50.1
2.36	60.0	38.2	47.4	33.4
1.18	47.0	27.9	33.0	21.9
0.600	37.0	20.1	22.2	14.9
0.300	25.3	13.7	15.1	10.4
0.150	15.6	8.5	9.3	6.4
0.075	8.9	4.9	5.4	3.8



**Figura 2.** Curva granulométrica para mezclas de 12.5 mm



**Figura 3.** Curva granulométrica para mezclas de 9.5 mm

**Tabla 8.** Propiedades volumétricas de las mezclas

Parámetro	Mezcla			
	9.5 DF	9.5 DG	12.5 DF	12.5 DG
% Asfalto	5.52	5.59	5.75	6.23
% VMA	13.526	13.42	12.9	15.7
% VFA	72.58	65.68	69.5	75.1
Polvo/Asfalto	1.79	0.95	1.3	0.8

## 2.6 Caracterización físico-mecánica y desempeño del material

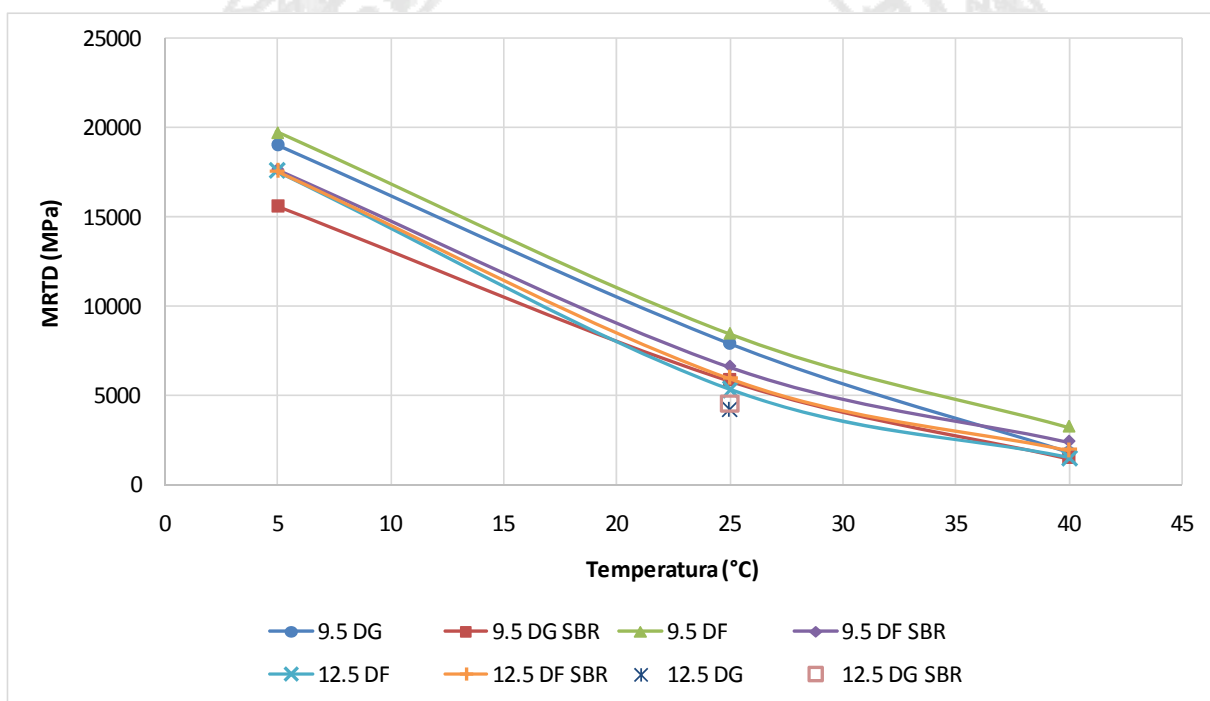
Los ensayos de laboratorio realizados permitieron determinar el efecto, no solo de la adición de polímero modificante, sino además del tamaño nominal máximo de agregado (TMN) y el tipo de granulometría utilizado, así como de la combinación de estos factores. A continuación se muestran los resultados de los ensayos.

Propuesta LM-PI-UMP-020-R1	Fecha de emisión: 06 de marzo de 2014	Página 21 de 48
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

### 2.6.1 Módulo Resiliente a Tensión Diametral

Los módulos resilientes a diferentes temperaturas se muestran en la Figura 4. Las mezclas de 12.5 mm con granulometría densa gruesa solamente se ensayaron a la temperatura de 25°C. Las curvas mostradas indican que en general las mezclas de tamaño nominal máximo de 9.5 mm tienden a ser más rígidas, y que la modificación con polímero puede aplicarse para reducir el módulo resiliente de las mezclas. El efecto de la adición de polímero no es tan evidente en las mezclas de 12.5 mm, donde las diferencias en módulo son menores.

Mediante un análisis de varianza con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  se determinó que el efecto del polímero es significativo a temperaturas bajas e intermedias, lo que podría traducirse en un mejor comportamiento para resistir el agrietamiento.



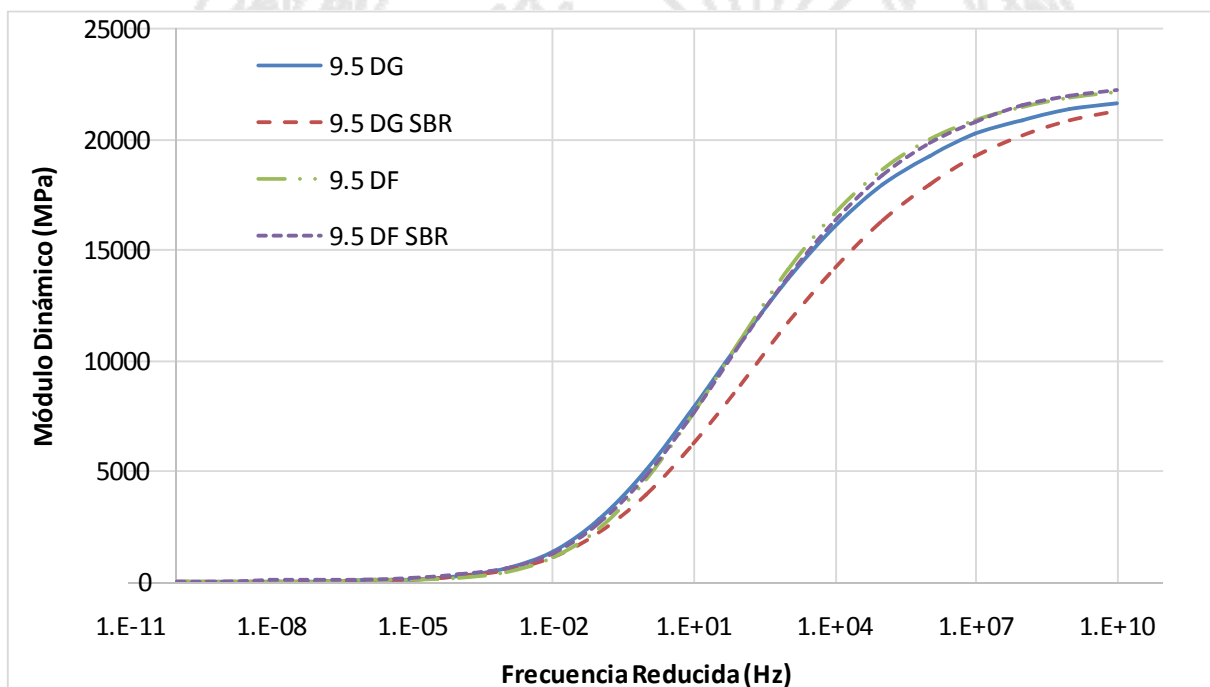
**Figura 4.** Módulo resiliente a tensión diametral

