



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Resumen: LM-PI-UMP-R-001-16

AVANCE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2016

San José, Costa Rica
Junio, 2016

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

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



Información técnica del documento

1. Resumen LM-PI-UMP-R-001-16		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: AVANCE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2016		4. Fecha del Informe JUNIO, 2016
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <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 uno de los proyectos mencionados.</i> <i>Todo lo anterior según lo establecido por Decreto No. 37016 - MOPT.</i>		
10. Palabras clave Proyectos de Investigación, Materiales y Pavimentos, LanammeUCR	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 80
13. Preparado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos <hr/> Fecha: 24 / 06 / 16	Ing. Diana Jiménez Romero, MSc Coordinadora Unidad de Seguridad Vial y Transportes <hr/> Fecha: 24 / 06 / 16	Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador Unidad de Puentes <hr/> Fecha: 24 / 06 / 16
		14. Aprobado por: Ing. Luis Guillermo Loría, PhD Coordinador General PITRA <hr/> Fecha: 24 / 06 / 16



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	
2. MEZCLAS ASFÁLTICAS	
2.1. DAÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS	5
2.2. PAVIMENTOS VERDES	7
3. MATERIALES GRANULARES Y SUELOS	
3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS DE COSTA RICA	9
3.2. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO EN TRAMOS DE PRUEBA	11
4. CIENCIA DE MATERIALES	
4.1. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ADHESIVAS DEL ASFALTO	13
4.2. ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO DE LA OXIDACIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DAÑO POR HUMEDAD DE ASFALTOS	14
4.3. USO DE ADITIVOS RETARDADORES DE LA OXIDACIÓN EN LIGANTES ASFÁLTICOS	16
4.4. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	17
4.5. COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA CUANTIFICAR LOS COMPONENTES SARA DEL ASFALTO	19
4.6. MÉTODO DE ENSAYO PARA CUANTIFICAR LA DOSIS DE SBR Y SBS QUE SE ADICIONA AL ASFALTO	21
4.7. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	22
4.8. ESPECTRO INFRARROJO DEL ASFALTO	23
4.9. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DEL RESIDUO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS	24
4.10. REOLOGÍA DE RESIDUOS DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	25
4.11. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS RESIDUOS DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	25
4.12. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DEL RESIDUO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS	26
4.13. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MICRO-MECÁNICAS DE LOS ASFALTOS	28
5. CONSERVACIÓN VIAL	
5.1. DISEÑO DE SELLOS DE LECHADA ASFÁLTICA Y MICROCAPA	31
5.2. GUÍA DE DISEÑO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS	32
5.3. DISEÑO DE MATERIALES GRANULARES CON ASFALTO ESPUMADO	34
5.4. DISEÑO DE MATERIALES GRANULARES CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	36
5.5. DISEÑO DE MATERIALES PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	38
5.5. IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE RIEGOS DE LIGA	40
5.6. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA BACHEO MEDIANTE TÉCNICA DE INYECCIÓN	42



6. GEOSINTÉTICOS	
6.1. DOSIFICACIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO PARA USO DE GEOSINTÉTICOS EN PAVIMENTOS	46
6.2. TÉCNICAS DE COLOCACIÓN DE GEOSINTÉTICOS PARA REFUERZO DE PAVIMENTOS.....	48
7. ENSAYOS A ESCALA NATURAL	
7.1. ENSAYOS ACELERADOS DE CARGA SOBRE PISTAS A ESCALA NATURAL DE PAVIMENTO.....	50
7.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA CLIMÁTICA PARA EL “HEAVY VEHICLE SIMULATOR” (HVS).....	52
7.3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL LARGO PLAZO	54
7.4. ANÁLISIS DE LA PRESIÓN DE INFLADO EN EL DESEMPEÑO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN COSTA RICA	55
7.5. IRI EN PROYECTOS DE REHABILITACIÓN	56
8. MODELACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS	
8.1. HERRAMIENTA PARA DISEÑO MECÁNISTICO-EMPÍRICO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PITRA-ME	57
8.2. HERRAMIENTA PARA CÁLCULO DE RESPUESTAS MECÁNICAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES PITRA-PAVE.....	58
8.3. HERRAMIENTA RETROCÁLCULO Y DISEÑO DE SOBRECAPAS EN PAVIMENTOS	60
8.4. HERRAMIENTA PARA DISEÑO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS CR-ME.....	62
9. INGENIERÍA DEL TRANSPORTE Y SEGURIDAD VIAL	
9.1. DIAGNÓSTICO SOBRE MOVILIDAD CICLISTA	64
9.2. DIAGNÓSTICO SOBRE TRANSPORTE PÚBLICO	65
9.3. ENTORNO URBANO Y MOVILIDAD ACTIVA	66
9.4. GUÍA DE DISEÑO PARA FACILIDADES PEATONALES: CASO DE ESTUDIO EN SAN PEDRO DE MONTES DE OCA.....	67
9.5. DESEMPEÑO DE LA DEMARCACIÓN VIAL HORIZONTAL EN COSTA RICA A TRAVÉS DEL PARÁMETRO DE LA RETRORREFLECTIVIDAD	69
9.6. GUÍA BÁSICA PARA UN PLAN DE CONTINGENCIA VIAL. CASO: COLAPSO DE LAS ALCANTARILLAS DE LOS RÍOS OCLORO Y QUEBRADA LOS NEGRITOS SOBRE LA CARRETERA DE CIRCUNVALACIÓN (RUTA 39).....	71
9.7. ANÁLISIS DE MOVILIDAD PEATONAL ENTRE LAS FINCAS DE LA SEDE RODRIGO FACIO PARA MEJORAR SU SEGURIDAD VIAL	72
9.8. COSTOS DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN COSTA RICA DURANTE EL 2012	74
9.9. UTILIZACIÓN DEL VEHÍCULO COMPARTIDO PARA VIAJAR A LA SEDE RODRIGO FACIO EN LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA	75
9.10. ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE MANTENIMIENTO EN CAMPO PARA SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR DE USO EN COSTA RICA.....	76
9.11. PROPUESTA DE CRITERIOS PARA LA REGULACIÓN DEL USO E INSTALACIÓN DE VALLAS DIGITALES EN LA RED VIAL DE COSTA RICA.....	77
10. PUENTES	
10.1. MONITOREO DE PUENTES	79
10.2. OTROS PROYECTOS.....	79



1. INTRODUCCIÓN

El presente documento pretende resumir las actividades en las que ha estado trabajando 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 busca brindar una guía general sobre los temas y actividades que se están realizando, así como un resumen del estado de avance de los proyectos al finalizar el segundo semestre del 2016. El informe no pretende presentar el detalle de cada uno de los proyectos o actividades, pero sí dar un panorama general de la investigación que se está desarrollando en el LanammeUCR en atención al inciso g) de la Ley 8114.

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

2. MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. Daño por humedad en mezclas asfálticas

Objetivo: Desarrollar una metodología de laboratorio para cuantificar la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas para las condiciones propias de Costa Rica.

El ensayo de Lottman modificado fue adoptado por el sistema Superpave como el método requerido para determinar el daño por humedad, lo cual lo ha convertido en el procedimiento más utilizado para evaluar la susceptibilidad a este tipo de deterioro. Sin embargo, se trata de un ensayo empírico que tiende a dar falsos negativos o positivos en la predicción de la susceptibilidad al daño por humedad. Las principales preocupaciones con esta prueba son su reproducibilidad y su capacidad de predecir la susceptibilidad a la humedad con una confianza razonable. Este proyecto busca desarrollar un protocolo de ensayo que incorpore los parámetros y condiciones dominantes del daño causado por la presencia de humedad en mezclas asfálticas, con el fin de reflejar en laboratorio de mejor manera el comportamiento experimentado en el campo.

La evaluación del desempeño mediante ensayos de laboratorio se realiza en dos fases:

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 5 de 80
----------------------------	---------------------------------------	----------------



FASE I: Evaluar la susceptibilidad de las mezclas al daño por humedad con las siguientes técnicas:

AASHTO T283, Resistencia retenida a tensión diametral (RRTD) para 1, 3 y 6 ciclos de acondicionamiento.

AASHTO TP79, Módulo dinámico para 1, 3 y 6 ciclos de acondicionamiento.

AASHTO TP79, Flow number para 1, 3 y 6 ciclos de acondicionamiento.

FASE II: Seleccionar las mezclas con mejor desempeño para resistencia al agrietamiento por fatiga (AASHTO T321) con envejecimiento a largo plazo.

Estos ensayos se realizan para doce tipos diferentes de mezcla: control, SBS, antidesnudante, cal, SBS+antidesnidante y SBS+cal, todas para tamaños máximos nominales de agregado de 9.5 y 12.5 mm. Estas doce mezclas se evaluarán para 3 fuentes de agregado con distintos desempeños conocidos ante el daño por humedad.

A la fecha, para la primera de las tres fuentes de agregado propuestas para este proyecto, se han completado todos los ensayos correspondientes a las fases I y II. Las mezclas seleccionadas para la fase II fueron: control, SBS, SBS+antidesnudante y SBS+cal, para ambos tamaños máximos nominales de agregado.

Para la segunda fuente, se han completado los ensayos de fase I, con la excepción del ensayo de módulo dinámico para la mezcla de 9.5 mm con SBS + cal.



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Equipos de ensayo para las fases I (tensión diametral (a), módulo dinámico y flow number (b)) y II (fatiga a flexotracción (c)).

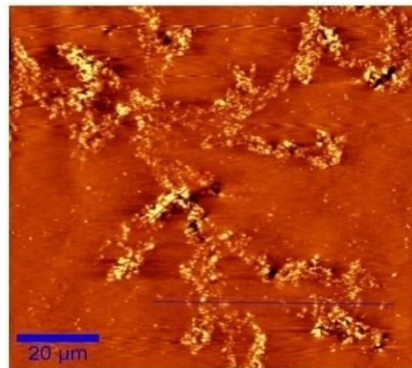
2.2. Pavimentos Verdes

Objetivo: Analizar el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con materiales de desecho, como posibles mejoradores del desempeño.

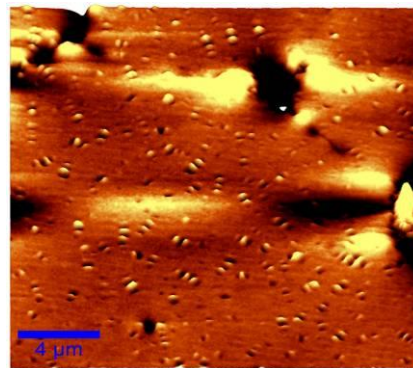
Se ha continuado con la investigación relacionada al efecto de modificar el asfalto, y la mezcla asfáltica, con materiales de desecho. Lo anterior es un proyecto de gran importancia en aras de cumplir con los objetivos de Carbono Neutralidad que el país ha definido para los próximos años: el control de materiales de desecho es complejo, generando que en muchos casos estos sean descartados de formas no adecuadas para con el ambiente.

A la fecha se ha trabajado analizando asfaltos y mezclas asfálticas modificadas con materiales de desecho, tales como: bolsas plásticas (polietileno de baja y alta densidad), el bumper (desecho de parachoques de automóviles), el polipropileno, estereofón, espuma de polietileno, residuos de billetes fuera de circulación del Banco Central y caucho triturado con el fin de contribuir a la reutilización de este tipo de desechos y directamente mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas. Adicionalmente, se está incursionando en el estudio de materiales biodegradables como biopolímeros y antioxidantes también.

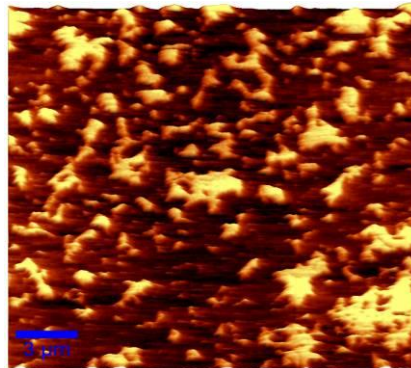
La investigación se fundamenta en la caracterización del asfalto modificado y la posterior verificación del desempeño en la mezcla asfáltica diseñada según las metodologías de diseño más actualizadas (ej. Superpave). El contenido de modificante es diseñado de manera que se optimicen las propiedades del asfalto. De la misma manera, estos contenidos idóneos de material de desecho son verificados con base al comportamiento de la mezcla asfáltica. fue diseñado para determinar un contenido mínimo idóneo de modificante (material de desecho).



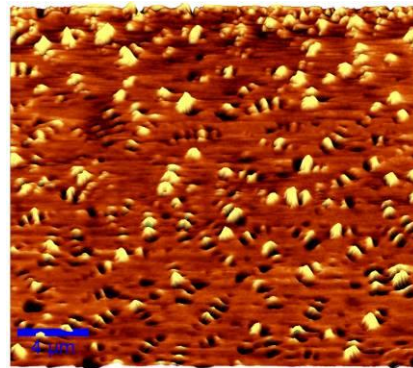
(a) Bolsa de Polietileno



(b) Caucho de Llanta



(c) Búmpер de Carro



(d) Estereofón

Figura 2. Morfología de algunos asfaltos modificados con materiales de desecho.



3. MATERIALES GRANULARES Y SUELOS

3.1. Caracterización Físico-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 Costa Rica existe gran variabilidad en los tipos de suelo existentes. 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 de comercio y por tanto de la economía nacional. Por tanto, 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 han muestreado suelos de alrededor de 92 puntos ubicados cerca de la Red Vial Nacional en la Zona de Guanacaste, Puntarenas, Zona Sur, Caribe, Zona Norte y Valle Central. Para todos estos suelos ya se cuenta con los resultados de la caracterización de Límites de Atterberg, Granulometría y de Análisis Termogravimétricos (TGA).

Actualmente se están analizando los resultados obtenidos de Termogravimetría para todas las muestras, con la finalidad de buscar un patrón que identifique minerales o características propias de los materiales, de acuerdo con su formación geológica. Además de está generando una base de datos en Microsoft Access, con el fin de identificar y comparar de una manera más expedita los resultados obtenidos.

