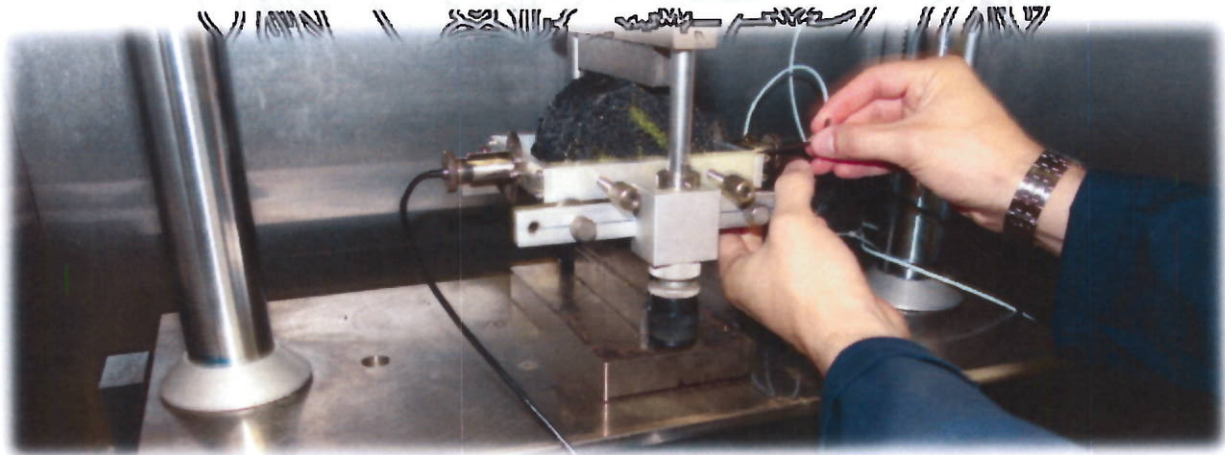


## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Resumen: LM-PI-UMP-R-001-13

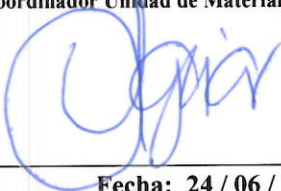

# AVANCE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2013

Preparado por:  
Unidad de Materiales y Pavimentos



Junio, 2013

Información técnica del documento

<b>1. Resumen</b> LM-PI-UMP-R-001-12		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> AVANCE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2012		<b>4. Fecha del Informe</b> JUNIO, 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>  <i>El presente informe resume los proyectos de investigación en el área de Materiales y Pavimentos que se están desarrollando en este momento por parte del LanammeUCR, a través de su Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), en cumplimiento con lo establecido en la Ley N° 8114. Adicionalmente, se presenta a manera resumida, el avance de cada unos de los proyectos mencionados.</i>  <i>Todo lo anterior según lo establecido por Decreto No. 37016 - MOPT.</i>		
<b>10. Palabras clave</b> Proyectos de Investigación, Materiales y Pavimentos, LanammeUCR	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 43
<b>13. Preparado por:</b> Ing. José Pablo Aguiar, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos   Fecha: 24 / 06 / 13		
<b>14. Aprobado por:</b> Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA   Fecha: 24 / 06 / 13		

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. MEZCLAS ASFÁLTICAS.....</b>	<b>5</b>
2.1. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON Y SIN LA ADICIÓN DE POLÍMEROS MODIFICANTES PARA MEZCLAS TÍPICAS DE COSTA RICA.....	5
2.2. CALIBRACIÓN DEL ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS Y DETERMINACIÓN DE CURVAS MAESTRAS.....	8
<b>3. MATERIALES GRANULARES Y SUELOS .....</b>	<b>10</b>
3.1. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO EN CAMPO DE MATERIALES ESTABILIZADOS CON CAL EN TRAMOS DE PRUEBA.....	10
3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA-QUÍMICA DE SUELOS DE COSTA RICA.....	11
3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES CALIZOS.....	13
3.4. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO EN TRAMOS DE PRUEBA.....	14
3.5. PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE UN SUELO EN CONDICIONES NO SATURADAS.....	15
3.6. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA DE UNA BASE GRANULAR DEBIDO A LA VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE FINOS PLÁSTICOS EN GRANULOMETRÍAS CONTROLADAS.....	16
<b>5. CIENCIA DE MATERIALES.....</b>	<b>18</b>
5.1. ESTABILIDAD DE ASFALTO MODIFICADO CON SBS.....	18
5.2. OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO Y LA TEMPERATURA DE MODIFICACIÓN DE ASFALTO CON SBS.....	19
5.3. CORRELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE CROMATOGRAFÍA DE COLUMNA Y CAPA FINA.....	20
5.4. MÉTODO DE ENSAYO PARA CUANTIFICAR LA DOSIS DE SBR Y SBS QUE SE ADICIONA AL ASFALTO.....	22
5.5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.....	23
5.6. ASFALTOS VERDES.....	24
<b>5. CONSERVACIÓN VIAL .....</b>	<b>26</b>
5.1. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE SELLOS ASFÁLTICOS.....	26
5.2. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CHIP SEALS.....	27
5.3. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULAS Y PH Y SU CORRELACIÓN CON ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD.....	28
5.4. MATERIALES ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN.....	29
<b>6. ENSAYOS A ESCALA NATURAL.....</b>	<b>32</b>
6.1. IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS ACELERADOS DE CARGA SOBRE PISTAS A ESCALA NATURAL, PUESTA EN MARCHA DEL HVS Y PRIMER ENSAYO FORMAL DEL HVS.....	32

6.2. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL LARGO PLAZO.....	35
6.3. ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO DE LA AASHTO: EL CASO COSTARRICENSE.....	37
<b>7. MODELACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS.....</b>	<b>39</b>
7.1. CONFIGURACIÓN DE CARGA: ANÁLISIS CON ELEMENTO FINITO. PARTE 1 .....	39
7.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE LA MODELACIÓN DE CARGA EN COSTA RICA.....	40
7.3. INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	41
7.4. INTERFAZ DE CÁLCULO PARA LA CURVA MAESTRA DE MÓDULO DINÁMICO .....	42

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento pretende resumir las actividades que está realizando la Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP) del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) . Dicho resumen pretende brindar una guía general sobre los temas y actividades que se están realizando, así como un resumen del estado de avance de los proyectos. El informe no pretende presentar el detalle de cada uno de los proyectos o actividades.

A continuación se presentan los proyectos de investigación que se están realizando según su área:

## 2. MEZCLAS ASFÁLTICAS

### 2.1. Evaluación del Desempeño de Mezclas Asfálticas en Caliente con y sin la Adición de Polímeros Modificantes para Mezclas Típicas de Costa Rica

**Objetivo:** 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.

Este proyecto pretende determinar la mejoría en el desempeño de la mezcla asfáltica, cuando se utilizan modificantes en el asfalto. Para ello se evalúan cuatro tipos de mezclas asfálticas: dos de tamaño nominal máximo de 12.5 mm (densa fina y densa gruesa) y dos de tamaño nominal máximo de 9.5 mm (densa fina y densa gruesa), todas ellas con y sin la adición de un modificante SBS.

Este proyecto incluye la realización de varios ensayos mecánicos a las mezclas con el fin de caracterizarlas y evaluar su desempeño en el laboratorio. Los ensayos incluyen: fatiga a flexotracción, resistencia a la deformación plástica mediante APA, módulo resiliente a la tensión diametral, módulo dinámico, resistencia a la tensión diametral retenida y resistencia a la compresión uniaxial retenida.



Figura 1. Preparación y evaluación de mezclas asfálticas modificadas.

Además, se incluyó la realización del ensayo de Texas Overlay, el cual busca ser implementado como una alternativa para evaluar la susceptibilidad de las mezclas asfálticas al agrietamiento. Actualmente, el ensayo utilizado para este fin es el de fatiga a flexotracción, es cual requiere de una gran cantidad de material para la elaboración de muestras, así como de un período relativamente largo para realizar el ensayo.



Figura 2. Ensayo de Texas Overlay.

Parte importante de este proyecto es generar una base de datos con valores de desempeño de estas mezclas, para categorizarlas de acuerdo a estas características y poder utilizarlas en la calibración de la Guía de Diseño Mecánico-Empírica para Costa Rica.

A la fecha, se han completado los diseños de los cuatro tipos de mezclas y se han realizado la mayoría de los ensayos mecánicos mencionados anteriormente. Restan por completar aproximadamente 25% de las pruebas de fatiga a flexotracción, 50% de las pruebas de compresión uniaxial, y la totalidad de los ensayos de Texas Overlay.

Actualmente se realizan esfuerzos de procesamiento y control de calidad de los datos obtenidos hasta el momento, para poder continuar con la fase de análisis de resultados.

## 2.2. Calibración del Ensayo de Módulo Dinámico para Mezclas Asfálticas y Determinación de Curvas Maestras

**Objetivo:** 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.

La necesidad de diseñar pavimentos más durables y de mejor desempeño, ha generado el inicio de un cambio a nivel mundial para hallar mejores metodologías para su diseño y evaluación, con miras a evaluar las mezclas mediante ensayos mecanicistas y modelos de desempeño, en lugar de utilizar únicamente formulas empíricas ampliamente conocidas.



Figura 3. Montaje del ensayo de módulo dinámico.