### 2.6.2 Módulo Dinámico

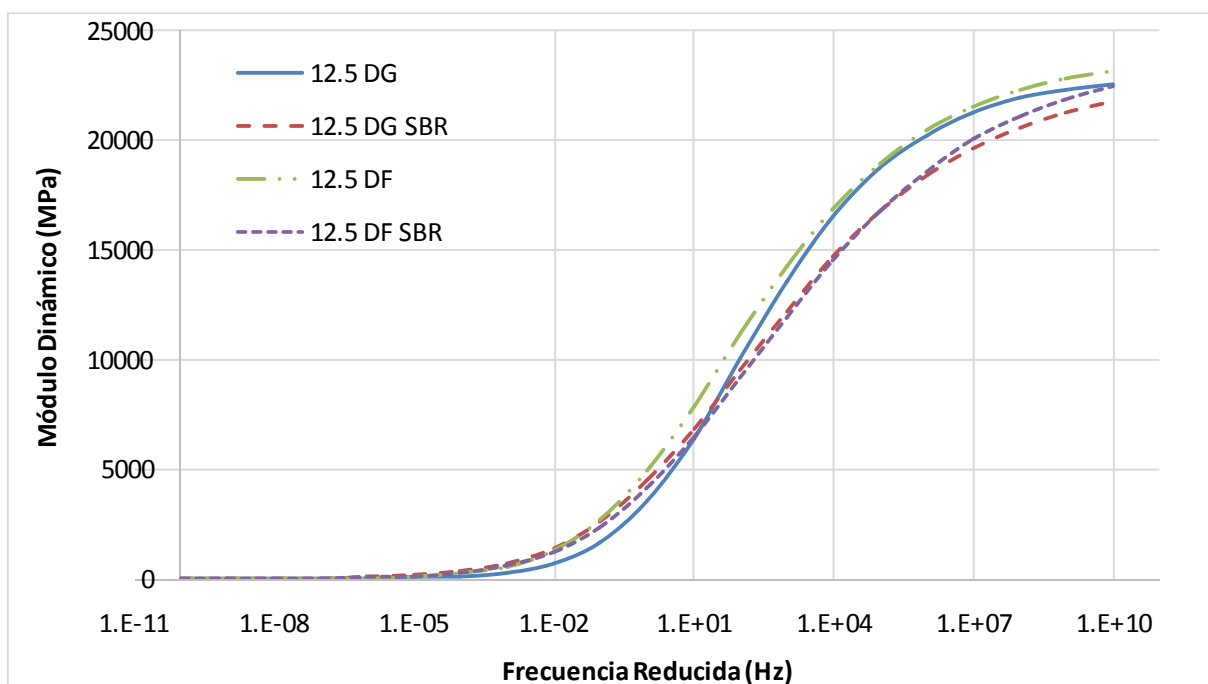
Los resultados de los ensayos de módulo dinámico fueron utilizados para construir curvas maestras de las mezclas asfálticas mediante el principio de superposición. Estas curvas

permiten caracterizar las propiedades mecánicas de la mezcla tomando en cuenta el efecto de la temperatura y la frecuencia de carga, representado como la frecuencia reducida.

Las Figuras 5 y 6 muestran las curvas maestras para mezclas de tamaño máximo nominal de 9.5 y 12.5 mm, respectivamente. Puede observarse que para las mezclas de 9.5 mm la modificación tiende a reducir el módulo dinámico en mezclas de granulometría densa gruesa, pero parece no tener un efecto significativo en mezclas de granulometría densa fina. En mezclas de 12.5 mm, la reducción en el módulo dinámico como producto de la adición de polímero ocurre tanto para las mezclas de granulometría densa gruesa como de densa fina. Las diferencias se observan principalmente para valores altos de frecuencia reducida, los cuales están asociados a temperaturas bajas y frecuencias altas. Nuevamente los resultados sugieren que la resistencia al agrietamiento podría mejorar en las mezclas modificadas gracias a que estas tienden a ser menos rígidas en condiciones que facilitan este tipo de deterioro.



**Figura 5.** Curvas maestras para mezclas de 9.5 mm



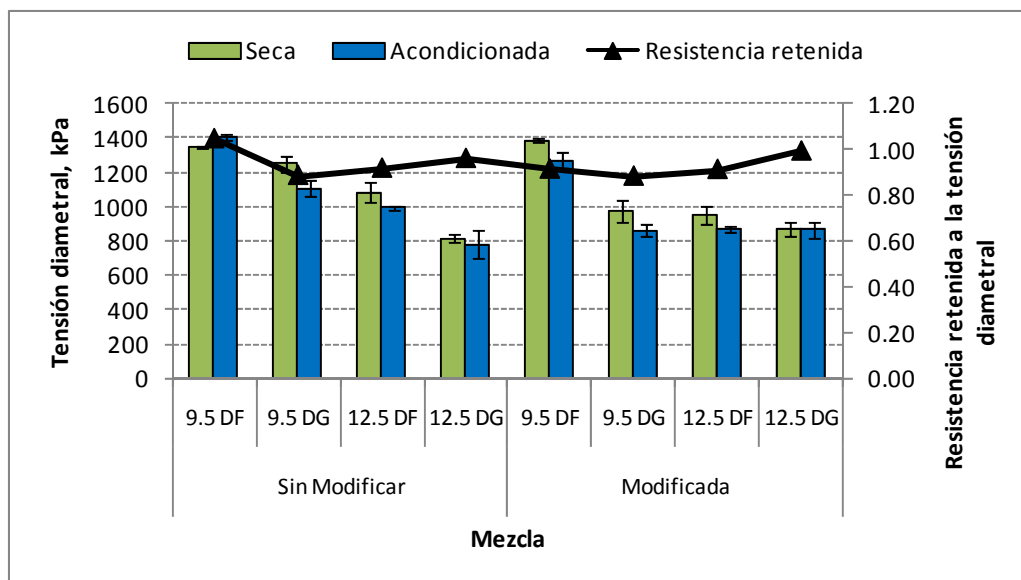
**Figura 6.** Curvas maestras para mezclas de 12.5 mm

### 2.6.3 Resistencia Retenida a la Tensión Diametral

La Figura 7 muestra las tensiones diametrales promedio (con y sin acondicionamiento) y la resistencia retenida a la tensión diametral para cada una de las mezclas. Un análisis de varianza con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  determinó que todos los factores principales afectan significativamente la tensión diametral de las mezclas. En general, las mezclas no modificadas tuvieron mayores valores de tensión diametral. Además, las mezclas de 9.5 mm tienden resistir mayores cargas a tensión diametral, lo mismo que las mezclas de granulometrías densa fina. Por otra parte, se observó que existe una interacción significativa entre el TMN y el polímero modificante, pues la modificación del asfalto reduce significativamente la tensión diametral de las mezclas de 9.5 mm, pero no la de las mezclas de 12.5 mm.

Finalmente, no se observó una tendencia bien definida entre la adición de polímero y los resultados de la resistencia retenida a la tensión diametral de las mezclas. Cabe resaltar que en todos los casos los valores superaron 0.85, requisito establecido en el CR-2010 para mezclas Superpave diseñadas para resistir el daño por humedad, por lo que todas las mezclas son aptas para este fin.