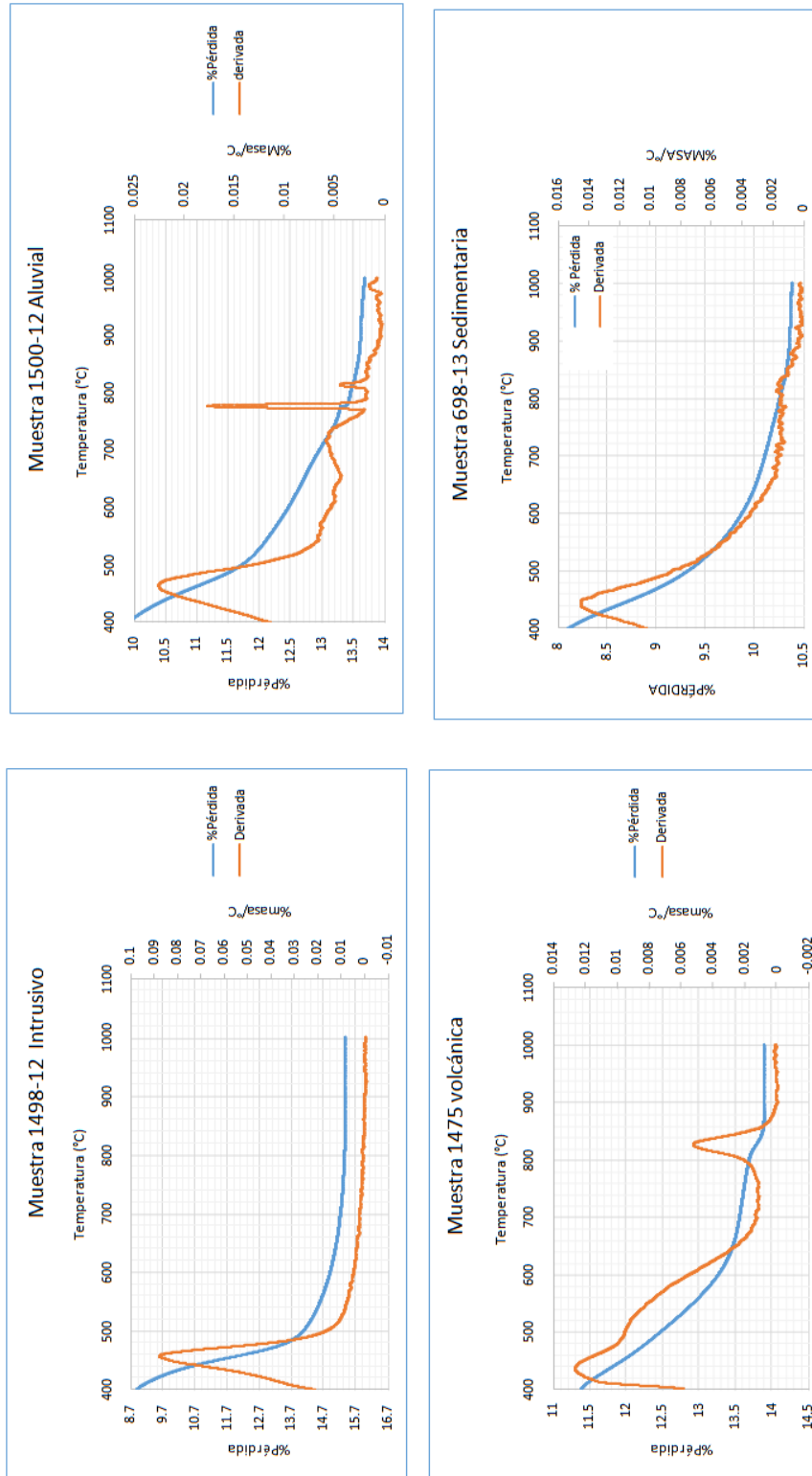


Figura 3. Comparación de la segunda derivada (Ensayo TGA), de 4 tipos diferentes de suelos



3.2. 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.

Actualmente se construyó el primer tramo en conjunto con la cementera Holcim y la Municipalidad de Cartago. El proyecto consta de 300 m en donde se utilizaron tres dosificaciones distintas, para el primer tramo de 100 m se utilizó un 5% de cemento, para el segundo un 7% y para el último un 9%, siendo el 7% el correspondiente al diseño óptimo para obtener una Base Estabilizada de 25 kg/cm².

El proyecto se ubica en la Calle La Caballeriza en el cantón central de Cartago. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados a la fecha en los tramos y algunas fotografías de la construcción.

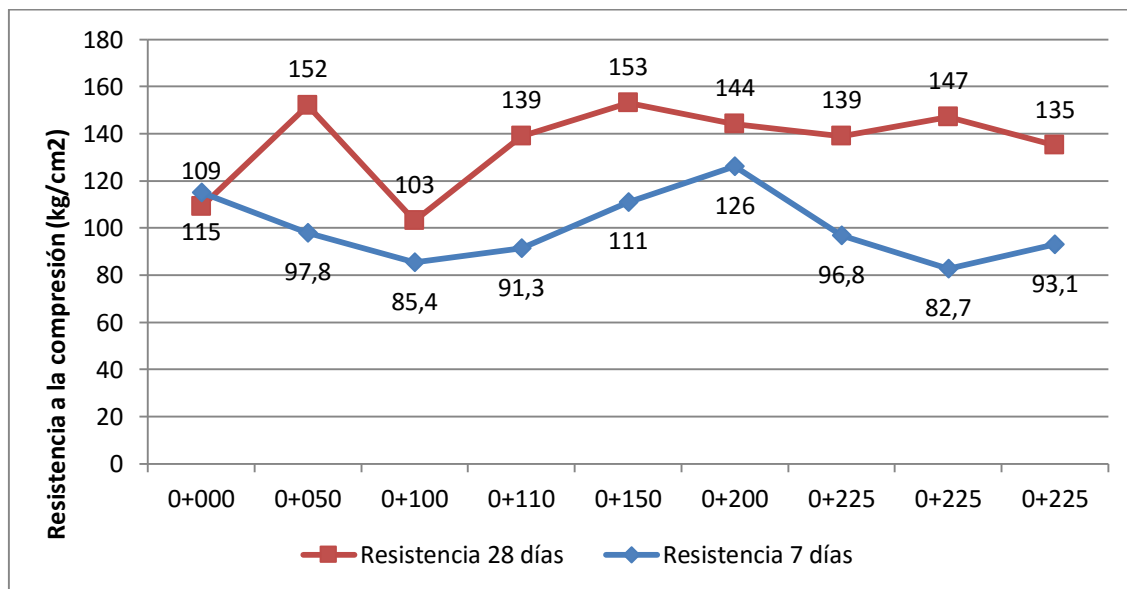


Figura 4. Resistencia de distintos estacionamientos a lo largo de los 300 m de construcción del tramo

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 11 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



(a) Colocación de la capa de base granular



(b) Colocación de los sacos de cemento



(c) Mezclado y conformación de la capa de base estabilizada



(d) Tramo terminado

Figura 5. Proceso constructivo del tramo estabilizado en Cartago

Se continuará con la evaluación del tramo en distintos momentos durante la vida útil con el fin de conocer la evolución del desempeño del mismo, y de esta forma 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 está trabajando 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. Adicionalmente, se prevé construir un tramo más en conjunto con la Municipalidad de Carrillo en Guanacaste y la colaboración de Cemex.



4. CIENCIA DE MATERIALES

4.1. Estudio de las propiedades adhesivas del asfalto

Objetivo: Estudiar las propiedades adhesivas de ligantes asfálticos mediante pruebas fisicoquímicas y mecánicas.

El proyecto consiste en analizar el proceso de adhesión entre el asfalto y el agregado. La investigación se basa en el estudio de las propiedades fundamentales de los materiales involucrados y cómo éstas afectan en el desempeño mecánico final de la mezcla asfáltica.

El comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica ante condiciones de alta humedad está dictado por las propiedades físicas y químicas de los materiales involucrados. Tales propiedades repercuten en los procesos de adhesión y de desnudamiento que tienen lugar en una mezcla asfáltica, los cuales son catalizadores de fallas significativas en el pavimento.

Se busca estimar la compatibilidad entre el asfalto y el agregado a partir de la energía superficial de ambos materiales, la cual se determina con un instrumento denominado goniómetro. Se espera que las combinaciones asfalto-agregado con alta compatibilidad tengan una mayor resistencia ante el daño por humedad. Los valores de la energía superficial de los asfaltos y agregados permiten estimar la susceptibilidad de las combinaciones asfalto-agregado ante la presencia del agua en la mezcla asfáltica.



Figura 6. Goniómetro

Con el fin de complementar las mediciones de energía superficial, se realizan ensayos mecánicos que evalúan la calidad de la adhesión entre el asfalto y el agregado, así como la susceptibilidad de la interfaz en presencia del agua. Entre los ensayos mecánicos empleados se encuentra la estimación de la fuerza adhesiva del bitumen con el instrumento P.A.T.T.I. (del inglés Pneumatic Adhesive Tensile Tester Instrument).

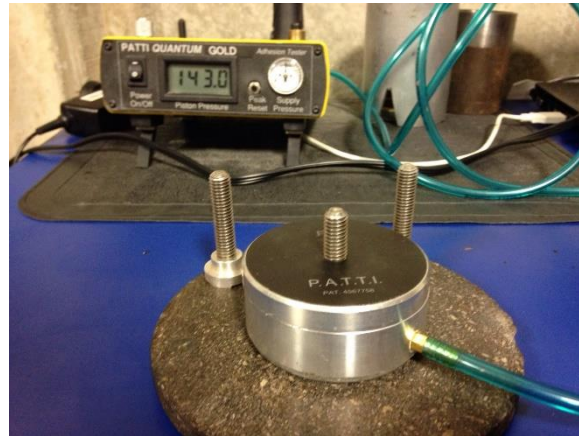


Figura 7. P.A.T.T.I.

Se espera que aquellas combinaciones con mejor compatibilidad tengan una mayor adhesión y, por tanto, una mejor resistencia ante la presencia de la humedad. La importancia del proyecto radica en generar conocimiento en cuanto a los procesos de adhesión y desnudamiento que tienen lugar en una mezcla asfáltica. Con tal conocimiento se está generando un criterio de selección que permite elegir a los materiales más adecuados para desempeñarse correctamente ante el daño por humedad.

4.2. Estudio fisicoquímico de la oxidación y su incidencia en el daño por humedad de asfaltos

Objetivo: Estudiar el proceso de oxidación del asfalto, ya sea por método natural o acelerado en el laboratorio y evaluarlo bajo distintos métodos de análisis físico-químicos, ponderando la incidencia de este fenómeno en el daño por humedad y evaluando cómo se afectan estas propiedades del ligante para tratar de predecir su comportamiento.

Previo al 2001, en Costa Rica el asfalto utilizado era del tipo AC-20, el cual presentaba problemas de deformación permanente evidentes en las paradas de autobús y zonas de tránsito lento y pesado. Este fenómeno hizo que se replanteara la necesidad de utilizar nuevos tipos de asfaltos para poder mitigar este problema. Con la reconstrucción de la pista del aeropuerto Juan Santamaría se utiliza por primera vez en el país un asfalto tipo AC-30, el cual es más viscoso y rígido que su antecesor, dando mejores resultados en lo que a deformación se refiere, pero se ha producido en nuestras carreteras un problema que puede ser aún más grave: el daño por fatiga, en cual incide directamente en la disminución de la vida útil de la carretera y en el índice de servicio de esta.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 14 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



Para el proyecto se expusieron muestras a la intemperie con el fin de exponerlas a condiciones de lluvia, radiación ultravioleta y calor. Se tiene como primera estación experimental el CTT del LanammeUCR y pronto se implementarán dos, en las sedes de la UCR en Liberia y Golfito.



Figura 8. Primera estación experimental de muestras en el LanammeUCR.

Se depositaron las muestras de asfalto en el molde de tal forma que el espesor de las mismas fuese de 1 mm aproximadamente. Las muestras presentan cambios en su morfología a pesar del poco tiempo de exposición de las mismas: en ellas se ve una diferencia en color y brillo de la parte expuesta directamente y de la parte inferior.



(a)



(b)

Figura 9. (a) Muestras para exposición a intemperie, (b) Diferencias en la morfología de las muestras en su parte inferior como superior en un mes a la intemperie.

Lo anterior se complementa con un estudio de las condiciones climáticas de Costa Rica; específicamente humedad, temperatura y radiación ultravioleta. Esto con el fin de formular una metodología para la evaluación de las muestras especificadas para este proyecto, de tal manera que se pueda dilucidar cambios físico-químicos generados en el proceso de oxidación.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 15 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



Se construirán las estaciones experimentales en las Sedes de Liberia y Golfito. Adicionalmente para simular este proceso en laboratorio se trabaja en la fabricación de un dispositivo de oxidación acelerado con condiciones controladas de temperatura, humedad y radiación ultravioleta, utilizando en su diseño los productos de las fases anteriores, con el fin de condicionar la muestra de forma idéntica como si estuviese en intemperie, pero en un menor tiempo.



Figura 10. Dispositivo de oxidación acelerado con condiciones controladas de temperatura, humedad y radiación ultravioleta..

4.3. Uso de aditivos retardadores de la oxidación en ligantes asfálticos

Objetivo: Evaluar el efecto de diversos aditivos antioxidantes como retardadores de la oxidación de ligantes asfálticos.

El presente proyecto consiste en utilizar aditivos funcionales que sean efectivos en retardar el proceso de oxidación del asfalto.

La oxidación es un proceso químico que, en el caso del asfalto, deteriora sus propiedades fundamentales, necesarias para su correcto desempeño. El asfalto que forma parte de una mezcla asfáltica en servicio está expuesto a una serie de factores ambientales, tales como el aire y la radiación ultravioleta. Tales factores son esenciales en las reacciones químicas de oxidación y, debido a que no es posible aislar a la mezcla asfáltica de dichas condiciones, la oxidación es inevitable y progresiva.