Este proyecto busca la calibración del ensayo de Módulo Dinámico, ya que éste es un parámetro fundamental en el diseño mecanicista de pavimentos. Para ello, se contó con la colaboración del Dr. Matthew W. Witzczak y el laboratorio de GCTS en Arizona, Estados Unidos. El esquema experimental incluye la fabricación de especímenes para distintos tipos de mezcla, de los cuales la mitad son ensayados por el LanammeUCR y la otra mitad por GCTS. Con ello se busca comparar los resultados y realizar ajustes a los parámetros de prueba conforme sea necesario.

Como una primera fase, se realizaron ensayos a tres tipos de mezcla: dos de tamaño nominal máximo de 12.5 mm (densa fina y densa gruesa) y una de tamaño nominal máximo de 9.5 mm con granulometría densa gruesa. Para la segunda fase se definieron seis tipos de mezcla: una de tamaño nominal máximo de 19.0 mm densa fina, una de tamaño nominal máximo de 12.5 mm densa fina modificada con polímero, tres de tamaño nominal máximo de 9.5 mm densa fina (convencional, modificada con polímero y modificada con polímero y bumper), y una mezcla de planta obtenida durante la construcción de tramos experimentales del Laboratorio de Ensayos en Pavimento a Escala Real (PaveLab).

Los resultados de este estudio, serán utilizados en Costa Rica para introducir un nuevo modelo de desempeño de mezclas asfálticas adecuado para los materiales propios del país, con miras a la implementación de una guía de diseño de pavimentos mecanicista-empírica calibrada para las condiciones propias de Costa Rica y otros países que cuenten con características similares.

La primera fase se completó en su totalidad y la segunda fase se encuentra actualmente en el proceso de fabricación de especímenes.

### 3. MATERIALES GRANULARES Y SUELOS

#### 3.1. Evaluación del Desempeño en Campo de Materiales Estabilizados con Cal en Tramos de Prueba

**Objetivo:** Valorar el efecto de la cal como aditivo estabilizador en las propiedades mecánicas y de durabilidad del material estabilizado en tramos de prueba.

Se pretende valorar el efecto que tiene la combinación de cal con suelos naturales, de grano fino y alta susceptibilidad a la presencia de agua, en sus propiedades de resistencia y durabilidad, con el propósito de poder utilizar la mezcla en carreteras no pavimentadas o como parte de una estructura de pavimento. Se conoce que la adición de cal tiene los siguientes beneficios: es amigable con el ambiente, de bajo costo, permite la utilización de los suelos locales.

La valoración de dicho efecto se lleva a cabo a través del análisis de los tramos de prueba construidos mediante convenios municipales para la realización de ensayos en laboratorio y campo. En este caso, ha sido posible la construcción de dos tramos de prueba. El primer tramo fue construido, en febrero del 2012, con la colaboración de la Municipalidad de Cartago en el sector de Copalchí, el segundo tramo fue construido, en enero del 2012, con la participación de la Municipalidad de Cañas en el Barrio La Unión

Actualmente ya se ha realizado la evaluación y monitoreo de ensayos de: Deflectómetro de Impacto Ligero (LWD), Cono de Penetración Dinámico (CPD) y Evaluación Visual de los primeros 18 meses después de la construcción de los tramos. Dichas mediciones han permitido medir la evolución de la resistencia en el tiempo y valorar su desempeño.



(a)

(b)

Figura 4. Condición superficial: (a) un mes después (febrero 2012), (b) doce meses (enero 2013)

### 3.2. Caracterización Física-Química de suelos de Costa Rica

**Objetivo:** Caracterizar física y químicamente suelos que potencialmente se podrían usar como subrasante en pavimentos construidos en Costa Rica.

En el proyecto de ejecución de una carretera o cualquier otra obra relacionada con la construcción, tiene gran importancia el conocimiento del terreno sobre el que se va a cimentar. En primer lugar se debe identificar el tipo de suelo. Aunque un simple examen visual permita determinarlo con cierta aproximación, se debe completar la descripción con un examen más detallado de sus propiedades con el fin de descubrir claramente la variedad de problemas y deficiencias asociadas al mismo.

En Costa Rica los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, la topografía, entre muchos otros factores.

La importancia de las carreteras radica en que es la columna vertebral del transporte, su construcción y mantenimiento se vuelven estratégicos. El invertir o no invertir lo necesario conduce a pérdidas de capital o bien a gastos mayores en el futuro, por lo que esta investigación busca utilizar los recursos de una manera óptima y comprender de una mejor manera el suelo como subrasante para pavimentos,

utilizando toda la información posible que lo caracterice y permita un diseño económico y eficiente de una carretera.

Se ha muestreado suelos de alrededor de 75 puntos ubicados cerca de la Red Vial Nacional en la Zona de Guanacaste, Puntarenas, Zona Sur, Caribe y Zona Norte. Para todos estos suelos ya se cuenta con los resultados de la caracterización de Límites de Atterberg y Granulometría. También se cuenta con resultados de Análisis Termogravimétricos (TGA) para los suelos ubicados en Guanacaste, Puntarenas y algunos puntos de la Zona Norte.



Figura 5. Ubicación de puntos de muestreo de suelos

### 3.3. Caracterización Físico-Química de materiales calizos

**Objetivo:** Analizar las propiedades físico-químicas de materiales de origen calizo (ubicación geográfica, la génesis y la composición mineralogía) y su influencia en el proceso de producción de cal para su aplicación como agente estabilizador de materiales granulares y suelos.

En general, en Costa Rica existe un desconocimiento sobre los tipos de cal que se producen las industrias nacionales, y por lo tanto se ignoran las propiedades físico-químicas de la materia prima y del producto final.

La ubicación geográfica, la génesis y la composición mineralogía de cada una de las formaciones geológicas donde se extraen materiales calizos para la producción de la cal pueden tener influencia en el desempeño físico-químico de los materiales calizos.

Esta investigación tiene como objetivo analizar las propiedades físico-químicas de materiales de origen calizo con el uso de análisis termogravimétricos (TGA), medición de pH de la cal y una caracterización química de la cal para poder evaluar la influencia del proceso de producción de cal. Esto con la finalidad de optimizarlo y así proveer una alternativa económica y rentable para la estabilización de materiales granulares y suelos.

Se ha muestreado rocas calizas de Guanacaste y de la Zona Sur, actualmente se están realizando los ensayos de Análisis Termogravimétricos (TGA), medición de pH de la cal y caracterización química de la cal después de variaciones en el proceso de producción de los materiales calizos.

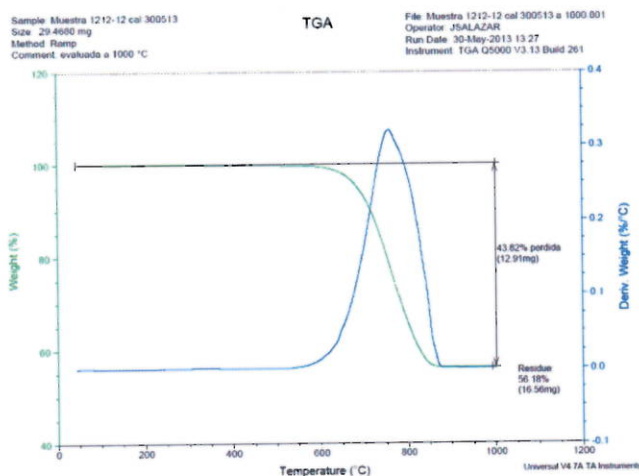


Figura 6. Resultados de ensayos termogravimétricos (TGA) para un material calizo

### 3.4. Evaluación del Desempeño de Materiales Tratados con Cemento en tramos de prueba

**Objetivo:** Valorar el efecto del cemento como aditivo estabilizador en las propiedades mecánicas y de durabilidad de materiales granulares para ser utilizados como base estabilizada con cemento.

Las bases estabilizadas con cemento han mostrado ser una alternativa muy importante para la construcción de pavimentos. Su aporte estructural, la variabilidad de materiales en las distintas zonas del país, el clima lluvioso y la presencia de zonas con niveles freáticos altos favorecen la aplicación de esta tecnología. En general, la técnica permite aumentar la vida útil de los pavimentos y a la vez permite disminuir la frecuencia en el mantenimiento.

Con el presente estudio se busca verificar y monitorear las mejorías en el desempeño de campo de estos materiales mediante la construcción de tramos de prueba reales, utilizando las técnicas de construcción típicamente utilizadas. Una vez construidos estos tramos, se evaluará en distintos momentos durante la vida útil la evolución del desempeño de los mismos, con el objetivo de verificar si la técnica representa una solución competitiva, económica y ambientalmente amistosa que ofrezca una mejor superficie de ruedo y mejor desempeño ante condiciones de lluvia y humedad. Paralelamente, se trabajará en la implementación de un ensayo de laboratorio para el desarrollo de leyes de fatiga para la predicción del desempeño en laboratorio de los materiales estabilizados con cemento.

Se confeccionó una propuesta que se encuentra en las etapas finales de revisión. En el proyecto se trabajará en conjunto con las cementeras Cemex y Holcim, así como también con Municipios a través de convenios para la realización de ensayos en laboratorio de caracterización a las bases seleccionadas y diseño de la estabilización. Posteriormente a la construcción de tramos se realizarán ensayos de campo para el monitoreo del desempeño de los materiales estabilizados.