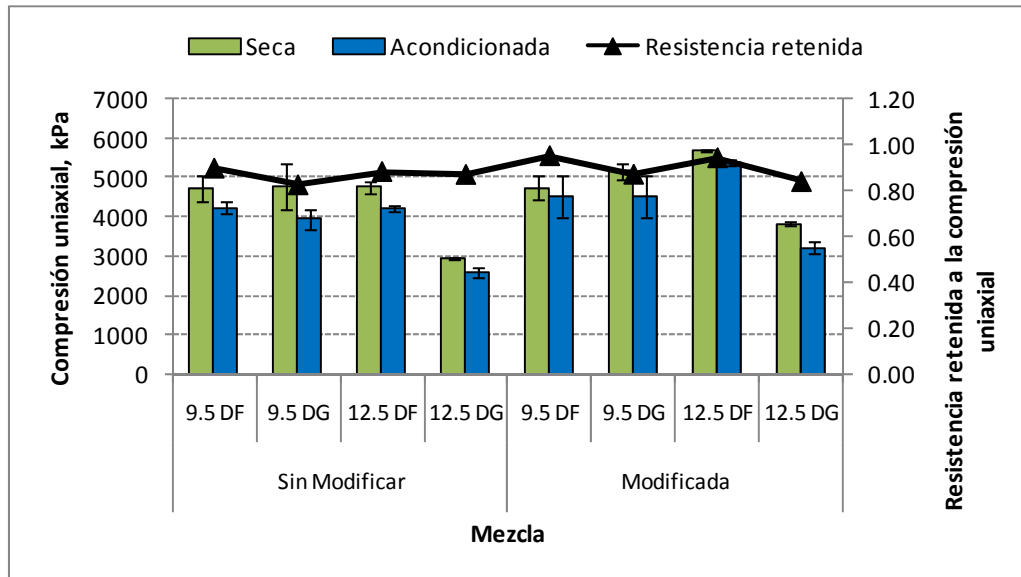


**Figura 7.** Tensión diametral y resistencia retenida a la tensión diametral

#### 2.6.4 Resistencia Retenida a la Compresión Uniaxial

Los resultados de compresión uniaxial (para muestras secas y acondicionadas) y la resistencia retenida a la compresión uniaxial de las mezclas se muestran en la Figura 8. Nuevamente el análisis de varianza indicó que todos los factores principales afectan significativamente la resistencia a la compresión uniaxial. En este caso las mezclas modificadas alcanzaron mayores valores de compresión uniaxial que las no modificadas. Los otros dos factores (TMN y tipo de granulometría) mantuvieron la misma tendencia observada para la tensión diametral: mayores valores para mezclas de 9.5 mm y mezclas de granulometría fina. Del mismo modo, se identificó una interacción significativa entre el TMN y la adición de polímero, ya que el efecto de la modificación es mayor para mezclas de 12.5 mm que para las de 9.5 mm.

Los valores de RRCU mostraron poca variación como resultado de la adición del polímero. La mayoría de las mezclas superaron 0.85, valor especificado en el CR-2010 para mezclas Superpave diseñadas para resistir el daño por humedad. Dos de las mezclas se encontraron ligeramente por debajo de este requisito (9.5 DG y 12.5 DG-SBR), por lo que no existe una tendencia clara respecto a la resistencia al daño por humedad de las mezclas.



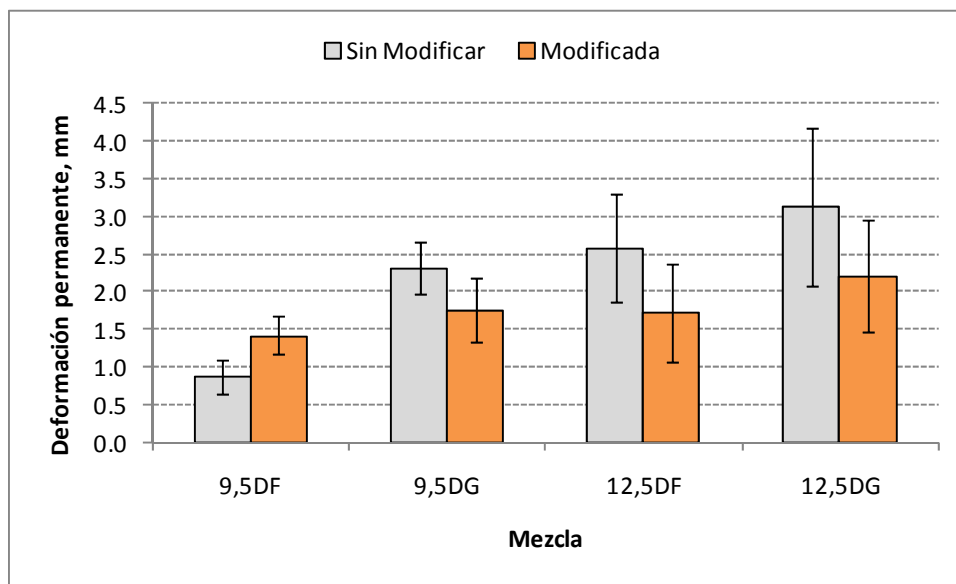
**Figura 8.** Compresión uniaxial y resistencia retenida a la compresión uniaxial

### 2.6.5 Resistencia a la Deformación Permanente

Las deformaciones permanentes medidas mediante el ensayo APA se presentan en la Figura 9. Se aprecia como la adición de polímero tiende a disminuir el ahuellamiento en la mayoría de los casos. Un análisis de varianza con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  confirmó que el uso de polímero modificante produce cambios significativos en la resistencia a la deformación permanente de las mezclas, y que dichos cambios también dependen del tamaño máximo nominal y del tipo de granulometría de las mezclas. En general, las mezclas de 9.5 mm sufrieron menos ahuellamiento, los mismo que las mezclas densas finas.

Nuevamente se observó que el efecto de la interacción de los factores fue significativo. Mientras que las el efecto de la modificación no fue estadísticamente significativo para las mezclas de 9.5 mm, en las mezclas de 12.5 mm sí se obtuvo un beneficio apreciable con la adición del polímero. Del mismo modo, las mezclas de granulometría densa fina no se vieron afectadas por el uso de asfalto modificado, mientras que en las densas gruesas se logró reducir la deformación significativamente con adición del polímero. En ambos casos, las mezclas que no se vieron beneficiadas con el uso del SBR fueron aquellas que en promedio experimentaron menores deformaciones, por lo que no era necesaria la adición del polímero para obtener un buen desempeño.

Cabe recalcar que con la excepción de la mezcla de 12.5 DG sin polímero, la deformación promedio se mantuvo por debajo de los 3.0 mm, valor máximo especificado en el CR-2010 para mezclas Superpave diseñadas para resistir deformación plástica.



**Figura 9.** Deformación permanente promedio

### 2.6.6 Resistencia al agrietamiento

La Figura 10 presenta el comportamiento a fatiga de las diferentes mezclas asfálticas obtenido de los resultados del ensayo a flexotracción. Puede observarse que el ensayo presenta una alta variabilidad, la cual dificulta identificar tendencias en el desempeño de los materiales. Sin embargo, se aprecia que en general las mezclas de 9.5 mm alcanzaron la falla más rápidamente que las de 12.5 mm. Del mismo modo, las mezclas de granulometría densa fina tienden a ser más susceptibles al agrietamiento que las de densa gruesa. Las Figuras 11 y 12 muestran el número de ciclos a la falla para los dos niveles de deformación utilizados. La tendencia general, obtenida de un análisis de varianza, es que para niveles de deformación bajos la modificación con polímero la resistencia al agrietamiento de las mezclas, mientras que para la deformación alta el efecto no es significativo.