El proyecto propone diversos aditivos que funcionen a manera de antioxidantes en el asfalto. El mecanismo mediante el cual tales compuestos retardan la oxidación está relacionado con su estructura química. Entre los antioxidantes, se planteó el uso de vitaminas C y E y orujo, los cuales poseen una estructura química que reacciona con la radiación ultravioleta y evita la formación de compuestos



radicales que prolongan la oxidación. Por otro lado, se plantea el uso de aditivos conocidos como secuestradores de oxígeno, como el ácido cítrico, los cuales reaccionan con las especies reactivas de oxígeno, reduciendo su efecto oxidativo en el asfalto.

A manera de analizar la oxidación en el asfalto de manera acelerada, se empleará la recámara de oxidación mencionada en la sección 4.3, la cual cuenta con lámparas de radiación ultravioleta, temperatura ajustable y corriente de aire. Las condiciones dentro de esta recámara son más severas que las ambientales, con lo que se pretende simular en unos días la oxidación que tendría lugar en varios meses.

Adicional al uso de los antioxidantes, se pretende analizar el efecto del relleno mineral en el proceso de oxidación. Por tanto, se emplearán muestras de mortero (asfalto + agregado fino) que serán expuestas a la oxidación al ambiente y dentro de la recámara de oxidación acelerada. Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las muestras son analizadas en períodos determinados a lo largo del proceso de oxidación.

Con el conocimiento generado en este proyecto, es posible tener un panorama claro de los procesos de oxidación que deterioran al asfalto. Por tanto, es posible proponer y recomendar el uso de aditivos funcionales, de tratamientos preventivos, de mantenimiento y restauración en los pavimentos.

4.4. Determinación del efecto de la temperatura y el tiempo en las características del asfalto

Objetivo: Determinar el efecto de la alta temperatura en el asfalto a través de calentamiento en el horno de acondicionamiento de muestras y las temperaturas recomendadas para la modificación del asfalto en el recipiente de mezclado.

El proyecto tiene el propósito de cuantificar los cambios en las características reológicas y químicas del asfalto, como resultado de exponer muestras de asfalto a las temperaturas regulares de acondicionamiento de 135 °C ,150°C y 165 °C en el horno de acondicionamiento durante 2 horas, 3 horas y 4 horas. Debido al uso extendido del asfalto modificado y de los cambios en las condiciones de producción y almacenamiento, se acondiciona el asfalto en el recipiente de mezclado a las temperaturas y tiempos recomendadas por los fabricantes de los polímeros comerciales más utilizados. Se utilizan los tiempos y temperaturas de modificación del SBR a 170 °C durante 3 horas, del SBS 3:30 horas a 180 °C y del EVA a 190 °C durante 5 horas.

En cada una de las muestras acondicionadas a las temperaturas mencionadas, se envejecerá en el horno rotatorio de capa fina (RTFO, por sus siglas en inglés) y en el Recipiente de envejecimiento acelerado (PAV, por sus siglas en inglés).

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 17 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



La investigación se fundamenta en el efecto que podría tener la pérdida adicional de materia volátil del asfalto (o envejecimiento a corto plazo), como resultado del almacenamiento durante periodos a altas temperaturas, así como el efecto de las altas temperaturas durante largos periodos requeridos para la incorporación de polímeros al asfalto para mejorar el desempeño de los pavimentos.

A la fecha se han preparado todas las muestras y se realizaron las mediciones de composición química mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier y se analizaron todos los espectros. Están en proceso los análisis reológicos y se están repitiendo los MSCR que se habían realizado, debido a los cambios en los criterios de medición de la norma de referencia para la clasificación. Adicionalmente, se realizará la prueba LAS (linear amplitude sweep) a todos los asfaltos envejecidos en el PAV, para determinar su resistencia al daño después de su exposición a tiempos prolongados a altas temperaturas.

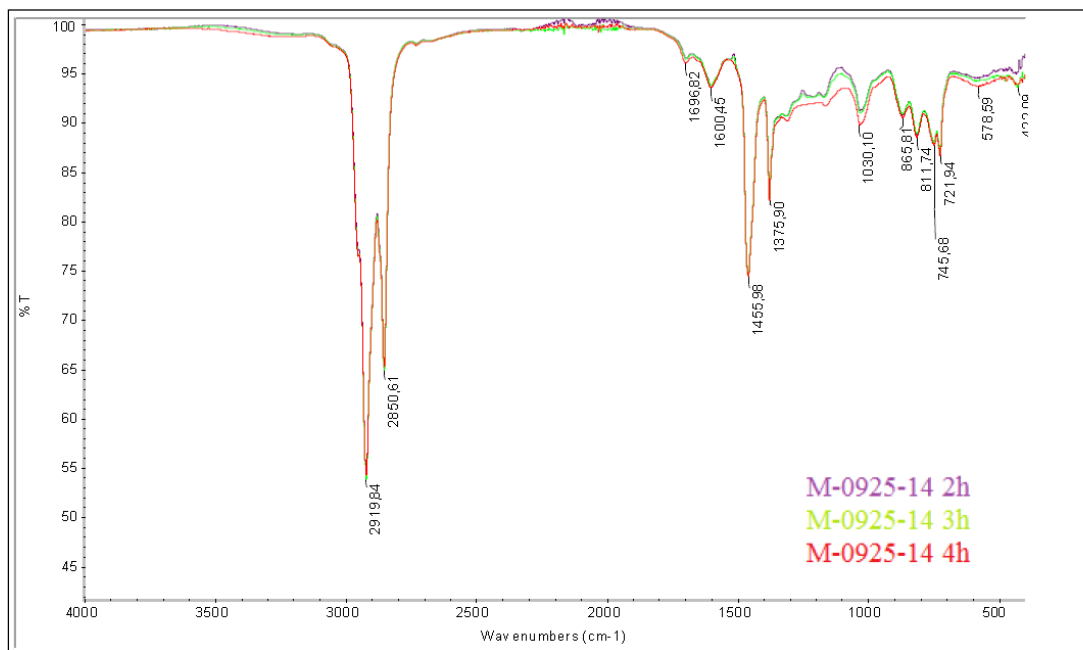


Figura 11. Espectro de la muestra de asfalto acondicionada en el horno a 135 °C después del acondicionamiento en RTFO + PAV.

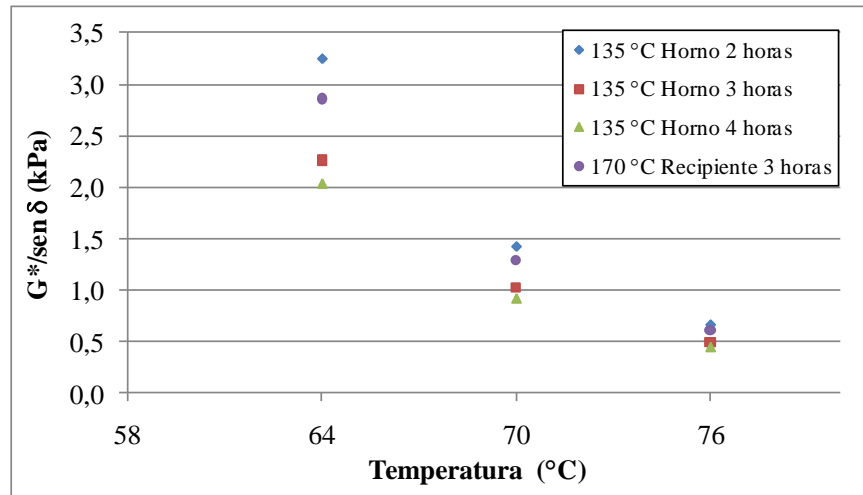


Figura 12. Resultados del módulo para las muestras originales

4.5. Comparación de métodos para cuantificar los componentes SARA del asfalto

Objetivo: Determinar si existe correlación entre la cromatografía SARA que se realiza por el método de columna y la cromatografía SARA por el método de cromatografía capa fina con detector de llama (TLC-FID).

Se han analizado varias muestras de asfalto de uso general en Costa Rica clasificado por grado de viscosidad como AC-30. Las muestras se analizan utilizando cromatografía de columna y con TLC-FID. Para las muestras se cuantifican las cuatro fracciones y se comparan. En el caso de TLC-FID se estudian el efecto de inyectar la muestra total o separada en asfaltenos y maltenos, además de diferentes combinaciones de solventes y tiempos de retención.

Se concluye que la inyección de la muestra total produce mejores resultados que la inyección de los maltenos, ya que la aparición de un pico en el tiempo de retención de los asfaltenos cuando solo se inyectan maltenos genera incertidumbre sobre el cálculo de las fracciones de los asfaltenos.

A pesar de las dificultades asociadas a la comparación de los métodos, se logró la correlación de los asfaltenos cuando se usan las condiciones 3 y 4 y la combinación de solventes propuesta por Ecker.



Tabla 1. Condiciones de Medición

Condición 3 de lectura		
10 cm	29 min	Hexano
6 cm	10 min	Tolueno
2,5 cm	2 min 45 s	Diclorometano-metanol (95:5)
Condición 4 de lectura		
10 cm	30 min	Hexano
6 cm	10 min	Tolueno
2,5 cm	2 min 45 s	Diclorometano-metanol (95:5)
Condición de Ecker		
10 cm	30 min	n-heptano
6 cm	10 min	n-heptano-tolueno 20:80
2,5 cm	2 min 45 s	tolueno-metanol 95:5

Para comparar los resultados de cada fracción se inyecta cada una y esto permite demostrar que la separación que se realiza de acuerdo con la norma ASTM D 4124, no es completa, pues se evidencian residuos de las otras fracciones en los cromatogramas. Este es una posible razón de dificultad de correlacionar el método de cromatografía de columna y el TLC-FID.

Uno de las posibilidades para obtener resultados que se correlacione mejor con la cromatografía de columna es variar las condiciones de tiempo de los solventes para la combinación de solventes de Ecker.

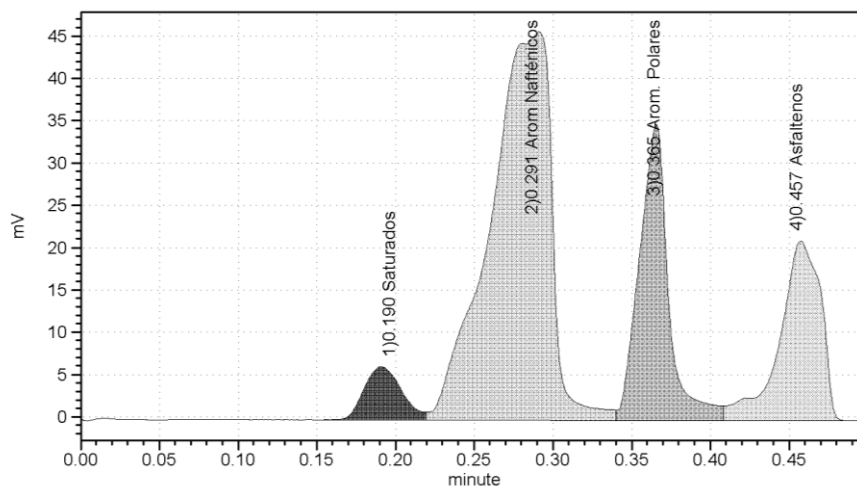


Figura 13. Cromatograma obtenido al inyectar la muestra total M1

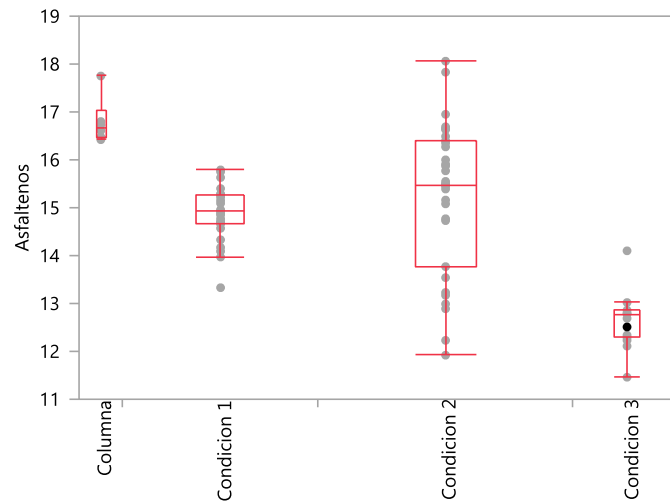


Figura 14. Diagrama de los resultados obtenidos para los asfaltenos de la M2 mediante la cromatografía de columna y las 3 condiciones en TLC-FID

4.6. 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.

Se finalizó la definición del método de ensayo para cuantificar el polímero SBR utilizado para modificar asfalto en el año 2015. La segunda etapa del proyecto consistía en cuantificar la cantidad de SBS adicionada al asfalto, sin embargo, no se encontró una combinación de solventes que lo permitieran a excepción de un solvente químico cuyo valor costo de adquisición es prohibitivo y de venta restringida debido a su peligrosidad.

Por este motivo se descarta el uso de este método PAT para la cuantificación de SBS en asfaltos modificados y el mismo será ahora estudiado mediante espectrometría infrarroja.



4.7. 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.