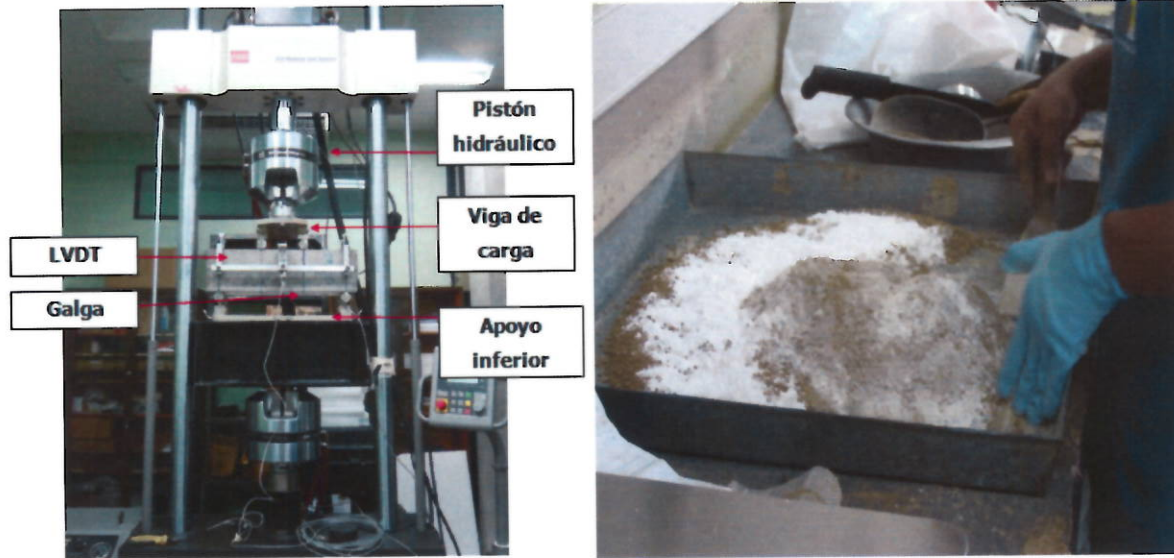


Figura 7. Ensayos de laboratorio propuestos para la caracterización de materiales estabilizados con cemento

### 3.5. Propiedades Físico - Mecánicas de un Suelo en Condiciones no Saturadas

**Objetivo:** Desarrollar una metodología para el diseño de pavimentos que permita tomar en cuenta variaciones de la densidad y contenido de humedad de diversos tipos de suelos que existen en nuestro país.

Los diversos tipos de suelos que existen en nuestro país, y la variación que presentan sus propiedades de resistencia según las condiciones climáticas a las que están sometidos durante distintos periodos, representan un gran reto para el adecuado diseño de infraestructura civil, principalmente para carreteras. Por tal razón es importante desarrollar una metodología (variando densidad y contenido de humedad) para el diseño de pavimentos que permita tomar en cuenta dichos aspectos.

Se cuenta con un esquema experimental del cual ya se han obtenido los primeros parámetros de un suelo, con estos resultados se iniciará con los ensayos físico-mecánicos (Compresión Inconfinada, Módulo Resiliente, CBR y Ensayos Triaxiales) para diferentes condiciones de densidad, humedad y saturación. Adicionalmente, recientemente se adquirió un equipo de Saturación mediante Extracción de Plato, el cual permite la obtención de la Curva Característica de Retención de Agua, que permitirá asociar los resultados de características mecánicas de los suelos, con el contenido de saturación asociado. Actualmente se está trabajando en la implementación de los ensayos correspondientes.

Informe LM-PI-UMP-R-001-13	Fecha de emisión: 24 de junio de 2013	Página 15 de 43
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



Figura 8. Equipo de Saturación mediante Extracción de Plato

### 3.6. Variación de la Resistencia de una Base Granular debido a la Variación del Contenido de Finos Plásticos en Granulometrías Controladas

**Objetivo:** Cuantificar variaciones en el Módulo Resiliente y CBR de un material de subbase granular para pavimento debido a la presencia de finos plásticos y no plásticos con la finalidad de determinar un rango de finos potencialmente utilizables en el diseño de un pavimento.

En términos generales la presencia de materiales de granos finos, susceptibles a la presencia de humedad, dentro de los materiales de base granular permite que se dé una reducción de la permeabilidad y rigidez de material, así como también un aumento de la deformabilidad del mismo y la



expansión volumétrica en presencia agua, lo que causa también una disminución de la resistencia. Debido a los daños que causan los finos en las bases granulares, y por ende en el pavimento en general, es importante revisar las especificaciones que se utiliza actualmente (en cuanto a los porcentajes de finos permitidos) mediante el empleo de ensayos de laboratorio bajo condiciones granulométricas controladas.

El proyecto se encuentra en sus etapas finales, con la evaluación en laboratorio de parámetros de CBR y Módulo Resiliente para un material de base, en el cual se han medido las variaciones en los valores obtenidos de estos ensayos debido a cambios en el contenido del material pasando la malla N°200.



Figura 9. Ensayo de Módulo Resiliente.

## 4. CIENCIA DE MATERIALES

### 4.1. Estabilidad de asfalto modificado con SBS

**Objetivo:** Determinar los tiempos máximos para los cuales se puede almacenar un asfalto modificado con SBS, bajo condiciones estáticas.

El proyecto pretende analizar el comportamiento durante el almacenamiento de un asfalto modificado con una dosis de 2,5% masa/masa de SBS.

El asfalto se modifica con agitación de alto corte durante 5 horas a una temperatura de 190 °C y luego se vierte columnas similares a las que se observa en la Figura 10.

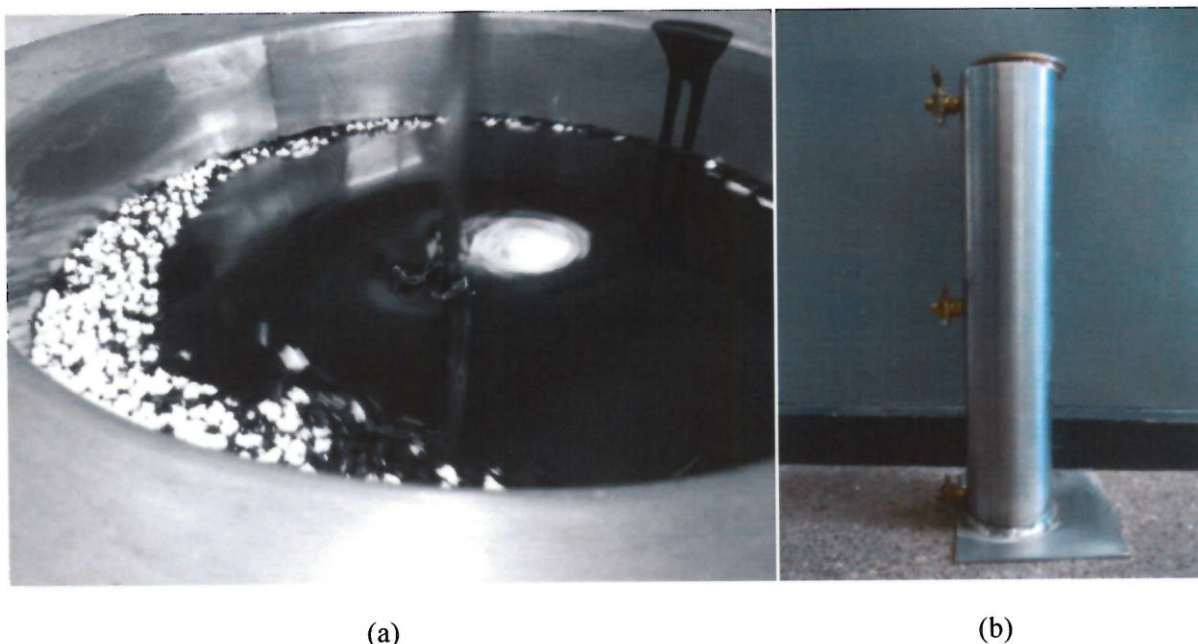


Figura 10. (a) Proceso de modificación de asfalto con SBS y (b) Columna utilizada para medir la estabilidad del asfalto modificado

Se toma muestras del asfalto recién modificado y se realizan ensayos de reología, análisis de fuerza atómica, análisis infrarrojo y ensayos de viscosidad dinámica.

Las columnas se almacenan en un horno con temperatura controlada durante cuatro días y se toman muestras de la parte superior, de la sección intermedia y de la parte inferior. A cada una de las muestras tomadas se le realizan los mismos ensayos mencionados anteriormente. En esta primera etapa se determinó cuando se detecta un cambio significativo en las propiedades del asfalto.



(a)

(b)

Figura 11. (a) Recolección de muestras a las 48 horas y (b) muestras preparadas para el análisis.

La segunda etapa, consistió en analizar el cambio del asfalto en un periodo de 24 horas desde que se detecta el cambio más significativo en la etapa anterior. La primera muestra en este caso, se toma a las 12 horas y después se toman muestras cada hora, hasta completar las 24 horas establecidas.

El proyecto está casi finalizado, ya se completaron las dos etapas planteadas y se realizaron los ensayos planteados. Se están analizando los datos de la segunda etapa y se iniciará con la preparación del informe final.

#### 4.2. Optimización del tiempo y la temperatura de modificación de asfalto con SBS

**Objetivo:** Definir las condiciones óptimas de mezclado durante la modificación con SBS del asfalto que se utiliza en Costa Rica, que produzcan cambios significativos en las características químicas, físicas y de desempeño del material modificado.

Este proyecto forma parte de un proyecto mayor donde se analizarán las condiciones óptimas de modificación de diferentes asfaltos con diversos modificantes. Las condiciones de modificación que se van a medir son el tiempo de mezclado y la temperatura de modificación, manteniendo constantes la dosis de modificante y la velocidad de corte.