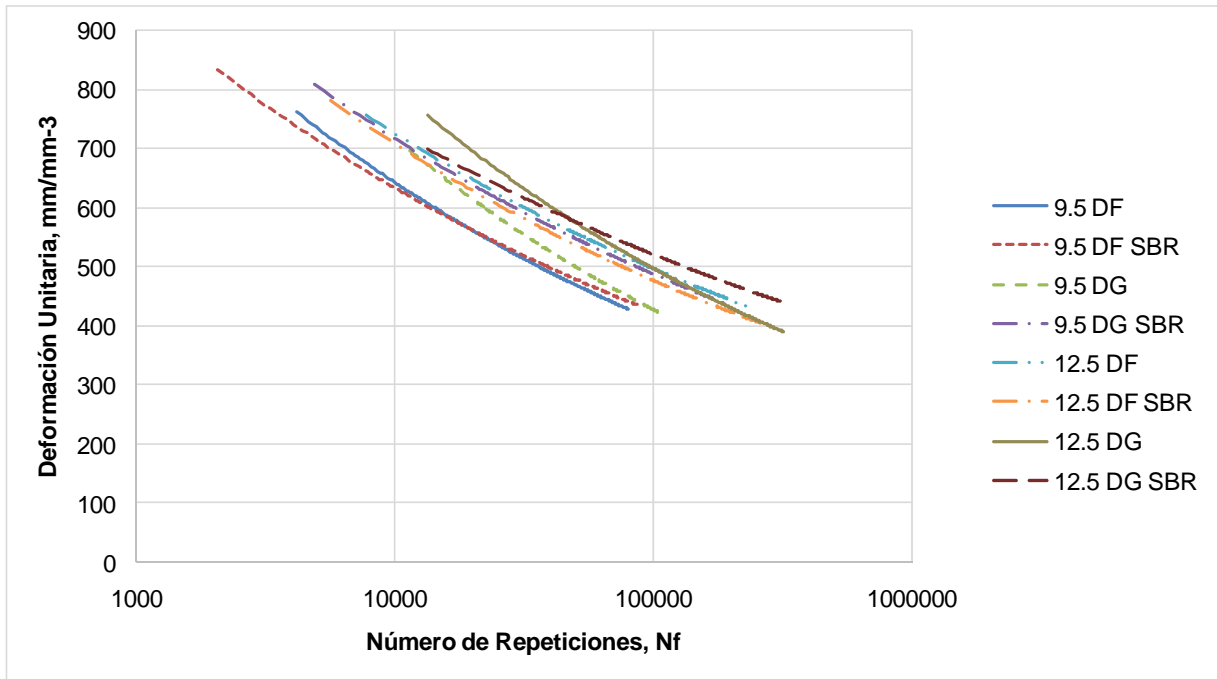


Figura 10. Número de repeticiones a la falla por fatiga

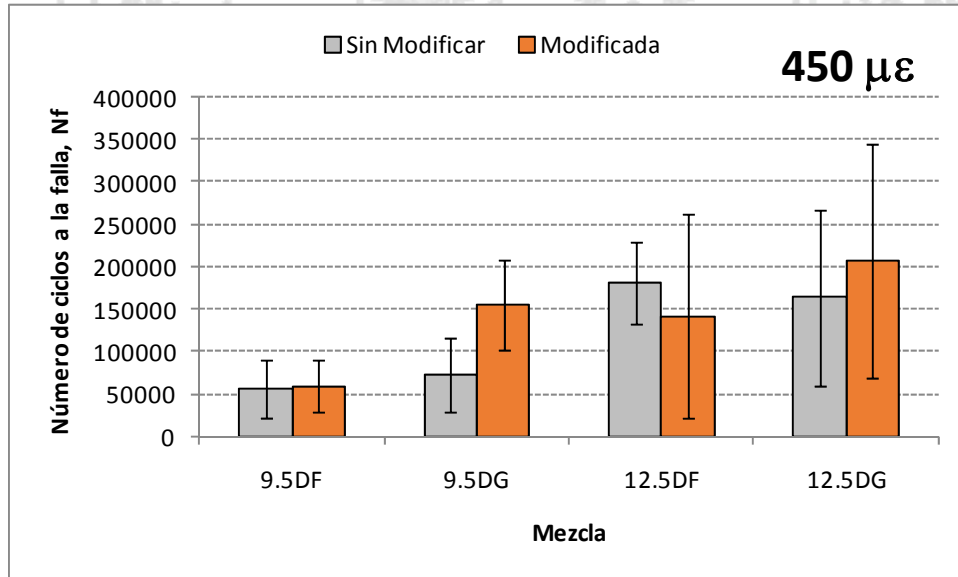
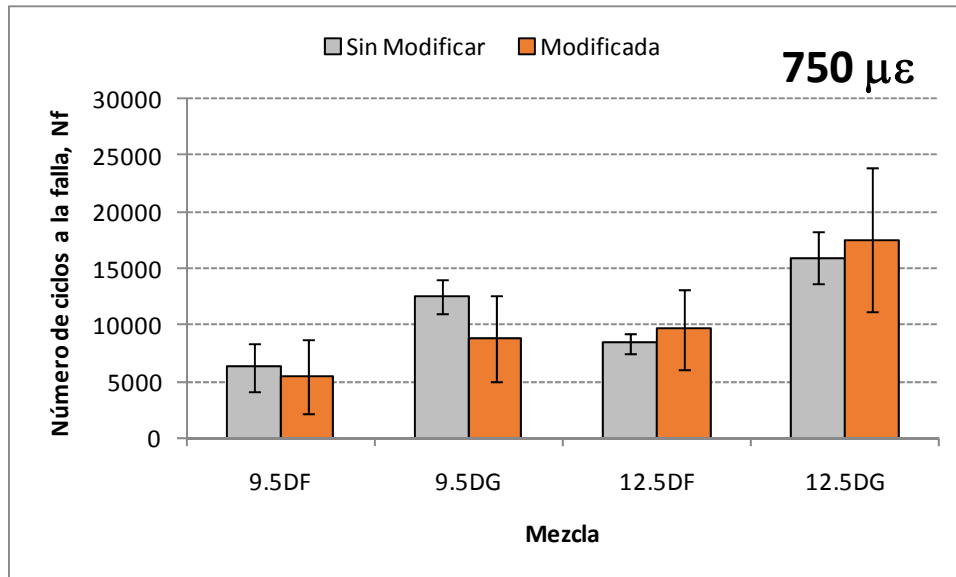
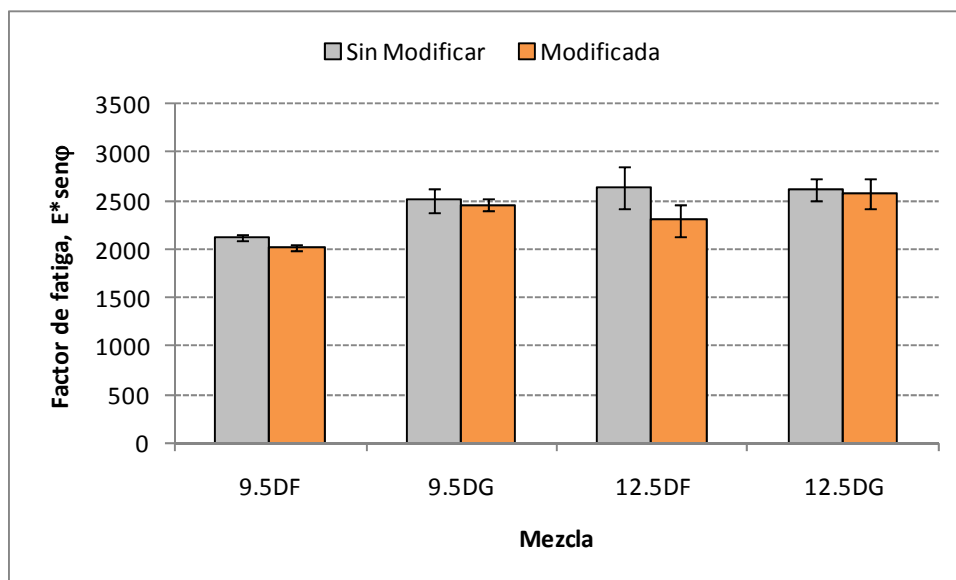


Figura 11. Número promedio de ciclos a la falla a  $450 \mu\epsilon$



**Figura 12.** Número promedio de ciclos a la falla a 750  $\mu\epsilon$

Es evidente que el ensayo de flexotracción tuvo una alta variabilidad, lo cual dificulta determinar el efecto de la modificación con polímero a partir de estos resultados. Con el fin de poder evaluar el efecto de la adición de SBR de manera más confiable, se utilizaron resultados del ensayo de módulo dinámico, a partir de los cuales se calculó el factor de fatiga  $E^* \sin \phi$  como otro indicador de la resistencia al agrietamiento por fatiga, donde  $E^*$  es el módulo dinámico en MPa y  $\phi$  es el ángulo de fase, ambos medidos a una frecuencia de 10 Hz y a una temperatura de 20°C, para simular las condiciones que propician este tipo de falla. En la Figura 13 se muestran los factores de fatiga para todas las mezclas. Valores más bajos de  $E^* \sin \phi$  sugieren mejor desempeño (17), por lo que las mezclas modificadas parecen ser más resistentes al agrietamiento. Un análisis de varianza determinó que este parámetro también depende del tamaño máximo y granulometría de la mezcla, y que la mayor mejora en el desempeño se alcanzó al modificar la mezcla de 12.5 mm con granulometría densa fina.