Dentro de los resultados más importantes del proyecto se debe mencionar que el contenido de asfalto más cercano al diseño proporcionado por el fabricante se obtuvo con el método de centrífuga y se concluyó que el método de reflujo es estadísticamente diferente a los otros tres métodos analizados

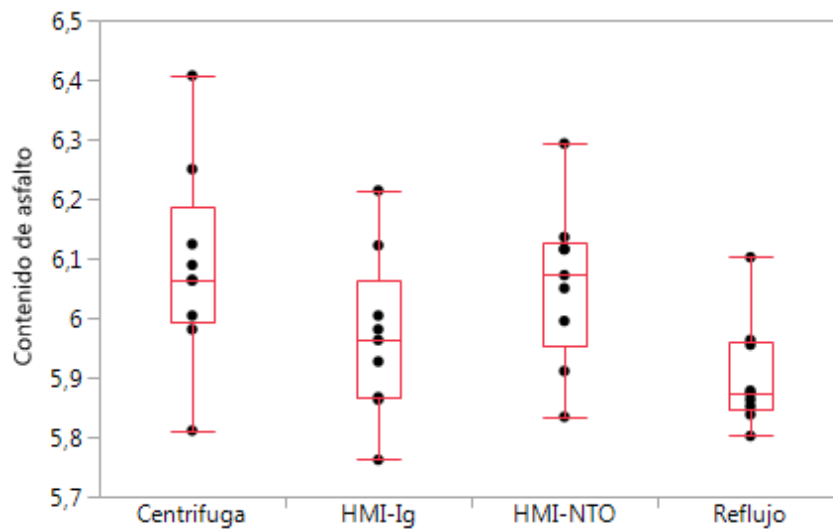


Figura 15. Contenido de asfalto obtenido con cada método

Sin embargo, las especificaciones vigentes en el país establecen que el contenido de asfalto puede variar en $\pm 0,5 \%$ con respecto al valor establecido en el diseño de mezcla por lo que no se puede afirmar que ninguno de los resultados obtenidos con los diferentes métodos está fuera del rango correspondiente, para un contenido de asfalto de diseño de referencia (ej. 6,15 % PTM).

El método de método de reflujo se analizó utilizando gasolina como solvente, debido a que es más accesible y menos peligroso que el tricloroetileno o diclorometano. Los resultados al utilizar gasolina como solvente son menores que si se utiliza tricloroetileno, incluso están fuera del rango de aceptación establecido en las especificaciones nacionales, pues el valor máximo de los resultados obtenidos es de 5,31 % menor al límite de tolerancia inferior de 5,65 %.

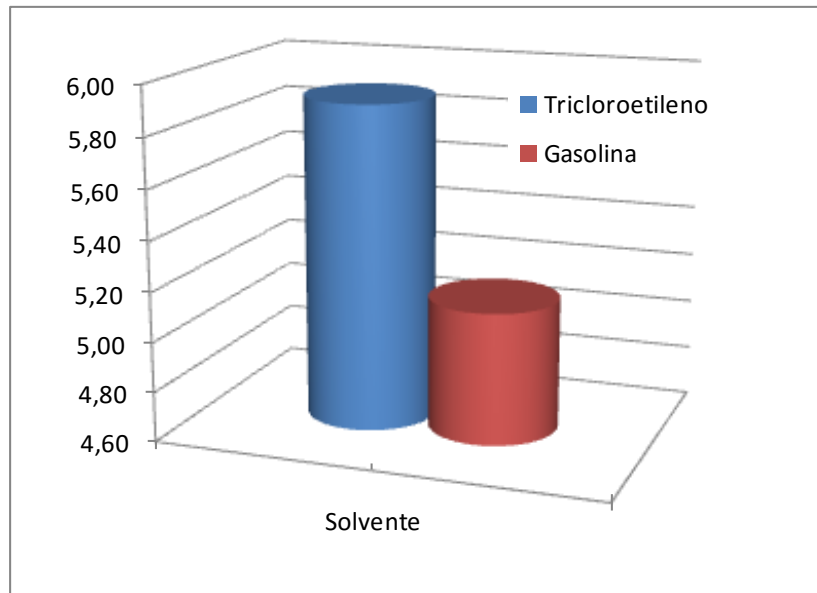


Figura 16. Contenido de asfalto obtenido con el método de reflujo utilizando como solvente tricloroetileno y gasolina

Con base en lo anterior se concluye que para la mezcla analizada cambiar el solvente a gasolina reduce significativamente el resultado de contenido de asfalto obtenido. Se debe valorar si este resultado se replica en mezclas con una fuente de agregado distinta o si la pureza de la gasolina tiene efecto en la separación.

4.8. Espectro Infrarrojo del Asfalto

Objetivo: Evaluar asfaltos de distintas fuentes a nivel mundial para generar una base de datos de la huella química de este material.

Este es un proyecto continuo pues se solicitan constantemente muestras asfálticas de investigadores y productores a nivel mundial. Se han analizado muestras de asfalto modificado y con distintos tipos de acondicionamiento. La información se almacena y se utiliza como insumo de distintas investigaciones. Se continuarán analizando asfaltos.

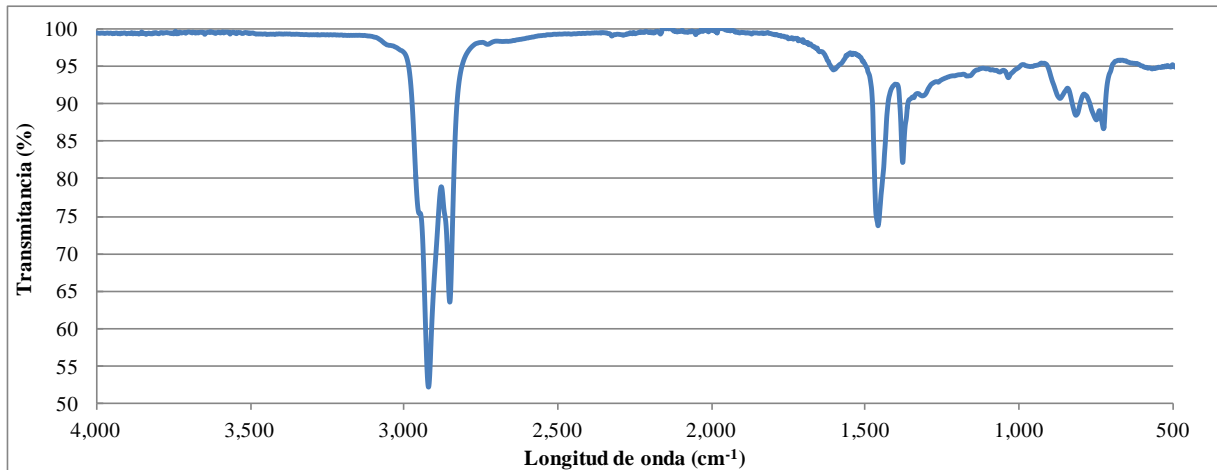
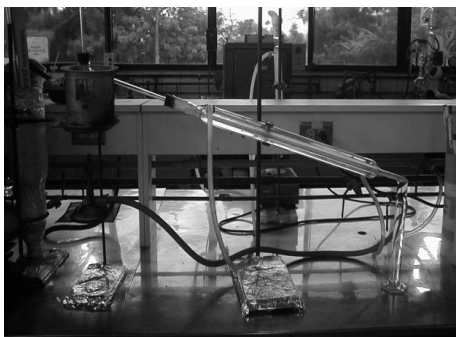


Figura 17. Espectro infrarrojo de una de las muestras recibidas.

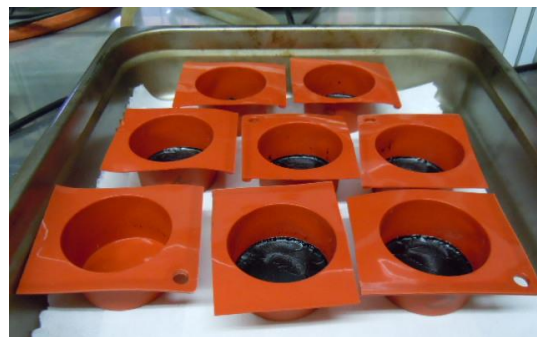
4.9. Comparación de los métodos de cuantificación del residuo de emulsiones asfálticas

Objetivo: Cuantificar la diferencia existente entre los métodos de determinación de residuo de emulsión asfáltica e indagar si existe correlación entre los métodos.

Para comparar los métodos de hacen dos tipos de comparaciones, la primera es estimar el residuo de las emulsiones que se distribuyen en el país a través de los métodos de destilación según la norma ASTM D 6997, de evaporación a alta temperatura de acuerdo con la norma ASTM D 6934 y los dos métodos de evaporación a baja temperatura, según la norma ASTM D 7497. Con los resultados preliminares se ha definido el esquema experimental y elaborado una propuesta de trabajo.



(a)



(b)

Figura 18. (a) Equipo para la destilación de emulsiones asfálticas y (b) muestras de evaporación a baja temperatura de emulsiones asfálticas

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 24 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



4.10. Reología de residuos de emulsión asfáltica

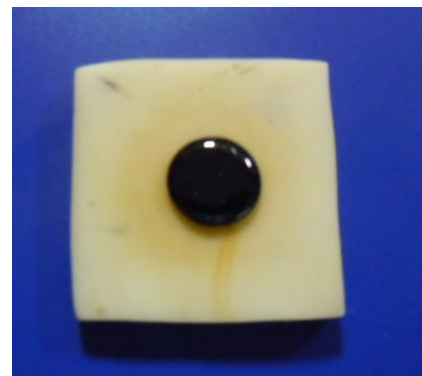
Objetivo: Determinación de características reológicas que permitan predecir el desempeño de las emulsiones asfálticas.

Como resultado de un estudio que solicita el Laboratorio de Materiales de la AASHTO (ARML, por sus siglas en inglés) en el cual se incluyen análisis reológicos de los residuos, se decide analizar el comportamiento de los residuos de acuerdo con su comportamiento distintas temperaturas y frecuencias, por lo que se elabora la plantilla correspondiente en el equipo y se analizan los residuos de las emulsiones que se comercializan en el país.

Se pretende determinar características que ayuden a predecir el desempeño de las emulsiones en el campo. Con los resultados preliminares se ha definido el esquema experimental y elaborado una propuesta de trabajo.



(a)



(b)

Figura 19. (a) Equipo la medición reológica de muestras y (b) muestra para medición reológica

4.11. Análisis químico de los residuos de la emulsión asfáltica

Objetivo: Determinación de las propiedades químicas del residuo de la emulsión asfáltica obtenido a través de diferentes métodos utilizando espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier.

La destilación de la emulsión asfáltica tiene como propósito separar el asfalto del agua y de los aceites que la componen, sin embargo, los métodos de evaporación, separan principalmente el agua que se evapora con el tiempo por exposición a alta temperatura o por exposición al ambiente, según el método que se utilice.



Es muy probable que el aceite no se elimine con el tiempo, por lo que puede afectar el desempeño y los resultados de los ensayos de calidad.

Con los resultados preliminares se ha definido el esquema experimental y elaborado una propuesta de trabajo.

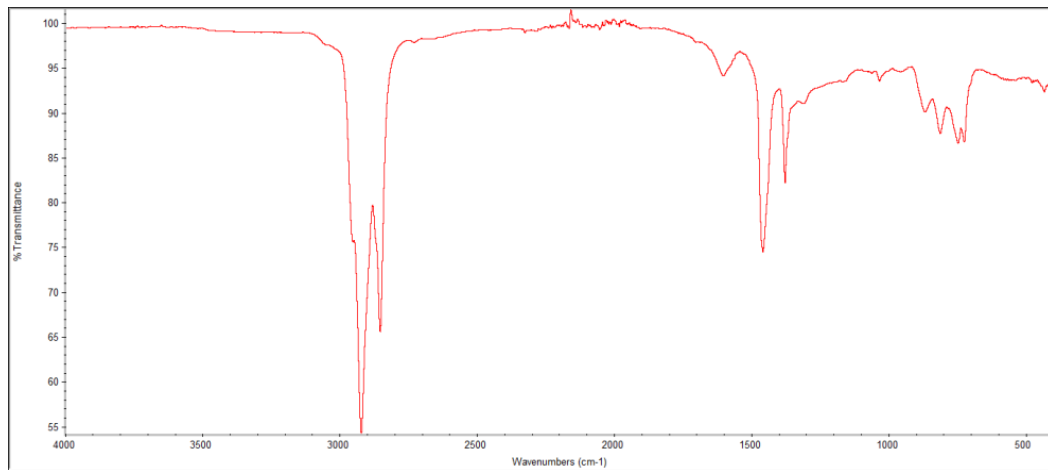


Figura 20. Espectro infrarrojo de residuo de la emulsión obtenido por destilación

4.12. Comparación de los métodos de cuantificación del residuo de emulsiones asfálticas

Objetivo: Indagar si es posible correlacionar los resultados de análisis termogravimétrico (TGA) con la composición de la emulsión asfáltica.

Se analizaron en este estudio los residuos de los destilados obtenidos con el método establecido en la norma ASTM D 6997 y en el mediante TGA. La destilación es un método de ensayo confiable, reconocido y que utiliza equipo de laboratorio sencillo, pero requiere tiempos de acondicionamiento antes y después, del ensayo, prolongados. Además, depende significativamente de la pericia del técnico, por este motivo se buscan opciones para obtener resultados más rápidos y menos subjetivos.

Como no existía un método previamente establecido para TGA de la emulsión se utilizaron distintas rampas de calentamiento y diferentes temperaturas finales con el propósito de optimizar el método.