Se inicia con el asfalto que se utiliza actualmente en Costa Rica, clasificado como AC-30 y se utiliza como modificante el polímero SBS.

La primera medición se selecciona con base en las variables que usualmente se han definido, las otras condiciones se establecen de acuerdo a lo que se ha encontrado en recomendaciones del fabricante y en

otros estudios. Las temperaturas que se utilizarán son 159 °C, 180 °C, 185 °C y 190 °C y los tiempos de mezclado son 2 horas, 3 horas, 4 horas y 5 horas.

En cada una de las modificaciones realizadas se recolectarán muestras para medir el efecto de estas variaciones en las propiedades de desempeño, físicas y químicas del asfalto. Estos ensayos también se realizan al asfalto sin modificar para determinar los cambios que podría provocar el polímero en sus propiedades.

Los ensayos a realizar son punto de ablandamiento, viscosidad dinámica y recuperación elástica para evaluar las características físicas, se harán análisis de infrarrojo, de fuerza atómica y termogravimétricos para detectar cambios en la composición química y se aplicarán análisis reológicos para evaluar el cambio en las propiedades de desempeño.

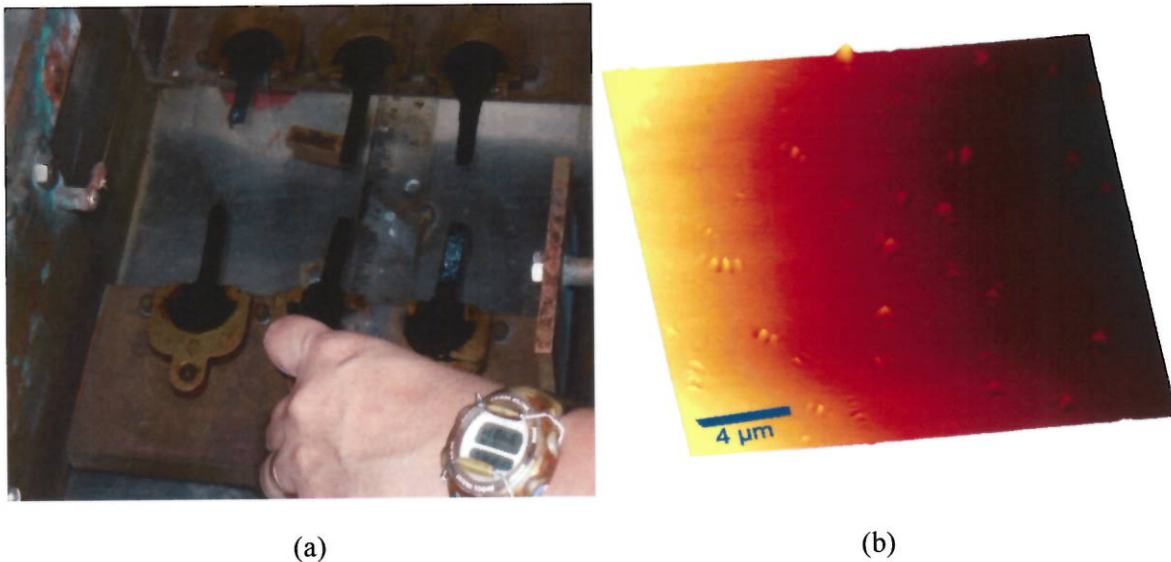


Figura 12. Ensayos realizados al asfalto modificado con 2,5 % de SBS: (a) Ensayo de recuperación elástica y (b) Análisis de fuerza atómica.

Hasta el momento se han realizado la mayoría de los ensayos, se debe procesar la información recolectada hasta el momento. Están pendientes los ensayos de reología.

#### 4.3. Correlación entre los resultados de cromatografía de columna y capa fina

**Objetivo:** Implemetar el ensayo de cromatografía de capa fina asegurando una adecuada correlación con los resultados obtenidos del método de cromatografía de columna.

La composición química del asfalto se divide en cuatro fracciones principales conocidas como SARA (Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos).

El procedimiento de cromatografía de columna que se utiliza actualmente para cuantificar estas fracciones requiere de diferentes procesos que se ejecutan durante varios días, consume cantidades significativas de reactivos contaminantes y es tedioso. A pesar de esto el procedimiento es confiable.



Figura 13. Una de las etapas de la cromatografía de columna

Con el propósito de mejorar el procedimiento existente, hace algunos años se desarrolló un equipo que aplica la técnica de cromatografía de capa fina, sin embargo no se ha logrado correlacionar completamente con la cromatografía de columna.



Figura 14. Columnas que se utilizan en la cromatografía de capa fina

Con el objetivo de determinar si existe o no correlación parcial o completa entre los métodos se plantea la elaboración de un método de cromatografía de capa fina. En este método se deben probar combinaciones de solventes diferentes y diferentes tiempos de retención, con el propósito de intentar obtener resultados similares a los que se logran en la cromatografía de columna.

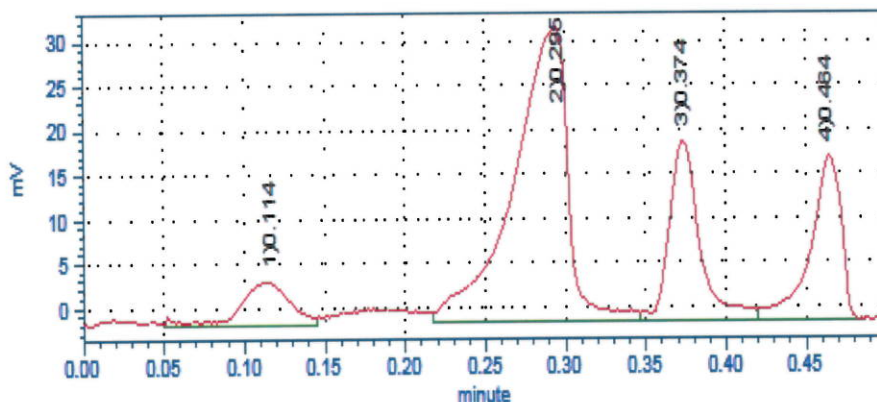


Figura 15. Ejemplo de la salida del programa del equipo de cromatografía de capa fina

Para realizar la comparación se seleccionan tres muestras a las que se les realiza el ensayo de cromatografía de columna.

Ya se efectuaron varios ensayos con combinaciones diferentes de solventes y diferentes tiempos de retención en la cromatografía de capa fina para lograr resultados similares a los obtenidos en la cromatografía de columna. Adicionalmente, se envían las mismas muestras de asfalto a un laboratorio que tiene el método de cromatografía de capa fina implementado para comparar los resultados obtenidos.

En este momento se están analizando los resultados y se pretende enviar las muestras a otro laboratorio para corroborar los resultados, pues este método no está normado y la combinación de solventes varía en cada laboratorio.

#### 4.4. Método de ensayo para cuantificar la dosis de SBR y SBS que se adiciona al asfalto

**Objetivo:** Desarrollar una metodología que permita determinar con alto grado de certeza, cuál es el contenido de SBR o SBS con que se modificó un asfalto.

Este proyecto pretende definir un método de laboratorio para cuantificar en una muestra de asfalto modificado el polímero SBS o SBR adicionado.

El proyecto se divide en dos partes; en la primera se elabora el método para cuantificar la cantidad de SBR que se adiciona al asfalto. Esta parte del proyecto está finalizada, en este momento se está trabajando en el informe.



Figura 16. Materiales requeridos para cuantificar la cantidad de SBR adicionada al asfalto

La segunda parte del proyecto consiste en elaborar un método similar pero que permita cuantificar la cantidad de SBS adicionada al asfalto.

La combinación de solventes necesarios para identificar el polímero SBR han sido identificadas y el método implementado. Actualmente se está buscando la combinación de polímeros que permita desarrollar el método de ensayo adecuado.

#### 4.5. Análisis y comparación métodos de extracción de asfalto de mezclas asfálticas en caliente

**Objetivo:** Comparar los resultados de contenido de asfalto obtenido al aplicar el método de extracción con solventes, el método de ignición utilizando un horno de resistencias y el método de ignición utilizando un horno infrarrojo.

Existen varios métodos para cuantificar el contenido de asfalto de una mezcla asfáltica en caliente, sin embargo los resultados que se obtienen con cada uno los métodos es diferente.

Este proyecto pretende analizar cada método y comparar los resultados, utilizando mezclas asfálticas elaboradas en el laboratorio.

Como la cantidad de asfalto será conocida y constante para todas las muestras que se analicen, se podrá determinar la exactitud de cada método.

Se analizarán por lo menos, 7 muestras con cada método lo que permitirá evaluar la repetibilidad de cada uno.

El proyecto no se ha iniciado porque no se ha conseguido los materiales requeridos (agregado y asfalto de una misma fuente).



(a)

(b)

Figura 17. (a) Horno de ignición y (b) extracción por rotavapor.

#### 4.6. Asfaltos verdes

**Objetivo:** Evaluar la factibilidad de utilizar materiales de desecho como posibles mejoradores del desempeño del asfalto.

Este proyecto es constante, pues pretende analizar la posible mejora que se obtendría en las propiedades del asfalto al adicionar diferentes materiales de desecho.

Como parte del proyecto se ha evaluado la posibilidad de utilizar desechos de polietileno de alta y baja densidad (distintos tipos de bolsa, algunas de las cuales están impregnadas con contaminantes químicos dañinos), caucho, material de búmer de automóvil, espuma aislante térmica, estereofon y desechos de empaques de alimento de conejo.