**Figura 13.** Factor de fatiga a 20°C y 10 Hz

### 3. CONCLUSIONES

Este estudio evaluó el desempeño en laboratorio de mezclas asfálticas modificadas con polímero comparadas con mezclas no modificadas. Las conclusiones de dicho trabajo se presentan a continuación:

La adición del polímero SBR tuvo un efecto significativo tanto en las propiedades mecánicas de las mezclas analizadas, como en su desempeño en el laboratorio. Otros factores como el tamaño máximo nominal del agregado y el tipo de granulometría de la mezcla también afectaron los resultados, y sobre todo, se debe recalcar que el potencial beneficio de la modificación puede depender en gran medida de la forma en que se combinen estos factores.

En general, las mezclas modificadas tienden a ser menos rígidas, especialmente a temperaturas bajas e intermedias, lo cual se vio reflejado en una mayor resistencia al agrietamiento de acuerdo al factor de fatiga obtenido del ensayo de módulo dinámico. Pese a que los módulos de las mezclas no sufrieron cambios significativos a temperaturas altas, en promedio, la adición de polímero modificante resultó en una reducción de la deformación permanente de las mezclas.

Aunque las mezclas no modificadas tuvieron mayores valores de tensión diametral que las mezclas modificadas, los resultados de la resistencia retenida a la tensión diametral fueron similares, y en todos los casos se encontraron por arriba de 0.85, mostrando buena resistencia al daño por humedad. Del mismo modo, los valores de la resistencia retenida a la compresión uniaxial estuvieron en su mayoría por arriba de 0.85, y no se encontró evidencia de que el polímero afectara la susceptibilidad al daño por humedad.

El uso de mezclas asfálticas modificadas en Costa Rica podría eventualmente resultar en pavimentos con mejor desempeño y durabilidad. Este trabajo incluyó varios tipos de mezcla típicos del país, pero aún se requiere de más investigación con distintos tipos de agregados y polímeros a fin de desarrollar especificaciones para la construcción de carreteras que incorporen estos materiales. Se recomienda además la realización de ensayos acelerados a escala natural para estudiar el comportamiento de la estructura total del pavimento e incluir este tipo de materiales en el desarrollo e implementación de una guía de diseño de pavimentos mecánico-empírica calibrada para las condiciones propias de Costa Rica.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Von Quintus, Harold L., Jagannath Mallela, and Mark Buncher. "Quantification of effect of polymer-modified asphalt on flexible pavement performance." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2001, no. 1 (2007) pp. 141-154.
2. Stroup-Gardiner, M., Newcomb, D. (1995). *Polymer Literature Review*. Minnesota Department of Transportation, Report No. MN/RC 95/27 (1995).
3. Illinois Department of Transportation. "Pavement Technology Advisory - Polymer Modified Hot Mix Asphalt. Design, Construction and Materials", PTA-D5 (2005).
4. Roberts, F.L. Kandhal, P.S. Brown, E.R. Lee, D.Y. & Kennedy, T.W. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. NAPA Education Foundation, Lanham, MD, Third Edition (2009).
5. Corrales J.P., Jiménez M., Ulloa A., Aguiar J.P. " Propuesta de Modificación al Anexo 1 del Cartel de Licitación Pública 2009LN-000003-CV - Conservación de la Red Vial Nacional" Informe LM-PI-UI-013-11, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (2011).

6. Pareek, Ashok, Trilok Gupta, and Ravi K. Sharma. "Performance of Polymer Modified Bitumen for Flexible Pavements." *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, Vol. 1, Issue 1 (November 2012) pp. 77-86.
7. Y. Becker, M.P. Méndez, Y. Rodríguez. "Polymer modified asphalt." *Vis Technol*, 9 (1) (2001) pp. 39-50
8. Roque R, Birgisson B, Tia M, Kim B, Cui Z. "Guidelines for the use of modifiers in Superpave mixtures: Executive summary and volume 1 of 3 volumes: Evaluation of SBS modifier". State Job 99052793. Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL (2004).
9. Collins, J. H., M. G. Bouldin, R. Gelles and A. Berker, "Improved Performance of Paving Asphalts by Polymer Modification." *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 60 (1991) pp. 43-79.
10. Button, J. W. and D. N. Little, "Asphalt Additives for Increased Pavement Flexibility." Texas Transportation Institute: Research Report 471-2F (1986).
11. King Jr, W. M., and Roland J. Doucet Jr. "Latex modified asphalt and experimental joint treatments on asphaltic concrete overlays, Experimental Project No. 3 - Asphalt additives. Final report". No. FHWA/LA-91-237 (1991).
12. Lee, D. Y., and T. Demirel, "Beneficial Effects of Selected Additives on Asphalt Cement Mixes," Iowa Department of Transportation, Ames, Iowa (August 1987).
13. Sugandh, R., Zea, M., Tandon, V., Smit, A., & Prozzi, J. "Performance Evaluation of HMA Consisting of Modified Asphalt Binder". Report No. FHWA/TX-07/0-4824-2 (2007).
14. Newman, Kent. "Polymer-Modified Asphalt Mixtures for Heavy-Duty Pavements: Fatigue Characteristics as Measured by Flexural Beam Testing." FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference, Atlantic city, NJ, USA (2004).
15. Bahia, H. U., and D. Perdomo. "Current practices for modification of paving asphalts." *Preprints of Papers, American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry* 41.CONF-960807 (1996).
16. BASF. "Butonal NX 1138". Construction Technical Data Sheet. (November 2009).
17. Kennedy, T. W., Ping, W. V. "An Evaluation of Effectiveness of Antistripping Additives in Protecting Asphalt Mixtures from Moisture Damage". *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 60. (1991) pp. 230-263.



## ANEXO A

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN**  
**Unidad de Gestión de Proyectos**  
**INFORME FINAL**

### 1. Información básica:

Código:	321-B2-A11		
Nombre del proyecto, actividad o programa:	Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente con y sin la adición de polímeros modificantes para mezclas típicas en Costa Rica		
Programa de adscripción:	Ley 8114 Impuesto a combustibles		
Unidad base	LanammeUCR	Unidad de apoyo	NA
Período vigencia:	Del 01 de febrero de 2012 al 14 de diciembre de 2013		
Fecha de presentación:	14 de diciembre de 2013		

### 2. Descripción general:

El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo. El porcentaje de mezcla asfáltica producida con asfaltos modificados ha crecido en los últimos años debido a todas las ventajas que la modificación del asfalto puede brindar a las mezclas, en cuanto a factores ambientales y económicos, mejora del desempeño, incremento de la vida útil y hasta para cumplimiento de especificaciones contractuales. El LanammeUCR se dio a la tarea de evaluar cuatro mezclas asfálticas de granulometría densa: dos clasificadas finas y las otras dos clasificadas como gruesas, con dos tamaños nominales máximos distintos (12.5mm y 9.5mm) que son consideradas mezclas típicas en el país, mediante varios ensayos de desempeño. Los ensayos utilizados fueron: resistencia retenida a la tensión diametral, resistencia a la deformación permanente mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), resistencia al agrietamiento mediante el ensayo de fatiga a flexotracción y módulo dinámico de la mezcla. Para todos los casos, el modificador utilizado fue un polímero SBR (Estireno-Butadieno-Caucho), que actualmente se está utilizando en algunos proyectos a nivel nacional. Los resultados de este estudio mostraron que la modificación del asfalto con polímeros puede utilizarse en mezclas típicas de Costa Rica para mejorar el desempeño de los pavimentos asfálticos. Sin embargo, la magnitud del beneficio de la modificación también dependerá de otros factores, como el tamaño máximo nominal del agregado y el tipo de granulometría de la mezcla.