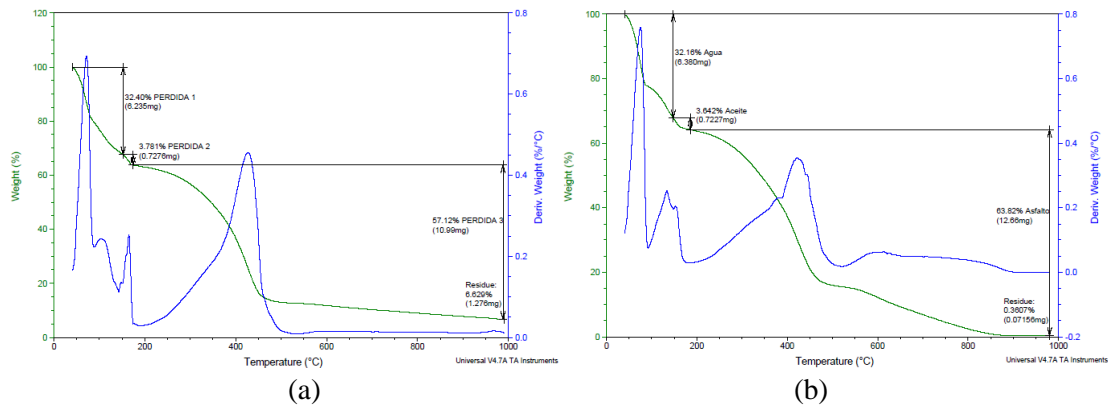


Figura 21. Termogramas de una de las réplicas de (a) Muestra 4 rampa de temperatura 40 °C a 990 °C en atmósfera inerte a 10 °C/min Día 1 y (b) Muestra 5 rampa de temperatura 40 °C a 990 °C en atmósfera inerte a 10 °C/min Día 1

Para este estudio se seleccionaron seis muestras de emulsión asfáltica de rompimiento rápido. Para el TGA se establecieron parámetros para generar un método que proporcione resultados comparables con el método de destilación y que además sea repetible y reproducible.

Bajo estas premisas, se utilizaron diferentes rampas de medición tomando en cuenta parámetros de producción y se ajustaron con el propósito de valorar distintos parámetros y detectar aquellos que influyen en los resultados.

Se observa que la rampa de calentamiento influye significativamente en los resultados obtenidos, los valores más cercanos a la destilación se reportan con rampas de calentamiento bajas y altas, tasas 5 °C/min se alejan de los resultados de la destilación.

Las rampas de calentamiento moduladas no producen los resultados esperados, es posible que utilizar tasas de 5 °C/min en uno de los módulos tenga un efecto negativo en los resultados. Por tanto, se deben seguir ajustando los parámetros del método de TGA, para lo cual es recomendable usar emulsiones fabricadas en el laboratorio, para de esta manera conocer el contenido de asfalto real.



4.13. Determinación de las propiedades micro-mecánicas de los asfaltos

Objetivo: Determinar la magnitud de adhesión y rigidez de diversas muestras de ligante asfáltico y ligantes asfálticos sometidos a envejecimiento acelerados mediante fuerza pulsada mediante la técnica de AFM.

Los estudios actuales de los ligantes asfálticos involucran equipos trabajos multidisciplinarios y análisis con técnicas a nivel micro y manométrico, desde los asfaltos en condición original, modificados con materiales, hasta la realización de estudios relacionados con oxidación, inclusive la separación cromatográfica en sus fracciones componentes, una técnica bastante actual para determinar las propiedades micro-mecánicas es la técnica de fuerza pulsada mediante el uso de un AFM, la caracterización de las muestras originales y sus fases constituyentes exceptuando la fracción de saturados ya fue evaluada.

En la actualidad se estudia el efecto de la oxidación y sus cambios morfológicos a la topografía de un ligante asfáltico PG64-22 sometido a los procesos de oxidación controlada de RTFO y RTFO + PAV además de muestras acondicionadas de forma acelerada expuesta a la intemperie.

A la muestra de ligante asfáltico se sometió al acondicionamiento RTFO y este último al PAV, también mediante la técnica de cromatografía SARA se realiza la separación del asfalto base en asfaltenos y maltenos por medio un reflujo utilizando como solvente n- heptano, a las muestras en condición RTFO se colocan en moldes de silicona y son expuestos a la intemperie como un espécimen rectangular de 1 mm de espesor. Se colocan varias laminas y se retira una cada mes, como referencia también se incluyó bajo las mismas condiciones una muestra en condición original.

Los ligantes asfálticos en la mezcla asfáltica sufren dos tipos de procesos de envejecimiento ampliamente estudiados, el primero considerado como un envejecimiento a corto plazo donde por efecto de la temperatura se genera una pérdida importante material volátil de bajo peso molecular. De forma simultánea procesos donde se involucra la presencia de aire, el agua y la radiación ultravioleta del entorno generan una importante oxidación en el ligante asfáltico a través del tiempo, estos procesos químicos ocurren despacio, pero de forma continua. Para el primer caso se genera un desequilibrio del ligante asfáltico considerándolo como un coloide aparente por la pérdida de componentes volátiles permitiendo que la fracción cristalina denominada asfaltenos y aromáticos naftenicos predominen en el material aglutinante. Para el segundo caso se generan una proporción importante de grupos funcionales como sulfoxidos, éteres y carbonilos producto de la oxidación con el aire, agua y el efecto por la radiación ultravioleta que modifican considerablemente las propiedades viscoelásticas del material bituminoso. Se puede considerar que el pavimento asfáltico se oxida a una profundidad de alrededor de 2,5 cm en la mezcla asfáltica desde la superficie. El efecto de la oxidación con el tiempo termina con una rigidización del material bituminoso lo que incrementa la susceptibilidad a la fatiga por cargas

repetidas o al agrietamiento a bajas temperaturas, posteriormente la mezcla tiende a fallar por daño por humedad.

Estudios relacionados con envejecimiento y oxidación no son nuevos y se han estudiado de forma amplia por muchos investigadores, usualmente herramientas como la reología para analizar el comportamiento de los asfaltos y equipos como el APA, rueda de Hamburgo, módulo resiliente y módulo dinámico para estudiar el comportamiento en la mezcla asfáltica. Debido a que el proceso de oxidación del material es un proceso químico y ocurre de forma superficial en el recubrimiento de los agregados en la mezcla, se considera obtener información de las propiedades micro-mecánicas del ligante asfáltico mediante la técnica de fuerza pulsada (DPFM de sus siglas en inglés) esta es una variación de la técnica clásica de microscopía de fuerza atómica de modo tapping (AFM de sus siglas en inglés). Los resultados de DPFM-AFM se analizan junto con los resultados de DSC y monitorean mediante FTIR para evidenciar el avance en el proceso de oxidación.

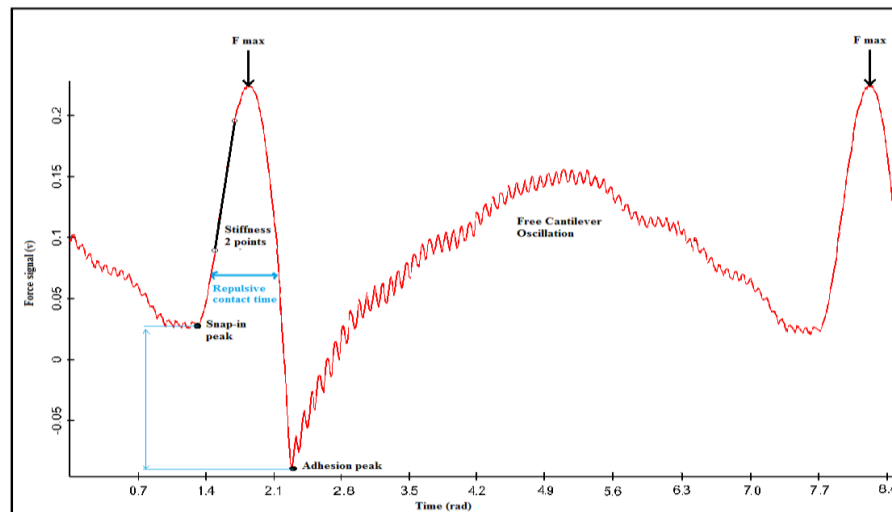


Figura 22. Señal de medición y variables determinadas en el modo de DPFM.

Entre la información que ofrece esta técnica se encuentra la obtención de imágenes de topografía, fuerza máxima, rigidez y adhesión, estas dos últimas y con la caracterización de los cantilevers se determina la información de la magnitud física asociada a la medición. Para estudiar el fenómeno de la oxidación se acondiciona el ligante asfáltico mediante procesos controlados y se compara el material bituminoso de referencia o en condición original con los resultantes de los procesos de acondicionamiento.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 29 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

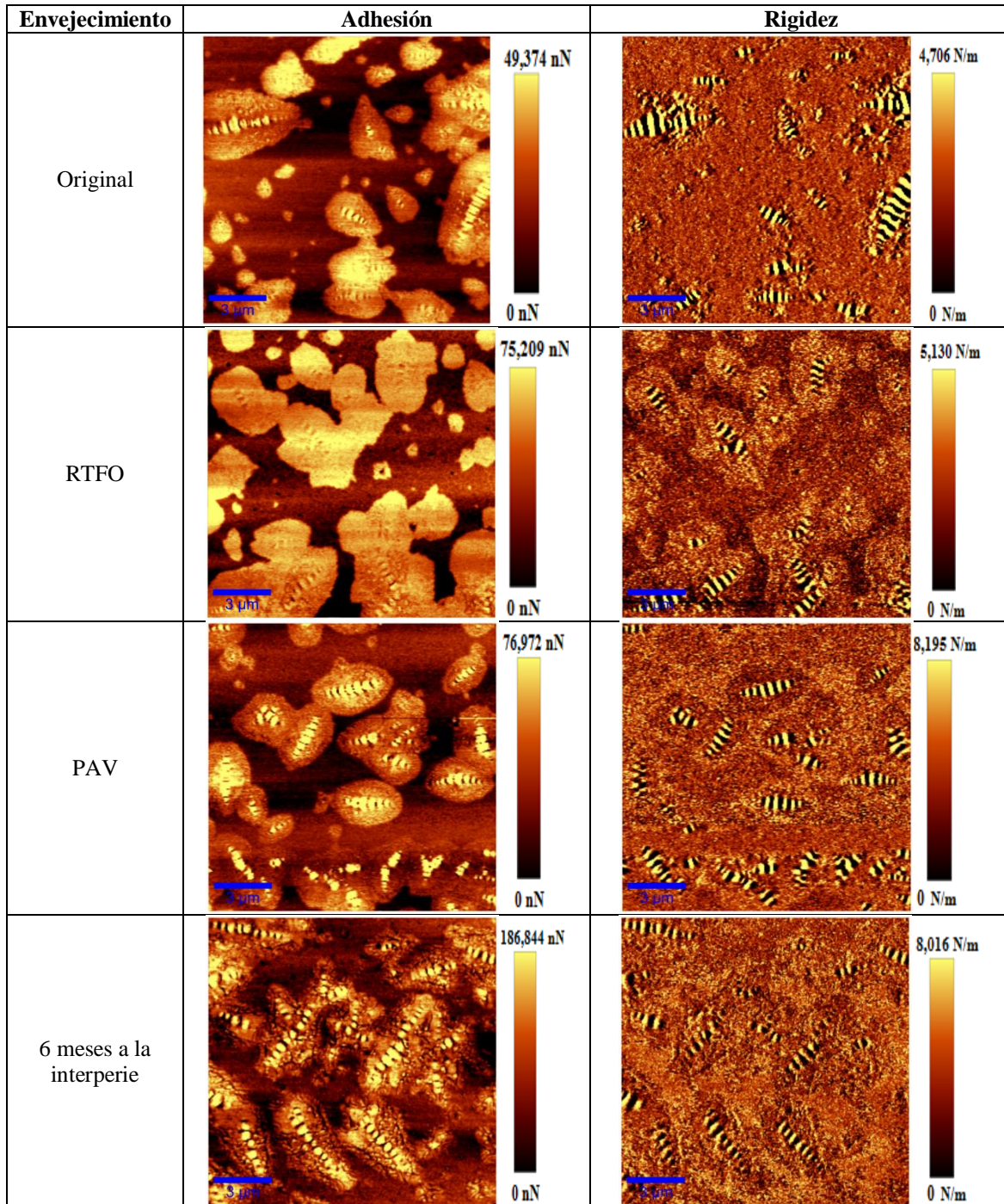


Figura 23. Caracterización micro-mecánica del asfalto.



5. CONSERVACIÓN VIAL

5.1. Diseño de sellos de lechada asfáltica y microcapa

Objetivo: Promover el uso de técnicas de preservación mediante guías de diseño en laboratorio en sellos de lechadas asfálticas y microcapas

Se ha visto un pequeño incremento en la construcción de vías nuevas, lo que implica un gran cambio en los objetivos de la Administración, por trabajar en la ampliación de la red vial desde un inicio con estructuras de mejor calidad. Lo anterior conlleva a la necesidad de técnicas de preservación (ej. sellos de lechada asfáltica y/o microcapas) que protejan las vías que aún se encuentra en buen estado.

Para este propósito se busca complementar la guía de laboratorio para el diseño de sellos de lechada asfáltica con el procedimiento de diseño de microcapas. Actualmente se cuenta con un agregado al que se verificó la granulometría y funciona correctamente para las condiciones de ensayo que se solicitan en la normativa. Ya se han realizado las pruebas iniciales de diseño de la emulsión en función del tiempo de mezclado, tiempo de agua clara y tiempo set con las que el sistema de agregado-emulsión funciona adecuadamente según las especificaciones establecidas en la normas ISSA (International Slurry Surfacing Association).

Se definió finalmente cual debe ser la formulación adecuada de la emulsión asfáltica de rompimiento lento y de rompimiento controlado para el cumplimiento de las especificaciones de sellos de lechada asfáltica y de microcapas, respectivamente. Por ahora se cuenta con una formulación de la emulsión CQS-1H que cumple con los tiempos.

Recientemente, a pesar de la variación del emulsificante por parte de Recope, han logrado producir una emulsión CSS-1 que se mantiene estable por el tiempo necesario y logra un adecuado recubrimiento. Sin embargo, los tiempos establecidos de mezclado no son los deseados aún. Por lo que es importante retomar el acercamiento que se estableció anteriormente con la institución para que realicen las mejoras respectivas a nivel de planta y de formulación para poder obtener un desempeño al menos aceptable, principalmente en la adherencia entre la emulsión y el agregado utilizado.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 31 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



Figura 24. Diseño de emulsión CQS-1H, diferentes combinaciones de cantidad de emulsificante y pH



Figura 25. Pruebas para el diseño de la emulsión CQS-1H.

5.2. Guía de diseño de emulsiones asfálticas

Objetivo: Estudiar las propiedades de las emulsiones asfálticas, para el cumplimiento de especificaciones y su desempeño en las técnicas de preservación.