Las muestras de asfalto se modificarían con 3% masa/masa de cada material (o en caso de materiales de muy baja densidad, se modifican a contenidos menores) y se realizan ensayos de punto de ablandamiento, viscosidad absoluta, viscosidad dinámica y análisis reológicos para evaluar el cambio en las propiedades de desempeño.



Adicionalmente, se está haciendo caracterización del asfalto modificado mediante técnicas termogravimétricas para determinar temperaturas e incorporación críticas, temperaturas de degradación y temperaturas de transición de estado. Finalmente, también se están evaluando los materiales mediante espectrometría infrarroja y Raman para determinar los cambios en composición y mediante microscopía de fuerza atómica para determinar la forma de incorporación.

La realización de lo ensayos de laboratorio está en proceso.

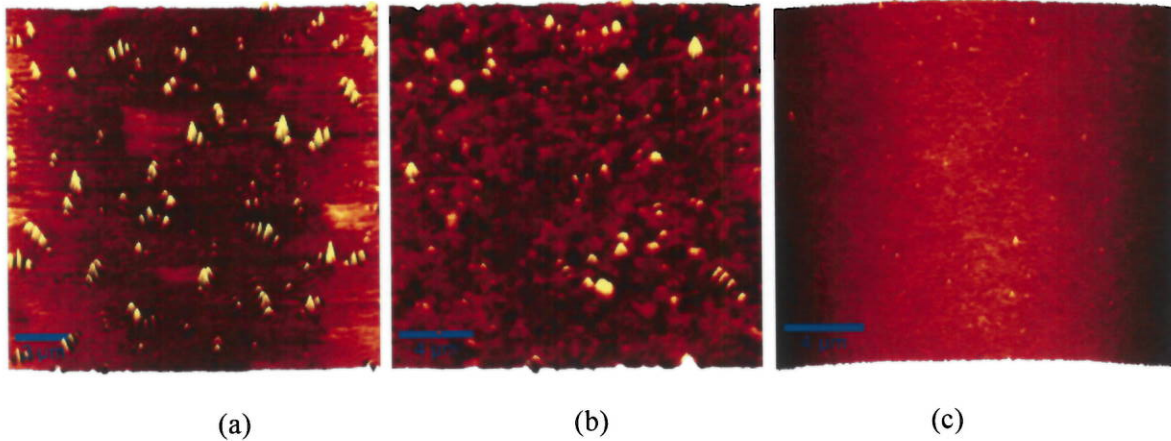


Figura 18. Análisis de fuerza atómica realizados para observar la rugosidad de las muestras en: (a) asfalto modificado con caucho, (b) asfalto modificado con polietileno y (c) asfalto modificado con empaques de alimento de conejo.

## 5. CONSERVACIÓN VIAL

### 5.1. Estudio Bibliográfico de Sellos Asfálticos

**Objetivo:** Proveer el soporte técnico relacionado con los conceptos teóricos y prácticos, de la utilización de los sellos asfálticos, para la mejorar la aplicación de esta alternativa de preservación en Costa Rica.

Se considera importante que en nuestro país se inicie la revisión y estudio de las ventajas y desventajas de la aplicación de la técnica de sellos asfálticos para el tratamiento de grietas en pavimentos flexibles. Debido a estas razones es importante profundizar en el conocimiento de esta técnica, en sus posibles usos y especificaciones para poder aplicarla correctamente en nuestro medio. También es necesario realizar una revisión de los ensayos de laboratorio que se utilizan para la caracterización del desempeño de estos sellos.

Luego, de la conceptualización de esta alternativa, es necesario hacer hincapié en los procesos constructivos que produzcan un desempeño adecuado de esta técnica, esto implica, el uso de equipo especializado de colocación, entre otros cuidados.

Se cuenta con una base de datos de más de 22 documentos, además de la experiencia ganada en el desarrollo del manual de sellos de lechada asfáltica. Para poder darle impulso a este tema se propuso como tema de tesis pero no hubo respuesta por parte de algún estudiante.

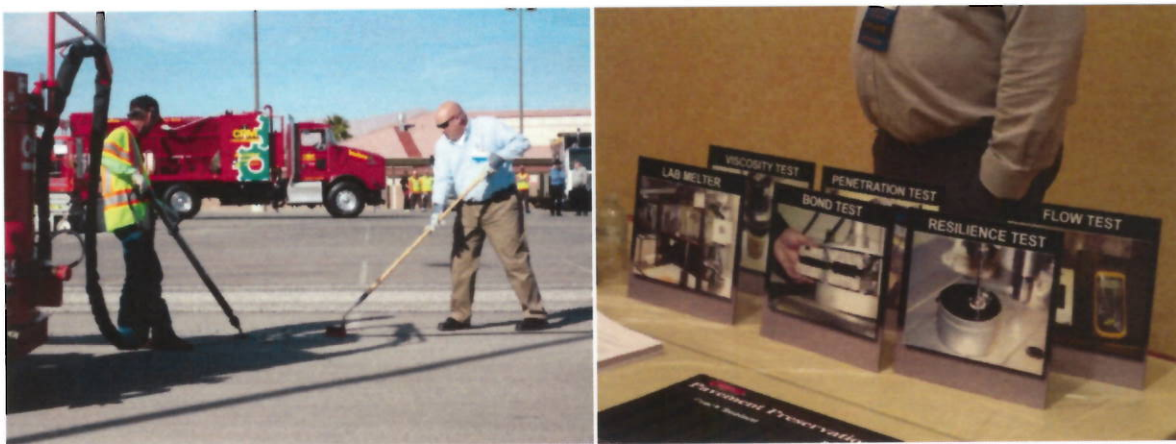


Figura 19. Sellos de lechada asfáltica.

## 5.2. Tratamientos Superficiales Chip Seals

**Objetivo:** Proponer una metodología para el diseño y evaluación del desempeño de Tratamientos Superficiales.

Los Tratamientos Superficiales utilizados actualmente en Costa Rica por lo general son colocados sin un diseño previo, se utilizan métodos artesanales de selección de materiales y cantidades. Las especificaciones vigentes establecidas en el Manual de especificaciones para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010, poseen rangos de dosificaciones recomendadas establecidas por países donde las condiciones climáticas y las propiedades de los materiales son distintas a las presentadas en el país, por lo que es importante realizar un estudio para mejorar las prácticas utilizadas actualmente en el país para asegurar la vida útil de estos sellos.

Se estudió la técnica y los materiales utilizados en Costa Rica para la aplicación de Tratamientos Superficiales desde el punto de vista teórico. Luego se adaptaron los ensayos que miden el desempeño de la lechada asfáltica (Slurry Seal) a los Tratamientos Superficiales: abrasión en pista húmeda y exudación en la rueda cargada. Se aplicaron distintos métodos de diseño de Tratamientos Superficiales para los materiales utilizados en Costa Rica. Una vez realizados los ensayos de laboratorio se compararon los resultados obtenidos de diseño y desempeño con las dosis recomendadas por el Manual de especificaciones para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010. Adicionalmente, se comparó el desempeño de los Tratamientos Superficiales utilizando asfalto modificado, lo que apoya la valoración de la ventaja de utilizar emulsión modificada con polímeros en Tratamientos Superficiales. Finalmente se están preparando recomendaciones sobre una dosificación que permitan obtener un desempeño óptimo de los Tratamientos Superficiales.



Figura 20. Evaluación de chip seals

### 5.3. Análisis de la distribución de tamaños de partículas y pH y su correlación con ensayos de control de calidad

**Objetivo:** Dar a conocer las experiencias en la fabricación de emulsiones asfálticas en laboratorio, así como comprender mejor como estas se comportan cuando son almacenadas para su posterior utilización, y más precisamente su estabilidad en el tiempo.

A nivel mundial existe una tendencia a utilizar cada vez más emulsiones asfálticas, debido a sus enormes ventajas sobre las mezclas en caliente convencionales, además de que su rango de aplicaciones es muy variado, desde riegos de liga (tack coat) hasta aplicaciones de preservación de pavimentos como sellos de lechadas asfálticas (slurry seal) y microcapas (microsurfacing). Su baja viscosidad a bajas temperaturas implica que en los procesos de mantenimiento y construcción hay menos emisiones de sustancias contaminantes al ambiente, menor consumo de energía, reducción en el envejecimiento del asfalto y una manipulación más segura. En Costa Rica todavía el uso de emulsiones asfálticas es limitado, y por ende su conocimiento a nivel de fabricación, almacenamiento y aplicación en campo es incipiente.

Dado que las emulsiones por ser sistemas termodinámicamente inestables, tienden a entrar en proceso de floculación y coalescencia eventualmente, y es por eso que, estudiar la estabilidad de las emulsiones es tan importante, ya que va incidir de manera directa en los procesos de almacenaje, transporte y aplicación en campo.