### 3. Desarrollo y ejecución (qué se hizo y cómo):

Objetivos específicos y metas	% de logro	Actividades desarrolladas	Dificultades y formas de resolverlas
<p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO: 01</b> Definir las granulometrías de agregado con base en la mezcla producida en plantas asfálticas para uso nacional..</p> <p><b>METAS:</b></p> <p>1) 2 granulometrías de agregado con tamaño máximo nominal de 12.5 mm (fina y gruesa) y dos de tamaño máximo nominal de 9.5 mm (fina y gruesa)</p> <p><b>Indicador:</b> Selección de 4 tipos distintos de granulometrías.</p>	100	Fabricación y caracterización de cuatro tipos de mezcla asfáltica de acuerdo a la metodología Superpave.	NA
<p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO: 02</b> Evaluar el desempeño de las mezclas asfálticas diseñadas en laboratorio mediante la utilización de ensayos dinámicos.</p> <p><b>METAS:</b></p> <p>2) Medición de tensión diametral, compresión uniaxial, módulo resiliente y módulo dinámico, deformación permanente y fatiga.</p> <p><b>Indicador:</b> Tablas y figuras resumen con los resultados obtenidos y análisis estadístico de los resultados.</p>	100	Se realizaron ensayos de resistencia retenida a la tensión diametral, resistencia a la deformación permanente mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), resistencia al agrietamiento mediante el ensayo de fatiga a flexotracción y módulo dinámico de la mezcla.	NA
<p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO: 03</b> Cuantificar el efecto del Butonal NX 1138 en la modificación del asfalto de uso común en Costa Rica.</p> <p><b>METAS:</b></p> <p>1) Porcentaje de mejora en las propiedades físicas del asfalto.</p> <p><b>Indicador:</b> Medir las mejoras obtenidas al incorporar el modificador al asfalto.</p>	100	Se realizaron análisis estadísticos de los resultados obtenidos de todos los ensayos realizados.	NA

### 4. Resultados globales (utilice la cantidad de palabras necesarias):

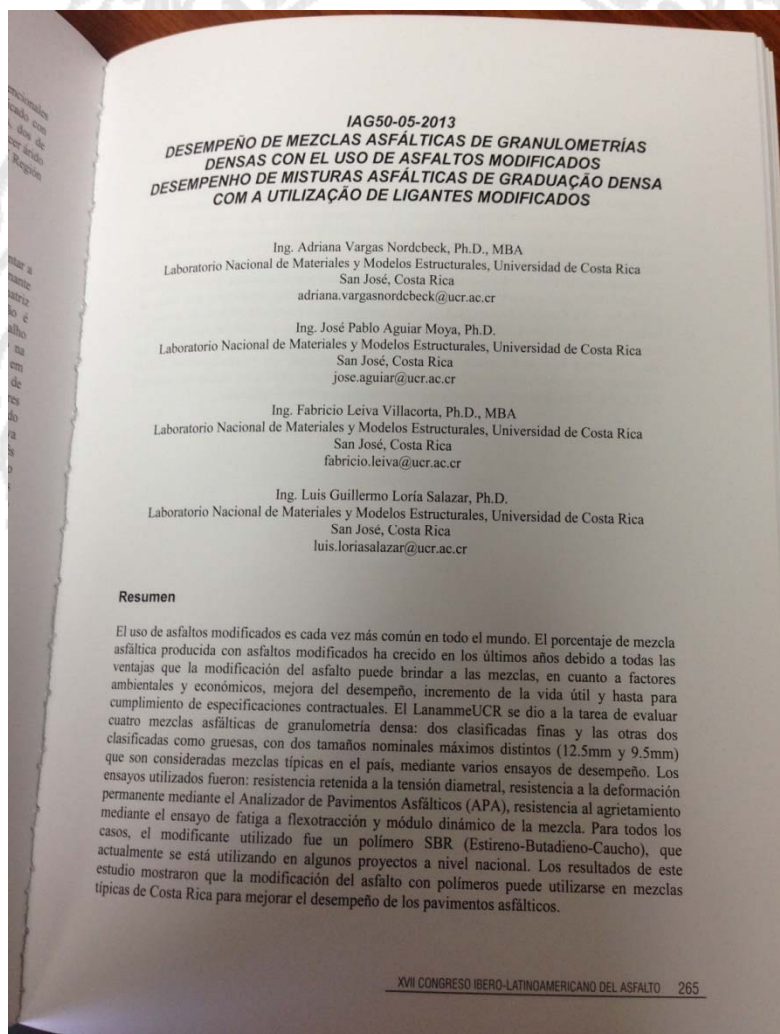
Resultados principales:  
Los resultados principales de esta investigación son: el informe final y la base de datos con todos los resultados obtenidos.

Impacto del proyecto en los ámbitos que corresponda:  
El impacto de este proyecto se espera que sea en el campo de la infraestructura vial del país para promover el uso de polímeros modificantes como mejoradores de desempeño en los pavimentos

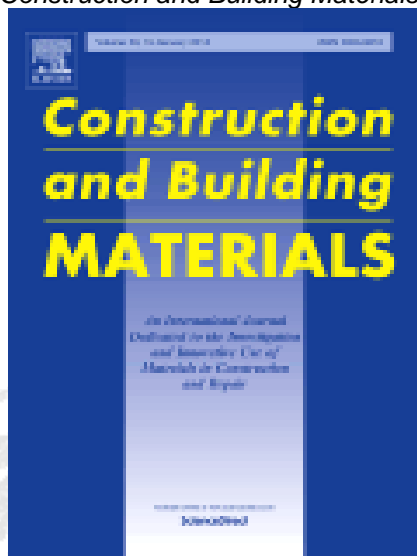
de Costa Rica.
Beneficios para la unidad académica y la Universidad de Costa Rica: Los beneficios son: la venta de servicios en los ensayos realizados así como el intercambio de conocimientos.
Interrogantes y nuevas investigaciones: En cuanto a nuevas investigaciones es importante abarcar otras fuentes de materiales, principalmente otros tipos de agregado y polímeros modificantes. Además, puede aplicarse el uso de ensayos acelerados a escala natural para complementar los resultados.
Actividades pendientes: NA

### 5. Producción académica (adjuntar anexos):

Referencias de los manuscritos artículos en prensa o publicados:  
"Desempeño de mezclas asfálticas de granulometrías densas con el uso de asfaltos modificados", XVII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA), Antigua, Guatemala, Noviembre 2013.



Referencias de los artículos u otros productos que se proyectan:  
Se planea enviar un artículo al *Construction and Building Materials Journal*, ISSN: 0950-0618.



Títulos de las ponencias y participación en eventos, lugar y fechas:  
"Desempeño de mezclas asfálticas de granulometrías densas con el uso de asfaltos modificados",  
Presentado en el XVII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA), Antigua, Guatemala,  
Noviembre 2013.