Hoy en día el único proveedor de emulsiones asfálticas en Costa Rica posee una limitada oferta de los tipos de emulsiones que requiere el país. Típicamente sólo produce emulsiones de rompimiento rápido y ocasionalmente por solicitud del MOPT produce una cantidad muy pequeña de emulsión de rompimiento lento. Sin embargo, esto reduce significativamente la posibilidad de su uso en aplicaciones que permiten mejorar las condiciones de las carreteras, principalmente en la preservación de pavimentos y técnicas que con menores costos de colocación es factible construir rutas de bajo a



medio volumen de tránsito, pero que para las personas que las utilizan significa mejorar enormemente su calidad de vida.

Es necesario realizar estudios en la calidad y control de producción de emulsiones asfálticas, pero más importante aún es que quienes la provean conozcan la finalidad con la cual la producen, dado que las emulsiones asfálticas se formulan y producen en función de la técnica en que se va a utilizar y el agregado con el que se mezclará.

Para este estudio se tienen cuatro fases: 1) Establecer un procedimiento estándar para la producción de emulsiones asfálticas a nivel de laboratorio, el cual ya se está desarrollando en un proyecto de graduación de una estudiante de la escuela de Ingeniería Química, 2) Analizar el comportamiento de las emulsiones asfálticas en el tiempo, 3) Aplicación de las emulsiones asfálticas en las diferentes técnicas de preservación en Costa Rica y 4) Correlación de los resultados entre lo obtenido en la 2) y los resultados de la aplicación de las técnicas de la 3).



Figura 26. Ensayos para medición de adherencia para su aplicación en mezclas en frío, microcapas y tratamientos superficiales.

La fase 2) y 3) se están ejecutando en paralelo otros dos proyectos “Diseño de sellos de lechada asfáltica y microcapas” y “Materiales Estabilizados con Emulsión”, en los cuales se están utilizando las emulsiones de prueba. Asimismo, se está desarrollando un proyecto de tesis con un estudiante para la confección de una guía de laboratorio con el uso de emulsiones de rompimiento rápido en tratamientos superficiales.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 33 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

5.3. Diseño de materiales granulares con asfalto espumado

Objetivo: Establecer procedimientos de ensayo para diseño de estabilización de materiales granulares con asfalto espumado.

En vista de la necesidad cada vez más evidente por proponer soluciones fáciles de utilizar por la mayoría de los contratistas con equipos que no sólo ya se cuentan en el país, sino que además son fáciles de operar, para reconstruir o rehabilitar caminos que se encuentran en un estado de deterioro medio a grave, donde es posible reutilizar los materiales existentes en vez de continuar recarpeteando y no dar una solución real al problema. Por lo que es a través de este proyecto en conjunto con el de la guía de diseño de materiales granulares con emulsión asfáltica, que se presentan las técnicas de estabilización de materiales granulares con bitumen, con un menor costo, mayor facilidad en su aplicación, menos tiempo de cierre en las vías en las que se aplica y con la posibilidad de reutilizar el material existente, promoviendo con ello reducir los efectos negativos en el medio ambiente.

Por tanto, se están desarrollando distintos ensayos en busca de un documento que permita a contratistas y la administración contar con especificaciones, procedimientos de diseño y posteriormente pautas constructivas que les brinden las herramientas para la aplicación de técnicas como la estabilización de materiales granulares con asfalto espumado.



Figura 27. Calibración del asfalto para obtener el máximo espumado.



Figura 28. Preparación de mezcla para estabilización de bases granulares asfalto espumado.



Figura 29. Ensayos de diseño para estabilización de bases granulares asfalto espumado.

Actualmente se está en una etapa intermedia, en donde se está verificando el contenido de asfalto residual de un material de base de buena calidad, y posteriormente se llevará a cabo el ensayo de triaxial y módulo resiliente, con los cuales establecer las características de resistencia máxima esperadas de este tipo de estabilizaciones en comparación con un material sin estabilizarse.



5.4. Diseño de materiales granulares con emulsión asfáltica

Objetivo: Establecer una metodología de diseño en laboratorio para estabilización de materiales granulares con emulsión asfáltica.

Convencionalmente se utilizan como agente estabilizador el cemento o la cal en algunas ocasiones para mejorar ciertas propiedades de resistencia en los materiales granulares, sin embargo, no en todos los casos es posible mejorarla realmente porque ciertas características del material no lo permiten. Por tanto, con este proyecto se pretende estudiar el uso de emulsión asfáltica como estabilizador de materiales granulares y obtener un adecuado desempeño como capas intermedias en caminos de medio a alto volumen de tránsito o capas de rodamiento para bajos volúmenes de tránsito, siempre que se coloque un sello impermeabilizante.

La principal meta de esta investigación, es proveer una guía que facilite a municipalidades y sectores relacionados a implementar el diseño de materiales granulares estabilizados con emulsión asfáltica para caminos de bajo volumen de tránsito. Y posteriormente se elaborará una segunda parte que tome en cuenta la utilización de materiales estabilizados con emulsión para caminos de medio a alto volumen de tránsito.

Entre los alcances de esta guía está el analizar el efecto que tiene el adicionar pequeñas cantidades de filler (1,5% de cal o 1% cemento) en el desempeño del material estabilizado con emulsión. Para lo cual, se ha encontrado que el uso de cal, se obtienen resultados en la resistencia retenida al daño por humedad a la tensión diametral mayores al 75%, sin embargo, la adición de cemento no es tan significativa en comparación con la cal. Y esto sucede de igual forma cuando se estabiliza con asfalto espumado.

Actualmente se cuenta con una guía de diseño que sirve 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. Dicha guía cuenta con las especificaciones basadas en bibliografía internacional y comprobada mediante ensayos de laboratorio con materiales del país. Sin embargo, se dividirá en dos etapas para su utilización de acuerdo al volumen de tránsito esperado. Al igual que con el diseño del material con asfalto espumado se tiene ya un primer contenido de asfalto residual y se está en la verificación del mismo mediante la confección de especímenes compactados

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 36 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

mediante el compactador giratorio y posterior a esto se llevará a cabo también el ensayo de módulo resiliente y triaxial. Asimismo, se impartirán cursos al sector de carreteras para dar a conocer dichos procedimientos.



Figura 30. Pruebas de recubrimiento, para determinación inicial de fluidos totales.



Figura 31. Especímenes con material de base estabilizada con emulsión



5.5. Diseño de materiales para tratamientos superficiales

Objetivo: Elaborar un manual de diseño en laboratorio para tratamientos superficiales de dos y tres capas en Costa Rica.

Debido a que la implementación de tratamientos superficiales en Costa Rica ha sido de manera empírica y por tanto en la mayoría de los casos los resultados a corto o mediano plazo demuestran ser deficientes en su desempeño, por lo que se observan problemas de funcionalidad principalmente. Se está elaborando un manual para el diseño de tratamientos superficiales que impulse el uso de esta técnica de una manera más eficiente, y así para mejorar el estado actual de los caminos de bajo a medio volumen de tránsito, igualmente lo que esto conlleva en el uso de los recursos tanto para municipalidades como a la Administración en general.

Mediante la formulación adecuada de una emulsión de rompimiento rápido de alta viscosidad CRS-2 y un correcto uso de los agregados es posible obtener los resultados esperados. En este proyecto se está evaluando el diseño de una emulsión formulada acá en LanammeUCR y la implementación de dos ensayos ya conocidos internacionalmente para el diseño de los tratamientos superficiales en laboratorio, los cuales son la prueba de barrido y el ensayo de Vialit; esto en comparación con el desempeño de la emulsión CRS-1 que provee RECOPE para su aplicación en estas técnicas.



Figura 32. Pruebas de barrido en tratamientos superficiales



Figura 33. Pruebas de Vialit en tratamientos superficiales.

La tecnología también se está calibrando mediante el uso de ensayos a escala real en el PaveLab. Para esto se han colocado y analizado tres baches colocados en el tramo de estudio del HVS en el LanammeUCR.



Figura 34. Tratamientos simples, de dos y tres capas colocados en el HVS.



5.5. Implementación de metodología para la evaluación del desempeño de riegos de liga

Objetivo: Evaluar mediante un ensayo de laboratorio la resistencia y adherencia entra las capas del pavimento.

Los pavimentos consisten en varias capas de mezcla asfáltica, que requieren adherencia en la interfaz de las capas para que funcionen como una sola estructura. Una adherencia deficiente se ha determinado como una causa de la disminución de la capacidad estructural del pavimento e incidiendo en fallas y deterioros. Problemas generalmente asociados a una falta de adherencia entre capas son agrietamiento prematuro por deslizamiento de la mezcla y agrietamiento de arriba hacia abajo.

Este tipo de deterioros pueden reducir la vida útil del pavimento de 20 años a 7 u 8 años. Una disminución del 10% de la resistencia del riego de liga puede causar un 50% de reducción de la vida útil del pavimento ante la fatiga. Estudios han demostrado que una reducción de la resistencia ante la fatiga debido a un desprendimiento de las capas del pavimento puede ser drástica y necesitar reparaciones de mayor envergadura como bacheo completo o reconstrucción.

En vista de lo anterior se vuelve necesario el desarrollo de un ensayo para evaluar la resistencia de la adhesión entre capas del pavimento y adicionalmente generar el conocimiento para la selección del mejor tipo de ligante y de tasa de aplicación óptima. Con el presente estudio además se tendrán las herramientas necesarias para mejorar las prácticas constructivas y mejorar la calidad de los pavimentos Costarricenses. Este método de ensayo trata de determinar la resistencia a la adherencia por medio de una falla a cortante entre las capas del pavimento utilizando especímenes elaborados en el laboratorio o muestras de núcleos.

El proyecto se encuentra en su etapa final ya que como resultado del mismo, ya se tiene establecido el protocolo de ensayo a seguir y el dispositivo en el cual se evaluará la resistencia de la adherencia de los especímenes realizados en laboratorio y núcleos extraídos en campo.

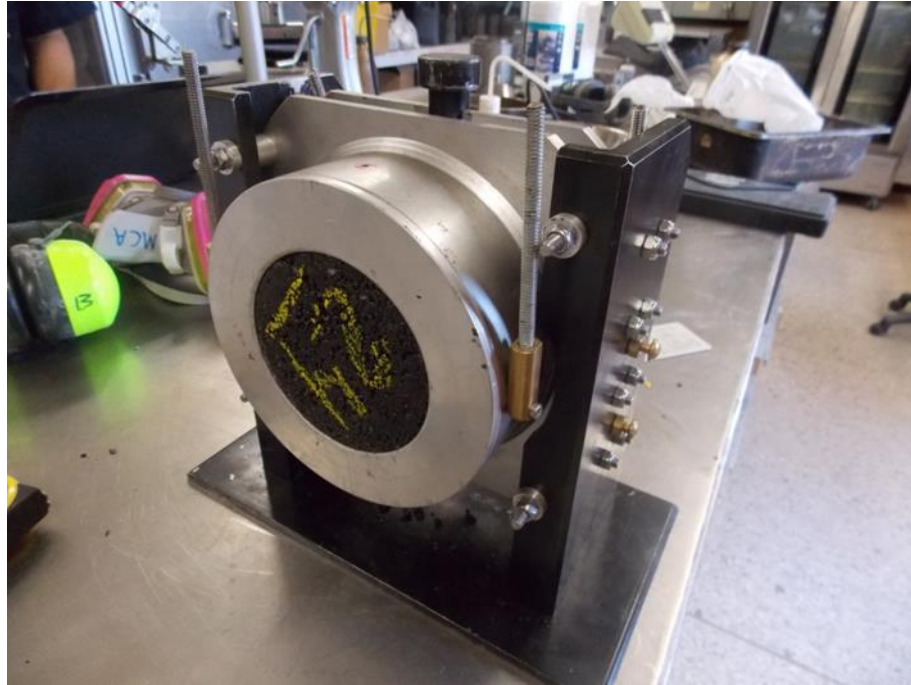


Figura 35. Dispositivo de ensayo desarrollado en LanammeUCR



Figura 36. Espécimen y Dispositivo de ensayo utilizado para la evaluación de la adherencia de los riegos de liga.



5.6. Evaluación del desempeño y metodología de diseño para bacheo mediante técnica de inyección

Objetivo: Desarrollar una metodología de diseño, evaluación del desempeño y control de calidad de mezclas asfálticas en frío para bacheo mediante la técnica de inyección.

Uno de los mayores problemas que enfrentan las instituciones encargadas del mantenimiento de carreteras es la reparación de los baches en el pavimento. Tratar oportunamente y eliminar estos tipos de deterioros es crítico para el correcto desempeño de los pavimentos, sin ello la intrusión del agua dentro de la base granular y tráfico continuo destruyen el pavimento en un corto periodo de tiempo.

Recientemente, el desarrollo del método de inyección para la reparación de superficies asfálticas, también conocido como “spray patching”, ha resultado en un proceso altamente mecanizado para la reparación de deterioros en el pavimento. Este método se realiza mediante un sistema que permite el transporte del asfalto y el agregado, mezclar los materiales y reparar el deterioro con un solo equipo y operador.