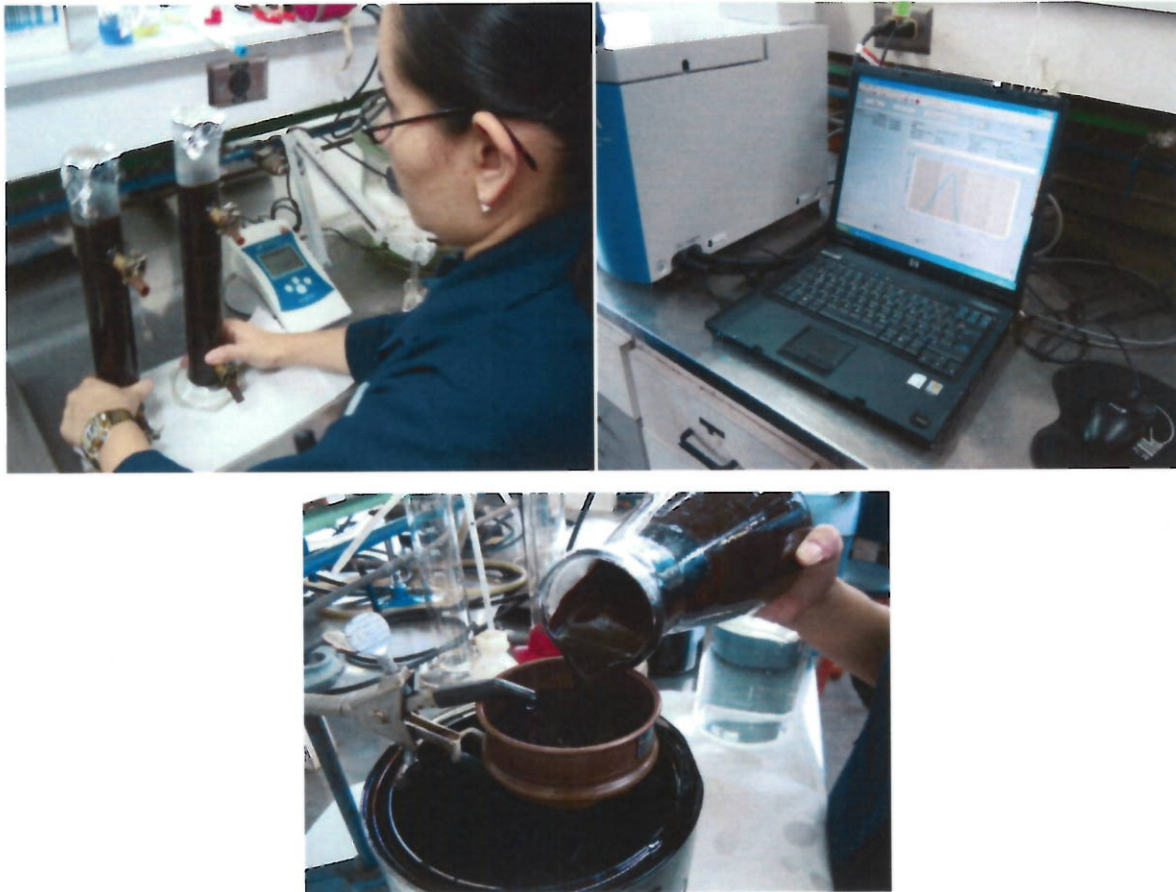


Figura 21. Ensayos de calidad en emulsiones asfálticas.

Actualmente, se están realizando mediciones de laboratorio para medir distintas propiedades que se pueden asociar a la estabilidad de la emulsión.

#### 5.4. Materiales Estabilizados con Emulsión

**Objetivo:** Preparar una guía de diseño para la estabilización de una base granular con emulsión de rompimiento lento.

Los materiales granulares son utilizados en carreteras como una capa intermedia dentro de la estructura del pavimento, sin embargo, debido a que en ocasiones su resistencia no cumple con los requerimientos mínimos para soportar las cargas de tránsito esperadas, es necesario recurrir a un mejoramiento de la misma con algún aditivo que aumente dicha resistencia. Algunos de los aditivos utilizados regularmente para mejorar la resistencia de las bases granulares son la cal y el cemento,

aunque, no en todos los casos es posible usarlos, dado que no todas las características del material es posible mejorarlas con estos dos rellenos minerales. Por lo que una forma de lograr que bases granulares con bajas resistencias de plasticidad y con granulometrías específicas puedan funcionar además de bases como capa intermedia, sino también como capas de rodamiento para bajos volúmenes de tránsito, es el utilizar emulsión asfáltica como un componente de bajo costo y práctico en el mejoramiento de este tipo de materiales.

Actualmente en el país se conoce poco acerca del uso adecuado de estos materiales y principalmente las tasas de dosificación de la emulsión asfáltica sobre las bases granulares para lograr la resistencia requerida. Por lo que es importante contar con una guía de diseño de las bases granulares estabilizadas con emulsión como una alternativa a la estabilización de estos materiales con cal y cemento que típicamente se usan para este fin.

Por tanto, se está desarrollando una guía de diseño que sirva de base para la escogencia de materiales y dosificación de la emulsión asfáltica en la preparación de bases granulares estabilizadas con emulsión tanto a nivel de laboratorio como en campo.



Figura 22. Caracterización de la base granular.



Figura 23. Preparación de especímenes Marshall con material de base estabilizada con emulsión.

## 6. ENSAYOS A ESCALA NATURAL

### 6.1. Implementación de ensayos acelerados de carga sobre pistas a escala natural, puesta en marcha del HVS y primer ensayo formal del HVS

**Objetivo:** Definir las actividades de trabajo a seguir para la puesta en funcionamiento e implementación de ensayos acelerados sobre pavimentos mediante el uso del Simulador de Carga Pesada (HVS por sus siglas en inglés) dentro del PaveLab.

En esta primera etapa se realizará una comparación estructural en términos de espesores de mezcla asfáltica y tipo de material de base (granular vs. estabilizado con cemento) manteniendo el resto de variables constantes. Adicionalmente, se pretende determinar el factor de daño equivalente causado por cargas superiores a la carga estándar de 40 kN. La construcción de los primeros tramos experimentales se realizó en mayo del 2013 y el inicio del primer ensayo está programado para finales de junio del mismo año.

Para estos ensayos se espera un rendimiento de 75000 pasadas (bidireccional) por semana (15000 por día - 5 días a la semana) de forma conservadora. Para los tramos experimentales con base granular se planea realizar un ensayo en condición seca y un ensayo en condición húmeda con ciclos de simulación de agua superficial basados en registros climáticos de lluvia para el valle central.





Figura 24. Construcción de capas de base



Figura 25. Estructura finalizada y tramos demarcados

Como complemento al equipo HVS, se requiere de instrumentación para poder realizar todas las mediciones de respuesta deseadas, así como la recolección de la información generada por el HVS. Los sensores de presión se colocaron a nivel de subrasante en la interface con la subbase granular. Los sensores de deformación se colocaron en la interface base/capa asfáltica en el sentido longitudinal o desplazamiento de la carga y en el sentido transversal o perpendicular al desplazamiento de la carga. La instalación de los sensores de deflexión fue diseñada para 4 profundidades: una en cada interface y 1 sensor 300 mm dentro de la subrasante. En cuanto a las termocuplas, se instalaron a 4 profundidades: una a nivel de superficie, otra a media profundidad de la capa asfáltica, otra a nivel de los sensores de deformación y la última a 5 cm de profundidad de la capa de base.



Figura 26. Instalación en sitio de instrumentación

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

## 6.2. Evaluación del desempeño de pavimentos asfálticos en el largo plazo

**Objetivo:** Evaluar el comportamiento y deterioro de pavimentos en el campo, a lo largo de su vida útil.

Este proyecto busca analizar el comportamiento en el tiempo de un grupo de 11 tramos de pavimento especialmente seleccionados por sus características en la primer etapa del proyecto. Este análisis será realizado mediante la comparación de las características, indicadores, componentes, resultados de ensayos de campo y laboratorio, entre otros. En la segunda etapa del proyecto se recabará la información disponible de los tramos seleccionados, recurriendo a los datos recolectados durante las Evaluaciones de la Red Vial Nacional, por los procesos de Auditoría Técnica y otros que desarrolla el LanammeUCR.

El siguiente nivel del proyecto, la tercera etapa, consiste en generar información mediante los ensayos de laboratorio y ensayos en sitio, además de las visitas técnicas a los diferentes tramos para recopilar la información necesaria.

Informe LM-PI-UMP-R-001-13	Fecha de emisión: 24 de junio de 2013	Página 35 de 43
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



Figura 27. Diferentes tramos que forman parte del estudio.

En la última etapa del proyecto se realizará un análisis profundo de toda la información recolectada, y de cómo los diferentes indicadores cambien con el paso del tiempo. Adicionalmente, se desarrollaran factores de ajuste preliminares para los resultados obtenidos en el PaveLab, aunque se espera los mismo sean muy similares entre si.

El proyecto actualmente se encuentra en la segunda etapa, donde los tramos han sido identificados y se trabaja en la recolección de información adicional y la programación de los ensayos a realizar. La programación consiste en la recolección y caracterización de los materiales de los distintos sitios, y el monitoreo de desempeño mediante ensayos no destructivos a nivel de proyecto.

### 6.3. Análisis de la Serviciabilidad del Pavimento Mediante el Método de Diseño de la AASHTO: El Caso Costarricense

**Objetivo:** Determinar la relación que existe entre los parámetros subjetivos (percepción humana) de serviciabilidad de un pavimento y los parámetros objetivos (IRI), para Costa Rica, utilizando la metodología aplicada por la AASHTO.

La Serviciabilidad es un indicador que representa el nivel de comodidad y seguridad que un pavimento proporciona a sus usuarios. Esta opinión subjetiva está relacionada con aspectos objetivos que pueden ser medidos en la superficie de un pavimento. Esta investigación apunta específicamente a definir un modelo matemático que permita establecer la curva de PSI para condiciones del medio nacional, basándose en los resultados obtenidos de un panel de evaluadores, que representan al usuario promedio, y la correlación existente entre esa percepción del “confort” con los datos de regularidad superficial y condición de deterioros superficiales de las vías.