Impacto en procesos de enseñanza aprendizaje:

Otros productos:

## 6. Trabajos de graduación y participación estudiantil:

Asistentes	Labores ejecutadas
José Fabián Paniagua Fernández	Realización de ensayos de laboratorio, análisis de datos
Julio César Paniagua Fernández	Realización de ensayos de laboratorio, análisis de datos

Título de las tesis involucradas en el proyecto	Nombre de los/las estudiantes	Grado
Comparación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente de tamaño nominal 9,5 mm con y sin la adición de polímero modificante	José Fabián Paniagua Fernández	Licenciatura

Propuesta LM-PI-UMP-020-R1	Fecha de emisión: 06 de marzo de 2014	Página 36 de 48
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

Efecto de la modificación con polímero en la resistencia a la fatiga de mezclas asfálticas en caliente de tamaños nominales 9.5 y 12.5 mm.	Julio César Paniagua Fernández	Licenciatura
--	--------------------------------	--------------

**7. Comentarios generales:**

Ninguno

**8. Informe financiero (adjuntar informe respectivo):**

Comentarios:  
Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria

**9. Aspectos éticos** (adjuntar la “Aplicación para revisión continua o para cerrar el estudio” del CEC):

Comentarios:  
Ninguno

**10. Autorización para incorporar el informe final ejecutivo en los repositorios de la UCR.**

SI ( ) NO Autorizo a la Vicerrectoría de Investigación para incluir en los repositorios institucionales el anterior informe.

SI ( ) NO Autorizo a la Vicerrectoría de Investigación para incluir en los repositorios institucionales los productos académicos adjuntos al informe.

06 de marzo de 2014

Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D.

Fecha

Firma

Investigador(a) principal

Versión 21-10-2012.

Propuesta LM-PI-UMP-020-R1	Fecha de emisión: 06 de marzo de 2014	Página 37 de 48
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

## ANEXO B



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN

LanammeUCR

### COMITÉ ÉTICO CIENTIFICO

Teléfonos:(506) 2511-5006    Telefax: (506) 224-9367

#### Aplicación para revisión continua o para cerrar el estudio\*

Por favor complete TODAS las secciones ya sea en el caso de revisión continua o cierre del estudio

Proyecto #: 321-B2-A11

Fecha de expiración de la vigencia de la revisión inicial otorgada por el CEC: 14 de diciembre de 2012

Investigador(a) principal: Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD

Título de la investigación: Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente con y sin la adición de polímeros modificantes para mezclas típicas en Costa Rica

#### 1. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

*Marque la opción que describe mejor el estado actual de esta investigación:*

- A la fecha no se ha enrolado ningún participante.
- Continúa el reclutamiento de participantes nuevos / revisión de registros / recolección de muestras.
- Se acabó el reclutamiento, pero los participantes permanecen recibiendo intervenciones relacionadas con la investigación.

- Ya no se recluta más y los participantes completaron las intervenciones relacionadas con la investigación. El estudio permanece activo solamente para darles seguimiento a largo plazo.
- El reclutamiento se ha cerrado permanentemente, los participantes han completado todas las intervenciones relacionadas con el estudio y se ha completado el seguimiento a largo plazo. Las actividades de investigación remanentes se limitan a análisis de datos que puede requerir contacto con información sobre la que usted normalmente no tiene acceso, tal como registros médicos, académicos, especímenes de laboratorio, patología, etc.
- Estudio cerrado.** El reclutamiento y el seguimiento se han completado y no se anticipa un contacto futuro con los participantes / registros / especímenes, para obtener información a la que usted normalmente no tiene acceso. **Por favor adjunte un informe final, que incluya el total de participantes enrolados, las razones para cerrar el estudio y cualquier publicación relacionada con el mismo.**

## 2. CANTIDAD DE PARTICIPANTES

*Complete con la información correspondiente:*

- A. Máximo número de participantes, a quienes se les va a solicitar consentimiento para participar y que el CEC aprobó previamente, por toda la vigencia de este estudio:  
 Ing. José Pablo Aguiar Moya, investigador principal, sin carga académica  
 Ing. Adriana Vargas Nordcbeck, investigadora asociada, sin carga académica  
 Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, investigador asociado, sin carga académica  
 Ing. José Pablo Corrales Azofofeifa, investigador asociado, sin carga académica
- B. Número total de participantes que han consentido a la fecha:  
 4
- C. Número total de participantes que luego de firmar el consentimiento, se han retirado por cuenta propia o han sido retirados por no satisfacer criterios de inclusión, a la fecha:  
 Ninguna
- D. Total que ha consentido desde la última revisión continua:  
 NA
- E. Total que ha consentido pero se ha retirado por cuenta propia o han sido retirados por no satisfacer criterios de inclusión, desde la última revisión continua:  
 Ninguna

### 3. RESUMEN DEL AVANCE DENTRO DEL ÚLTIMO PERIODO DE APROBACIÓN DEL CEC

Conteste todas las preguntas, para las que no aplican a su estudio indique NO.

- A.  SI  NO ¿El estudio está en la fase de reclutamiento de participantes?
- B.  SI  NO ¿El estudio ha estado reclutando participantes? *Si la respuesta es NO, pero la de A. fue SI, incluya un resumen describiendo las razones por las cuales no se ha producido.*
- C.  SI  NO ¿Alguno de los participantes se ha retirado del estudio, ha sido sacado o se ha perdido? *Si la respuesta es SI, incluya un resumen narrativo describiendo las razones para esto.*
- D.  SI  NO ¿Algún participante se ha quejado de la investigación? *Si la respuesta es SI, incluya un resumen narrativo de las quejas recibidas.*
- E.  SI  NO ¿Se ha publicado literatura científica relevante para esta investigación, durante este periodo, que pueda alterar las apreciaciones iniciales de riesgos o de beneficios asociados a este estudio? *Si la respuesta es SI, adjunte copias de esta publicación y un resumen narrativo.*
- F.  SI  NO ¿Ha habido hallazgos preliminares, incluyendo informes interinos, manuscritos, resúmenes, publicaciones y hallazgos clínicos, que puedan tener impacto sobre el estudio? *Si la respuesta es SI, adjunte copias de estos informes y un resumen narrativo. Anote cualquier evento o descubrimiento que pueda alterar la razón riesgo/beneficio del estudio, incluyendo informes favorables.*
- G.  SI  NO ¿Se han realizado informes de avance del estudio como los que se envían a la Vicerrectoría de Investigación, a las agencias financiadoras y otros? *En caso afirmativo, adjunte las copias y un resumen narrativo.*
- H.  SI  NO ¿Se han realizado informes de avance del estudio por parte de otros investigadores participantes, fuera de la UCR, para enviar a sus respectivas instituciones (estudios multicéntricos y otros)? *En caso afirmativo, adjunte las copias y un resumen narrativo.*



- I.  SI  NO ¿Se ha descubierto alguna otra información relevante a este estudio, sobre todo relacionada con los posibles riesgos y beneficios asociados al mismo? *En caso afirmativo, adjunte copias de esta información y un resumen narrativo.*
- J.  SI  NO ¿Se ha detectado algún problema no anticipado, relacionado con riesgos para los participantes u otras personas, en la UCR o algún otro sitio donde se desarrolle el estudio? *En caso afirmativo, enumere y describa estos problemas en un resumen narrativo.*
- K.  SI  NO ¿Se han reportado al CEC todos los problemas no anticipados que conllevan riesgo para los participantes u otras personas, que requieren ser informados con prontitud? *Si la respuesta es negativa, envíe al CEC la información requerida antes de que transcurran 5 días hábiles. Indique si estos eventos o problemas cambiaron la razón riesgo/beneficio o requirieron cambios en el documento de consentimiento informado.*
- L.  SI  NO ¿El perfil de reacciones adversas experimentado por los participantes difiere del esperado? (reacción adversa/evento adverso significa cualquier acontecimiento desfavorable e indeseado, tanto serio como no serio, esperado o inesperado, relacionado o no con el estudio). *Si la respuesta es afirmativa, adjunte un resumen narrativo describiendo las diferencias entre el perfil de reacciones adversas esperado y el encontrado.*
- M.  SI  NO ¿Se ha asignado a un Comité Independiente de Monitorización de Datos la revisión periódica de los riesgos para los participantes? *Si la respuesta es afirmativa indique la frecuencia con que se realiza esta tarea y un resumen narrativo de sus informes.*
- N.  SI  NO ¿Los participantes han experimentado algún beneficio derivado del estudio? *En caso afirmativo, adjunte un resumen narrativo describiendo estos beneficios.*

#### 4. INFORMACIÓN SOBRE EL DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

- SI  NO ¿El CEC requiere el uso de un documento escrito de consentimiento informado para la ejecución de este estudio?