Para la reparación de los baches tradicionalmente se han utilizado dos métodos: “llenado y compactación” y el “semi permanente”. Después de la aparición del método de inyección el Programa Estratégico de Investigación en Carreteras (SHRP) llevo a cabo un estudio bastante objetivo en el cual comparaban los tres tipos de reparación, en los cuales después de un análisis económico el método de inyección presenta una clara ventaja ante los métodos tradicionales de reparación.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 42 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

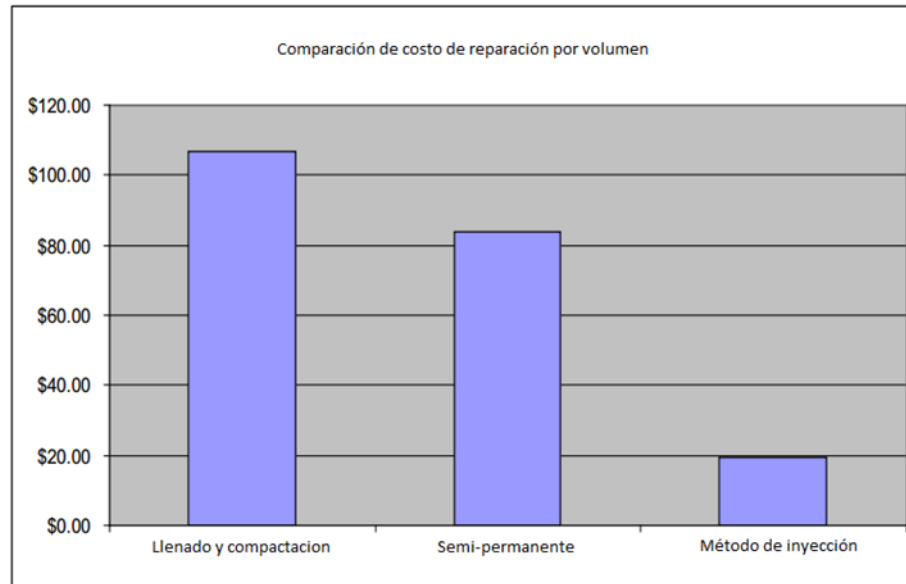


Figura 37. Comparación de costos. Fuente: SHRP

En Costa Rica se vuelve necesaria la implementación de alternativas de fácil aplicación y costos bajos para el mantenimiento vial, por lo que la metodología de inyección para el llenado de baches se vuelve una opción que satisface las necesidades costarricenses. En esta etapa se han analizado las propiedades mecánicas y durabilidad de este tipo de mezclas con ensayos sencillos de aplicación como por ejemplo el ensayo de desnudamiento y volumetría y se evaluó el desempeño estructural de este tipo mantenimiento mediante el Simulador de Vehículos Pesados (HVS), en el cual se han obtenido excelentes resultados demostrando así que es una excelente medida temporal de reparación. Actualmente ya existe en Costa Rica experiencia en esta técnica la cual ha sido utilizada para la reparación de calles municipales con un excelente resultado.



Figura 38. Bache evaluado en el Simulador de Vehículos Pesados (HVS).



Figura 39. Aplicación de técnica en Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.



Figura 40. Aplicación de técnica en Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.



6. GEOSINTÉTICOS

6.1. Dosificación de ligante asfáltico para uso de geosintéticos en pavimentos

Objetivo: Estimar experimentalmente la dosificación apropiada de ligante asfáltico a utilizar en la rehabilitación de pavimentos flexibles con sobrecapa asfáltica y materiales geosintéticos.

La colocación de sobrecapas en pavimentos flexibles pretende devolver características de servicio y funcionalidad estructural al pavimento. El problema de implementar esta técnica de rehabilitación es que, al cabo del tiempo ocurre el fenómeno llamado agrietamiento reflexivo, que consiste en que las juntas y grietas existentes se propagan a través de las nuevas capas de mezcla asfáltica hasta que aparecen en la superficie. La aparición de grietas permite la penetración de agua, incrementando significativamente las irregularidades en la estructura y acelerando el proceso de deterioro.

Para el presente proyecto, se estimó experimentalmente la dosificación apropiada de ligante asfáltico a utilizar, en la rehabilitación de pavimentos flexibles con sobrecapa asfáltica y materiales geosintéticos, por medio de un ensayo de laboratorio que permitió evaluar este parámetro en interacción con el geosintético. Además, se generó una metodología de diseño alterna para determinar la dosificación del ligante asfáltico cuando se utiliza esta técnica de rehabilitación, y se definió una especificación a incluir dentro de la normativa costarricense para tal efecto.

Primero, se realizó una consulta bibliográfica sobre los materiales geosintéticos utilizados en la repavimentación para el retardo del reflejo de grietas. Posteriormente, se definió una metodología de ensayo de laboratorio para evaluar la adherencia del ligante asfáltico y su interacción entre capas de pavimentos flexibles con el uso del geosintético. Seguidamente, se creó una metodología para la fabricación de probetas formadas por dos capas de mezcla asfáltica, entre las que se extiende una emulsión asfáltica y el geosintético. Por último, se fallaron las probetas con el ensayo de laboratorio definido, para evaluar la resistencia a la adherencia cuando se utiliza un geosintético como sistema de intercapa.

Se obtuvieron los valores de dosificación óptima de emulsión asfáltica para las condiciones y materiales que se utilizan en la rehabilitación con sobrecapas asfálticas en el país. Con base en estos resultados se generó una nueva metodología de diseño, por medio de modelos estadísticos de regresión



lineal, para estimar la cantidad de ligante asfáltico necesario en la implementación de esta técnica cuando se hace el uso de un geotextil. Finalmente, se propuso una modificación de las secciones del “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010”, referentes con los geotextiles utilizados para la pavimentación en Costa Rica.

En las figuras se muestra un ejemplar de los especímenes fabricados para ser fallados a cortante puro, así como el dispositivo para la falla a cortante confeccionado en el LanammeUCR para este proyecto.



Figura 41. Espécimen de dos capas de mezcla asfáltica unida con ligante asfáltico utilizando geosintético



Figura 42. Dispositivo de ensayo de corte directo ALDOT-430 modificado

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 47 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

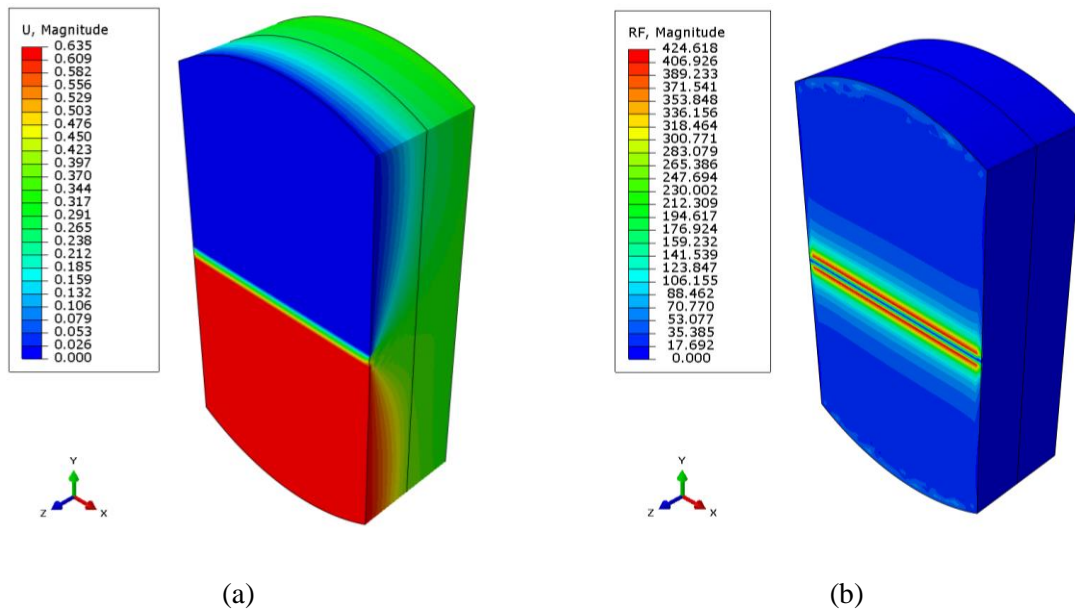
6.2. Técnicas de colocación de geosintéticos para refuerzo de pavimentos

Objetivo: Estudiar el fenómeno del reflejo de grietas en la capa asfáltica de un pavimento rehabilitado con material geosintético.

Uno de los principales problemas en la rehabilitación con sobrecapas asfálticas es el reflejo de las grietas presentes en el pavimento existente hacia la nueva capa. Para retardar el tiempo en que este fenómeno sucede, se colocan materiales geosintéticos entre el pavimento existente y la nueva capa con el fin de aliviar los esfuerzos transferidos o reforzar el sistema ante el desarrollo del reflejo de grietas.

El proyecto consiste en el estudio de la mecánica desarrollada por el material geosintético, mediante ensayos de laboratorio (módulo dinámico, tensión diametral, tracción GRAB, Sobrecapas de Texas - Overlay Tester, OT-) y de campo (deflectometría de impacto, inspección visual, georadar de penetración dinámica), de un tramo de prueba seleccionado donde se ha implementado la técnica; junto con modelos de simulación numérica utilizando la metodología del elemento finito.

La distribución de desplazamientos, fuerzas de reacción y esfuerzos de Von Mises de la modelación del ensayo OT se muestran en la figura.



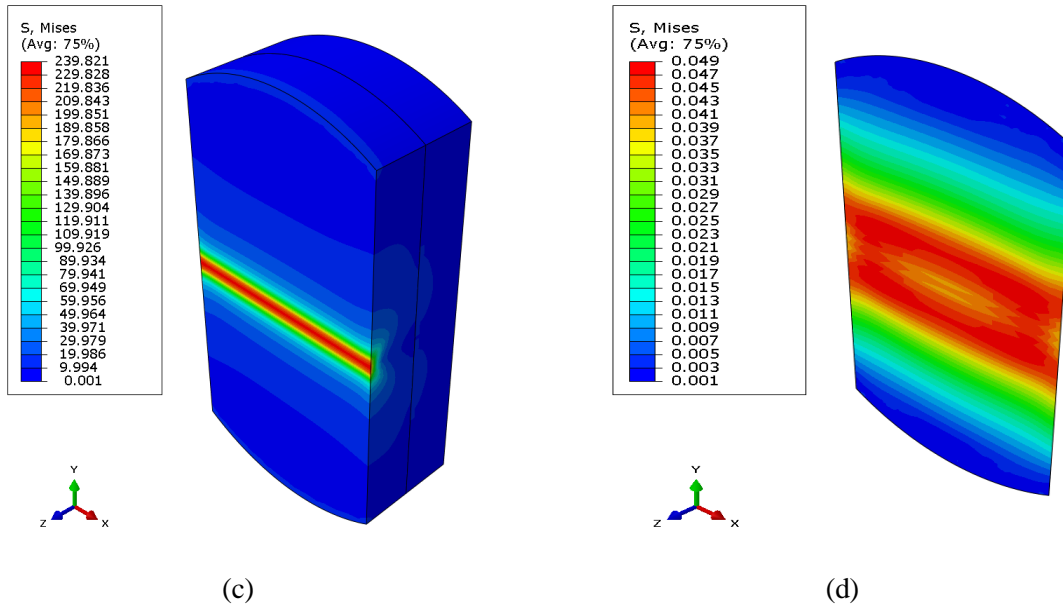


Figura 43. Resultados OT. (a) Desplazamientos (mm), (b) fuerza de reacción (N), (c) esfuerzos de mises en el sistema y (d) esfuerzos de mises en el geotextil. (Modelo 1)



7. ENSAYOS A ESCALA NATURAL

7.1. Ensayos acelerados de carga sobre pistas a escala natural de pavimento.

Objetivo: Ensayo de diversos tramos de pavimento en forma acelerada mediante el uso del Simulador de Carga Pesada (HVS por sus siglas en inglés) dentro del PaveLab.

La presente etapa del proyecto consiste en la recolección de información referente al desempeño que presentan las estructuras de pavimento ante la aplicación de cargas de tránsito. Mediante el uso del equipo HVS se aplican de forma repetitiva cargas para simular el paso de vehículos. Se utiliza la instrumentación especializada para documentar el comportamiento (desempeño) de los diferentes componentes de la estructura de pavimento, y la forma gradual en que estos van perdiendo capacidad de llevar las cargas. Previamente a este avance se han concluido los tres tramos iniciales, 001 al 003.

Se concluyó el tramo 004AC3, al cual se le aplicaron 1.600.000 repeticiones de carga. Llevando a la estructura a una falla por deformación permanente.

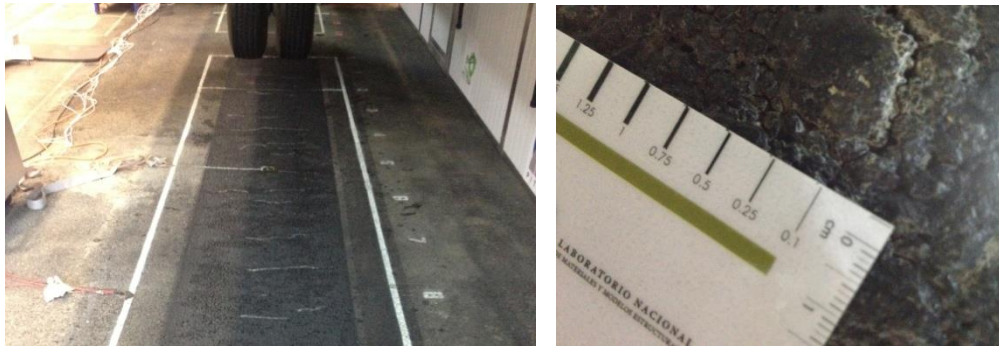


Figura 44. Proceso de ensayo del tramo 004AC3

Se realizó un apoyo a la Unidad de Seguridad Vial y Transportes del Pitra del LanammeUCR, mediante el cual se realizó un ensayo sobre demarcación vial horizontal colocada en la estructura AC4. El ensayo se desarrolló mediante la aplicación de repeticiones de carga concentradas sobre las líneas de la demarcación, el indicador utilizado para definir la evolución y momento para detener el ensayo fue la medida de retroreflectividad.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 50 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

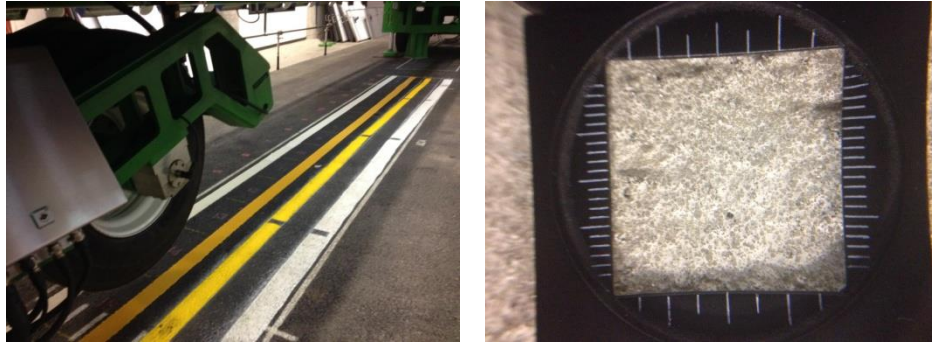


Figura 45. Proceso de ensayo del tramo con demarcación vial sobre AC4

Posteriormente sobre la estructura fallada de AC1, se colocó una serie de baches de mezcla asfáltica colocados en frío, a este tramo se le denominó 005AC1BA. De forma análoga a cuando se colocan baches en una carretera en servicio, las irregularidades de la superficie llevaron a que la velocidad de operación del ensayo fuera menor a los tramos anteriores. Se aplicaron 40.000 repeticiones de carga.