Dicha percepción se midió inicialmente en varios tramos de carretera con valores de IRI (Índice de Regularidad Superficial) distintos, a través de una encuesta en donde el evaluador indicaba en una escala del 1 al 5 (1: Muy bueno hasta 5: Muy Malo) su confort al transitar por dicha vía. Con base en la información recolectada se desarrollo un modelo matemático que permite el cálculo del Índice de Serviciabilidad utilizando como única variable el IRI. Dentro de los resultados se observó que el nivel de tolerancia del usuario Costarricense es mucho más alto que el de su respectivo par en Estados Unidos (donde se generó el modelo AASHTO). Además de la importancia de ampliar con más panelistas la información para el cálculo del modelo.

Ya se realizaron todas las mediciones necesarias para la generación del modelo matemático. En este momento se está generando el informe donde se resumen las actividades realizadas y los resultados obtenidos así como el modelo que predecirá el valor de la Serviciabilidad para Costa Rica.

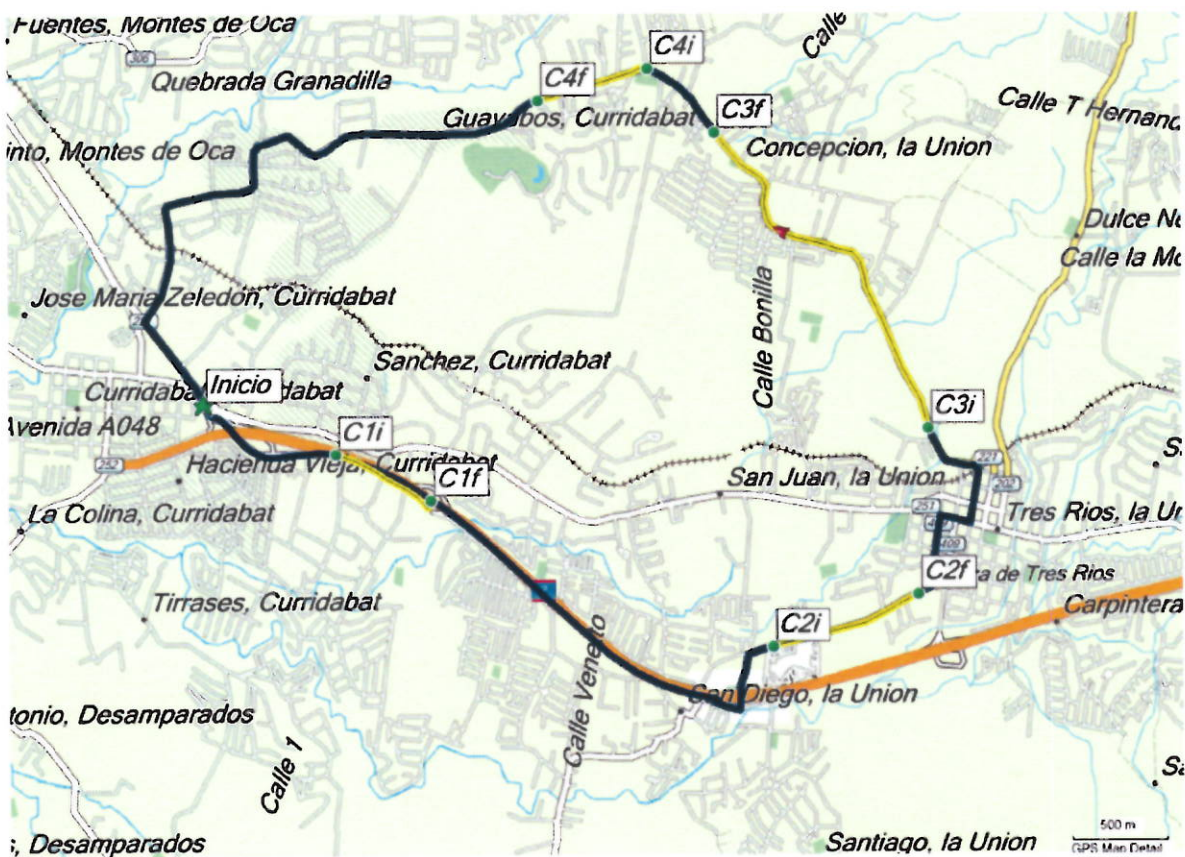


Figura 28. Tramos de calibración.

## 7. MODELACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

### 7.1. Configuración de carga: Análisis con Elemento Finito. Parte 1

**Objetivo:** Analizar la influencia de las configuraciones de carga: eje sencillo dual, tándem, y tridem sobre el comportamiento mecánico de las estructuras de pavimento flexible típicas en Costa Rica ante distintas condiciones de carga, por medio de la metodología de elemento finito.

Este proyecto fue definido como investigación complementaria a la Línea de Investigación de Carga de la UMP. Es la primera de las investigaciones en análisis con elemento finito que se plantea hacer en esta temática. Se parte de los datos generados en la encuesta de carga de las estaciones de pesaje móvil que fueron facilitados por el Departamento de Pesos y Dimensiones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, y en resultados desarrollados por la UMP.

Esta investigación pretende analizar los resultados obtenidos por medio de la encuesta de carga, de manera que se comprendiera de forma adecuada la respuesta del pavimento (por ejemplo: esfuerzos, deformaciones y deflexiones) ante distintas condiciones de carga con respecto al tipo de eje. En la Figura siguiente es posible observar un esquema del modelo utilizado, y las líneas en que se estudiaron las respuestas de la estructura.

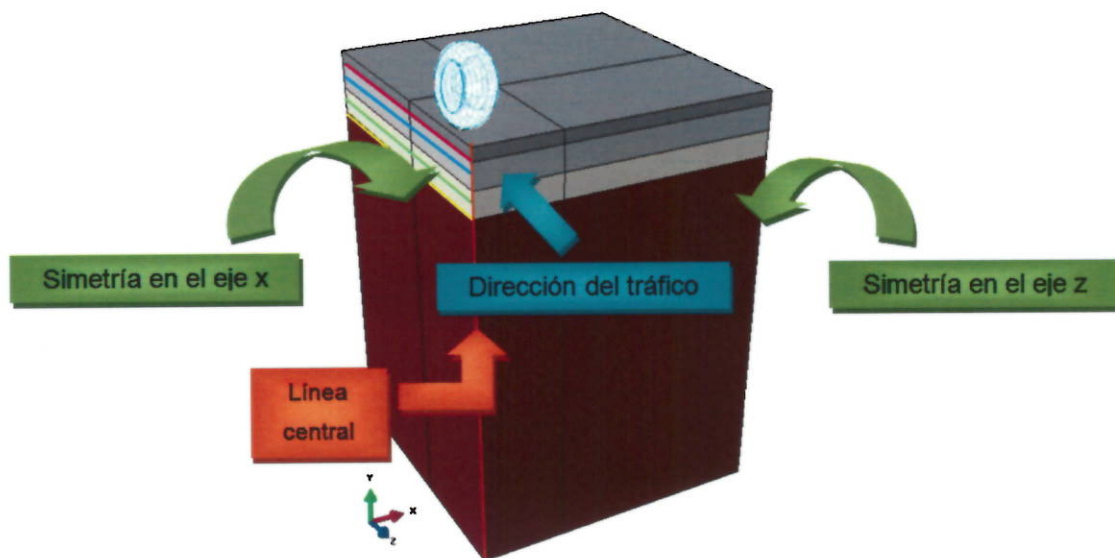


Figura 29. Toma de datos. Línea amarilla: fibra superior de la subrasante. Línea verde: intermedio de la subrasante. Línea azul: intermedio de la base granular. Línea roja: fibra inferior de la carpeta.

Este esfuerzo es parte del desarrollo de herramientas fundamentales necesarias para la formulación y aplicación de parámetros necesarios para la formulación de la Guía Mecánico-Empírica de Diseño de

Costa Rica, que será un paso muy importante en la mejora de la calidad de las obras de infraestructura vial del país.

El proyecto ha sido finalizado recientemente. De esta investigación se determina que realmente existe interacción de los bulbos de esfuerzos de las llantas de los ejes tándem y tridem entre sí. Además, que las diferentes configuraciones de eje reproducen respuestas similares ante condiciones de carga y área distinta, lo que es de esperarse. Sin embargo también surge entonces la necesidad de analizar los ejes que rigen el diseño de los pavimentos en Costa Rica, ya que generalmente van con una carga superior a la recomendada, lo que ocasiona un deterioro acelerado de los pavimentos, por lo tanto, se propone un segundo informe que contemplará este aspecto.

## 7.2. Análisis de sensibilidad sobre la modelación de carga en Costa Rica

**Objetivo:** Analizar la sensibilidad de las respuestas de los pavimentos flexibles, con respecto al tipo de configuración de carga que rigen el diseño en Costa Rica.

Dos factores que gran influencia en los costos de mantenimiento de los pavimentos en cualquier país son la cantidad y tipo de vehículos que transitan por carretera. Ciertos vehículos rigen el diseño de las estructuras de pavimento. En Costa Rica se logró demostrar, por medio del análisis de los espectros de carga, que estos vehículos son los clasificados como C2, T3-S3 y T3-S2.

Esta investigación pretende analizar la forma en que cada una de las configuraciones de carga mencionadas anteriormente, influye dentro de las estructuras de pavimento, con la finalidad de observar de una manera más acercada a la realidad, como pueden afectar las carreteras costarricenses, logrando de este modo concientizar a los entes involucrados en el área, con respecto a la forma en que las estructuras de pavimentos se ven afectadas, por permitir que este tipo de vehículos circulen por el país y la importancia de restringir su paso.