*En caso afirmativo, adjunte una copia del documento aprobado y sellado que ha estado en uso Y otra copia idéntica y limpia para volver a sellar una vez aprobada la revisión continua, para ser usado durante el siguiente periodo de aprobación (excepto si ya concluyó el reclutamiento).*

## 5. INFORMACIÓN SOBRE CONTACTOS

### Investigador principal:

Nombre:	Apellido:	Cédula #	Unidad académica:
José Pablo	Aguiar Moya	1-1096-0827	LanammeUCR
Teléfono:	Celular:	Fax:	Email:
25112529	83890404	25114440	jose.aguiar@ucr.ac.cr

### Profesor(a) tutor(a) (complete si el investigador principal es estudiante):

Nombre:	Apellido:	Cédula #	Unidad académica:
NA	NA	NA	NA
Teléfono:	Celular:	Fax:	Email:
NA	NA	NA	NA

### Persona encargada del contacto con el estudio (complete si el contacto primario no es alguno de los anteriores):

Nombre:	Apellido:	Cédula #	Unidad académica:
Adriana	Vargas Nordcbeck	1-0986-0811	LanammeUCR
Teléfono:	Celular:	Fax:	Email:
25112539	83104328	25114440	adriana.vargasnordcbeck@ucr.ac.cr

## 6. DECLARACIÓN SOBRE CONFLICTOS DE INTERESES DEL INVESTIGADOR(A)

SI  NO ¿Se ha desarrollado algún nuevo conflicto de intereses para el investigador(a) principal o para el personal clave del estudio? *En caso afirmativo adjunte una narración detallada de las características del conflicto cuando los investigadores, personal clave o cualquier otra persona responsable del diseño, ejecución o reporte del estudio tiene un interés financiero en, o actúa en representación de, una entidad externa cuyos intereses financieros, pareciera razonable pensar, que podrían afectarse por la investigación.*

Propuesta LM-PI-UMP-020-R1	Fecha de emisión: 06 de marzo de 2014	Página 42 de 48
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

## 7. DECLARACIÓN DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL

*Lea cuidadosamente esta declaración antes de firmar.*

Adicionalmente a las respuestas anteriores, yo confirmo que el documento de consentimiento informado en uso, aprobado por el CEC, ha sido firmado, fechado y guardado en mis archivos para cada participante enrolado en este estudio y una copia del mismo fue entregada a la persona que lo firmó como participante (cuando el uso de documento de consentimiento informado fue requerido). Asimismo confirmo que no se han realizado cambios en los procedimientos del estudio o en el documento de consentimiento sin previa aprobación por parte del CEC.

06 de marzo de 2014

Firma del investigador(a) principal

Fecha

\*Adaptado de las fórmulas #1101 y #1129 del IRB de la Universidad de Vanderbilt.

## ANEXO C

### UNIVERSIDAD DE COSTA RICA VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Unidad de Gestión de Proyectos

Unidad de Gestión de Calidad

Tel.: 2511-5845

### Formulario para la evaluación de informes parciales, finales y solicitud de ampliación de vigencia

#### Instrucciones

Los informes parciales, finales y las solicitudes de ampliación de vigencia se consideran parte de la evaluación de seguimiento; en ellos se revisan los resultados y productos alcanzados en un momento determinado, también las circunstancias y condiciones en que se produjeron. Las evaluaciones obtenidas son utilizadas como insumos para la asignación de recursos, tanto para la continuación de ejecución como para las propuestas nuevas por parte de los(as) investigadores(as) encargados(as).

Los informes y solicitudes contemplan cuatro componentes: (I) Información sustantiva de la propuesta, (II) una autoevaluación de parte del/los(as) investigadores(as), (III) una evaluación de los alcances y logros reportados y (IV) una evaluación del informe.

Los informes parciales y las solicitudes de ampliación de vigencia deben ser evaluados por las Comisiones de Investigación y/o los Consejos Científicos y aprobados por la Dirección de la Unidad Académica. En el caso de los informes finales de los proyectos de investigación, éstos deben ser evaluados adicionalmente por pares académicos, internos y/o externos a

criterio de la Comisión de Investigación o del Consejo Científico. Por su parte, la Vicerrectoría de Investigación evalúa tanto los informes parciales como los finales, siendo la entidad que en última instancia aprueba éstos y las solicitudes de ampliación de vigencia.

Las dimensiones a evaluar son las siguientes:

*Autoevaluación:* Evaluación de las condiciones, Evaluación de los colaboradores, Evaluación del apoyo institucional recibido.

*Evaluación de alcances y logros:* Solidez de las evidencias y resultados reportados, Productividad, Impacto y Visibilidad potencial.

*Evaluación del informe:* Exhaustividad, Claridad, Rigurosidad.

A continuación encontrará cuatro apartados con los ítems correspondientes a cada una de las dimensiones a evaluar. Para cada ítem considere el informe y califíquelo luego en una escala de 1 a 100. En donde 0 indica una muy mala calificación y 100 una excelente calificación. En caso de que al evaluar considere que el componente evaluado en el ítem no debería ser aplicado a la propuesta, marque con una X en el espacio "No aplica".

## TITULO DE LA PROPUESTA:

Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente con y sin la adición de polímeros modificantes para mezclas típicas en Costa Rica

### I. Autoevaluación

Este apartado debe ser llenado por el/la/las investigador(a)(as).

Criterio	Calificación	No aplica
1. Evaluación de la ejecución de la propuesta en general.	100	
2. Valoración del aporte de los colaboradores no académicos.	100	
3. Evaluación del nivel de integración de los colaboradores académicos.		X
4. Evaluación del trabajo de los/las asistentes.	100	
5. Valoración del apoyo administrativo de la unidad académica para esta propuesta.	100	
6. Valoración del apoyo de la Vicerrectoría de Investigación para esta propuesta.		X
7. Valoración del aporte de otras instancias universitarias para esta propuesta.		X
8. Valoración el apoyo de FUNDEVI para esta propuesta.		X
9. Grado de satisfacción con los resultados y logros alcanzados.	100	
Calificación promedio (sin considerar los no aplica)	100	

## TITULO DE LA PROPUESTA:

Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente con y sin la adición de polímeros modificantes para mezclas típicas en Costa Rica

### II. Evaluación de alcances y logros

Criterio	Calificación	No aplica
10. Los logros y alcances académicos del trabajo realizado.	100	
11. Los productos académicos aportados.	100	
12. La visibilidad potencial de los resultados y productos.	100	
13. El impacto potencial de los resultados y productos en los procesos de enseñanza aprendizaje.	100	
14. El impacto potencial de los resultados y productos en la unidad académica de adscripción.	100	
15. El impacto potencial de los resultados y productos en el área disciplinar de adscripción del trabajo.	100	
16. El impacto potencial de los resultados y productos en el ámbito extraacadémico.	100	
Calificación promedio (sin considerar los no aplica)	100	

### III. Evaluación del informe

Criterio	Calificación	No aplica
17. Grado de exhaustividad en la presentación de resultados y logros.		
18. Grado de claridad en la presentación de los resultados y logros.		
19. Grado de rigurosidad argumentativa en la presentación de resultados y logros.		
20. Evidencias aportadas para sustentar conclusiones y argumentos.		
Calificación promedio (sin considerar los no aplica)		

#### IV. Evaluación de Vicerrectoría de Investigación

Criterio	Calificación	No aplica
21. Puntualidad en la presentación de informes.		
22. Ejecución y uso de los recursos financieros.		
23. Productos académicos logrados versus proyectados.		
24. Visibilidad de resultados y logros.		
25. Impacto alcanzado versus proyectado.		
Calificación promedio (sin considerar los no aplica)		
Calificación global		

Versión 12-09-2012.