Ya se ha visto en otros países, que por esta característica este tipo de vehículos certeramente están siendo sacados de circulación, y que por tal condición, podrían finalmente terminar ingresando a nuestro país, como una oportunidad económicamente viable para los transportistas de carga. No obstante, esto conlleva a un deterioro acelerado de las carreteras de Costa Rica y un impacto en la eficiencia del sistema de infraestructura vial.

A la fecha se han realizado encuestas a profesionales involucrados en la ingeniería de pavimentos y se está analizando la información de los espectros de carga de estructuras de pavimentos costarricenses.



### 7.3. Influencia de las propiedades mecánicas cohesión y ángulo de fricción en el diseño de mezclas asfálticas

**Objetivo:** Analizar por medio de la metodología del elemento finito, en conjunto con ensayos de laboratorio, los problemas asociados con el daño por humedad y la deformación permanente de mezclas asfálticas costarricenses.

Esta investigación está dirigida a estudiar por medio de modelación con la metodología del elemento finito y calibración de laboratorio la susceptibilidad al daño por humedad y deformación permanente en mezclas asfálticas. Esto con la finalidad, de proponer una metodología de diseño de mezcla similar a la metodología de Smith, poco conocida y sin uso, considerando en este caso los efectos de la temperatura dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla.

En las siguientes figuras es posible observar el cuarto del modelo del Ensayo Marshall que actualmente está en desarrollo, y que será utilizado para esta investigación, junto con las dimensiones del equipo establecidas por la norma.

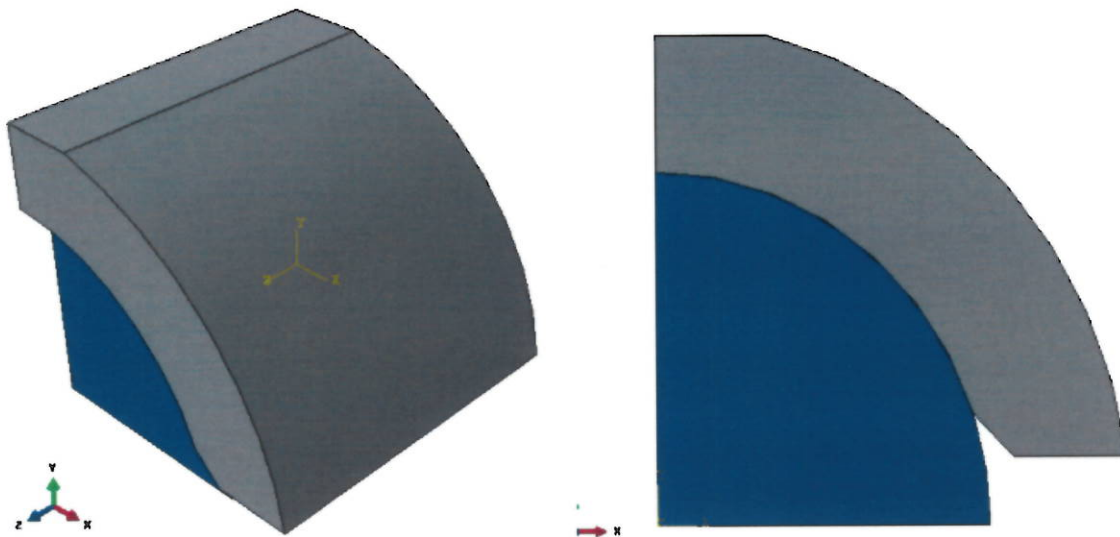


Figura 30. Geometría del modelo Marshall en elemento finito

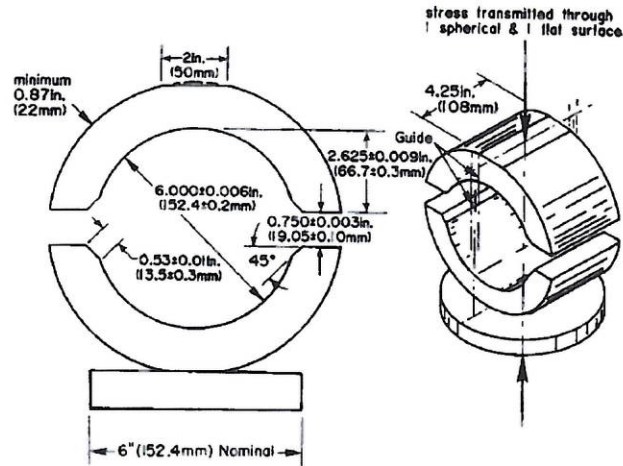


Figura 31. Dimensiones Normadas del Ensayo Marshall (ASTM D5581-07).

El proyecto se encuentra en desarrollo. El componente de laboratorio se ha finalizado: fallas de las pruebas Marshall a diferentes temperaturas y tasas de aplicación de la carga, para mezcla traída de planta. También está en desarrollo, el modelo de análisis en el software de elemento finito.

#### 7.4. Interfaz de cálculo para la curva maestra de módulo dinámico

**Objetivo:** Desarrollar una interfaz de cálculo numérico para la construcción de la curva maestra de módulo dinámico de mezclas y asfaltos.

Esta investigación, fue definida con el fin de desarrollar un software de cálculo numérico que permita, de una manera sencilla y confiable, el cálculo del valor de módulo dinámico de la mezcla y del asfalto, dependiente de la temperatura y tasa de aplicación de la carga.

El cálculo de un valor de módulo adecuado, es un insumo fundamental en el diseño y análisis de desempeño de estructuras de pavimento flexible, la caracterización de las curvas maestras que permiten determinarlo, es un elemento que debería estarse llevando a cabo en la práctica actualmente.

IMoDin 1.1 (Interfaz de cálculo del Módulo Dinámico), es una interfaz gráfica de cálculo, que pretende dar a los profesionales involucrados, una opción sencilla, aplicable, amigable, accesible, y de uso libre, para la obtención y análisis de este valor.

Esta interfaz construye la curva maestra de módulo dinámico de la mezcla y del asfalto. Además una serie de gráficos de control de inicio, por medio de los cuales se puede revisar la idoneidad de los datos de ensayo, junto con la posibilidad de obtener las Series de Prony para otros tipos de análisis.

Se espera que IMoDin 1.1 tenga la posibilidad de utilizar en su cálculo diferentes ecuaciones generales de construcción de la curva maestra como lo son: Sigmoidal, Christensen-Anderson (CA), Christensen-Anderson-Marasteanu (CAM), Christensen-Anderson-Sharroock (CAS); y de ajuste, tales como:

Arrhenius, William Landel Ferry (WLF), y la del modelo Susceptibilidad Viscosidad Temperatura (VTS). Por el momento este programa está habilitado solamente para los cálculos correspondientes a las mezclas asfálticas. En la figura siguiente se puede observar una de las ventanas de esta interfaz, la cual muestra resultados del procedimiento de cálculo.

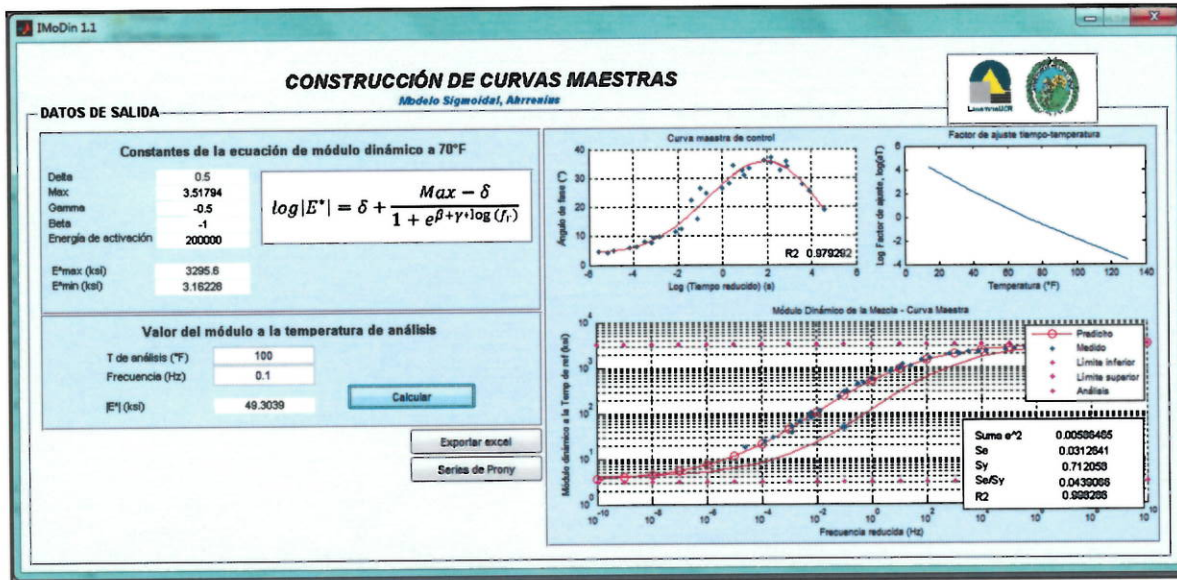


Figura 32. Cálculo de un valor específico de módulo

Se espera que a finales del primer semestre del 2013 se ponga a disposición de los profesionales en el área de pavimentos, una versión inicial que contempla el cálculo de la curva maestra de módulo dinámico para mezclas específicamente, posteriormente se ampliará el alcance de la interfaz a asfaltos.