Figura 46. Proceso de ensayo del tramo 005AC1BA

Adicionalmente sobre la estructura fallada de AC2 se colocó un nuevo grupo de baches, también colocados en frío, adicionalmente se colocaron tres tratamientos superficiales (TS) asfálticos en los espacios entre los baches. Este tramo fue definido como 006AC2BA, y se le aplicaron 30.000 repeticiones de carga.



(a) Bache asfáltico deformado



(b) Tratamiento superficial

Figura 47. Proceso de ensayo del tramo 006AC2BA

Durante el período representado por el presente avance se redujo la cantidad de repeticiones de carga aplicadas; debido a que la velocidad de ensayo para los tramos con bacheos debe ser menor por lo irregular de la superficie, así como el tiempo durante el equipo estuvo disponible para la conclusión de la cámara térmica.

Así mismo está dispuesto para iniciar el tramo 007AC2H, el cual tiene la variable de ser el primer tramo en condición saturada, el cual será directamente comparado con los primeros cuatro tramos.

7.2. Diseño y construcción de la Cámara Climática para el “Heavy Vehicle Simulator” (HVS).

Objetivo: Diseñar, cotizar y construir una cámara climática que simule condiciones ambientales controladas para el HVS.

El proyecto se enmarca dentro del plan de simulaciones de daño acelerado a escala real sobre pavimentos que realiza actualmente el LanammeUCR. Consistió en el diseño de una cámara que se instaló en el HVS la cual permite simular controladamente condiciones ambientales sobre la pista de prueba de daño acelerado. Las condiciones incluyen alta temperatura, baja temperatura, simulación de lluvia y envejecimiento por radiación solar, así como ciclos climáticos. La fase de diseño, construcción y pruebas iniciales se concluyó durante el año 2015.



(a) Vista externa



(b) Vista interna

Figura 48 Cámara Climática del "Heavy Vehicle Simulator" (HVS).

Para 2016 se realizaron algunos trabajos adicionales pequeños, principalmente el sellado completo con paneles en unas secciones y la instalación final de todos los equipos del sistema de ventilación. Durante las pruebas iniciales en 2015 se identificó que los sistemas de control automático, aislamiento térmico, simulación de lluvia y radiación ultravioleta funcionaron satisfactoriamente.

Por otro lado, el sistema de calentamiento no estaba alcanzando las temperaturas máximas para las que fue diseñado (55°C - 65°C), por lo que se revisó el funcionamiento del sistema, se realizaron algunas modificaciones y se volvieron a realizar pruebas térmicas. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

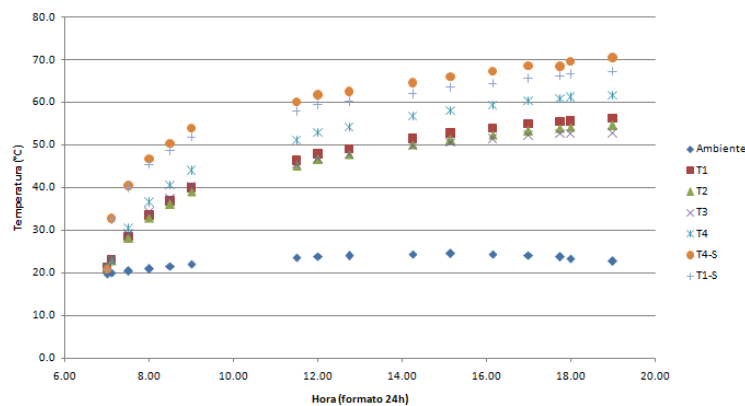


Figura 49. Evolución de la temperatura durante pruebas.

Se aprecia en la figura el histórico de temperatura durante una de las pruebas realizadas, donde se logra ver como la pista de pruebas alcanza temperaturas en el ámbito entre 53°C y 70°C , mientras que en la



siguiente figura se aprecia la distribución espacial de temperatura sobre la pista. Tanto las temperaturas máximas alcanzadas, como la uniformidad y distribución de la radiación logradas fueron las requeridas.

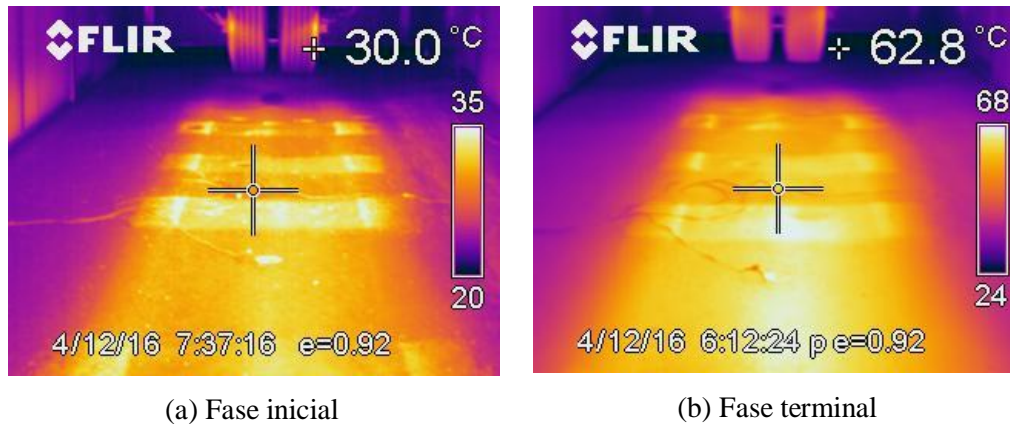


Figura 50. Imágenes infrarrojas del pavimento mostrando su temperatura superficial.

Actualmente la Cámara Climática se usa únicamente al final de las pruebas mecánicas en cada pista de ensayo del Pavelab, una vez que se ha cumplido algún criterio de falla (deformación permanente o fatiga). Esto se hace así, dado que en el plan experimental para las 8 pistas existentes no incluía formalmente el factor climático como variable.

7.3. 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.

El proyecto continúa con el desarrollo de la base de datos planteada, donde la recolección de información en el tiempo y la mejor administración de esta información son los elementos claves para el buen avance del proyecto.

Se trabaja en una nueva plataforma para la recolección de la información, y su resguardo, manejo y aprovechamiento. Esta herramienta está siendo programada a partir de la base de datos previamente programada en Microsoft Access, pasándola a un formato Web HTML5, de manera que pueda ser

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 54 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



utilizada desde cualquier dispositivo con conexión a internet y un navegador web. Así como amplía la capacidad de almacenamiento y manejo de la información de manera importante respecto a la versión previa.

La recolección de información para cada uno de los tramos en campo obedece a un criterio de oportunidad debido a las limitaciones que plantea la misma. Una vez que la herramienta web haya sido concluida el proceso tendrá una mejora.

7.4. Análisis de la presión de inflado en el desempeño de los pavimentos flexibles en Costa Rica

Objetivo: Analizar la influencia de la presión de inflado de los neumáticos en el desempeño mecánico de pavimentos flexibles típicos costarricenses mediante la metodología del elemento finito.

El crecimiento acelerado en la flota vehicular que se ha dado en los últimos ha contribuido directamente en un mayor deterioro de los pavimentos en Costa Rica, a razón de la sobrecarga y la poca eficiencia en el cumplimiento de las regulaciones establecidas.

Tomando en cuenta que durante el proceso de diseño las cargas consideradas son generalmente las reglamentarias, las deformaciones reales en el pavimento sobrepasan las consideradas en la verificación de su desempeño, reduciendo por tanto la vida real de diseño.

Es por esto que se hace necesario estudiar la influencia por el tipo de carga y configuración, de manera que se puedan realizar recomendaciones de modificación a los reglamentos vigentes, en términos de los vehículos que se permiten circular en cuanto al tipo y carga máxima permitida.

El proyecto se encuentra en la fase de investigación bibliográfica y generación del modelo, que replicará las pistas de ensayo acelerado del Pavelab del LanammeUCR; para esto se tomarán en cuenta los modelos constitutivos para la caracterización de la no-linealidad de los materiales granulares y el suelo, la viscoelasticidad de la mezcla asfáltica y la configuración de carga que resulte del procesamiento de las mediciones realizadas de la presión de inflado durante el experimento.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 55 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



7.5. IRI en proyectos de rehabilitación

Objetivo: Evaluar la validez de las especificaciones del Índice de Regularidad Internacional en proyectos de rehabilitación de pavimentos flexibles en Costa Rica

El IRI (Índice de Regularidad Internacional) en la rehabilitación de pavimentos flexibles es un parámetro de verificación de la calidad, que se utiliza para la determinación del pago de labores constructivas de un proyecto.

Tanto en el manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010), como en normativa internacional, se especifican porcentajes de mejora en el acabado superficial del pavimento para definir el porcentaje de pago correspondiente e inclusive el rechazo de la obra; sin embargo, no existe un fundamento técnico que respalde si los rangos establecidos son realmente representativos de lo que en campo puede darse.

Esta investigación se enfoca en el análisis de datos obtenidos de la evaluación del IRI en campo, de proyectos de rehabilitación mediante sobrecapas asfálticas. Actualmente se está desarrollando la consulta bibliográfica, para la valoración de las especificaciones internacionales y recomendaciones constructivas y de mejora que puedan ser aplicables, así como, la toma de datos de proyectos actuales.



8. MODELACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

8.1. Herramienta para diseño Mecánico-Empírico de pavimentos flexibles PITRA-ME

Objetivo: Desarrollar una herramienta de cálculo que sirva de apoyo para el diseño mecánico-empírico de pavimentos en Costa Rica y países de la región.

Este proyecto viene gestándose desde el año 2010, con la definición de la línea de investigación en la generación de la Nueva Guía de Diseño de Pavimentos para Costa Rica, mediante la compra del Simulador de Vehículos Pesados (HVS, siglas en inglés); la construcción del edificio PAVELAB en el 2011; entre otras actividades.

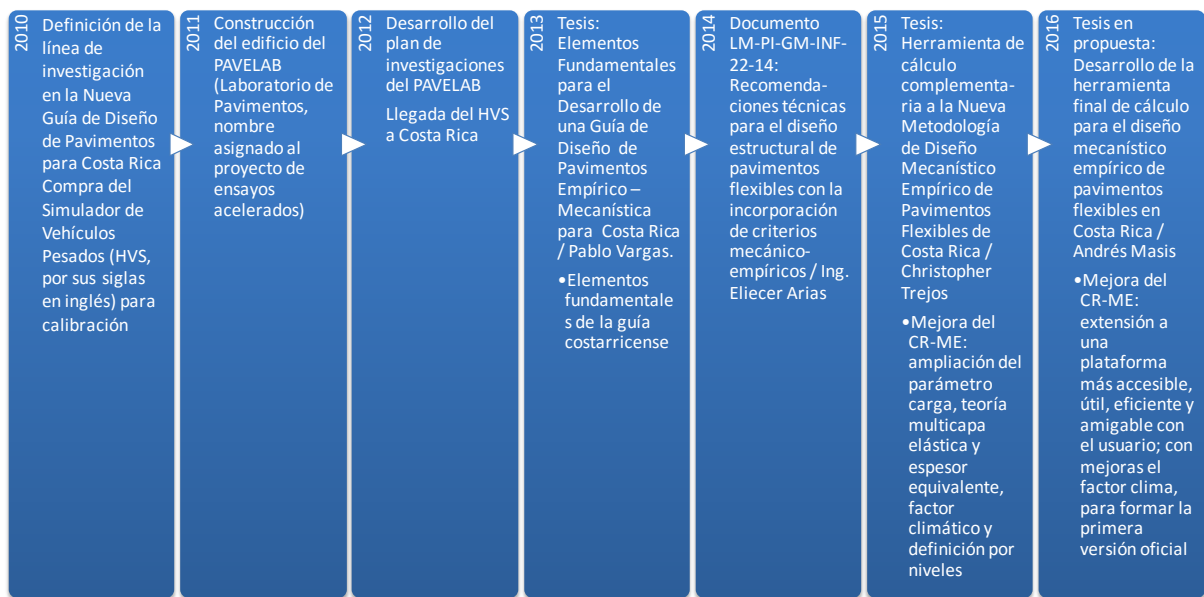


Figura 51. Proceso de definición de la Guía de Diseño Mecánico-empírica de Costa Rica

Parte del desarrollo de esta guía es la definición de una herramienta de cálculo complementaria que sirva de ayuda para el diseñador, sin eximirlo de utilizar su juicio ingenieril. Es por este motivo que, en el 2013, se inicia una sub-línea de investigación en diseño y programación del PITRA-ME, utilizando el lenguaje de programación Matlab.



Una versión mejorada fue posteriormente desarrollada reuniendo las bases necesarias para la definición de la versión oficial, que actualmente se encuentra en desarrollo. Actualmente, se encuentra en desarrollo una versión online del PITRA-PAVE, con un avance del 60% en el desarrollo del proyecto, que se espera esté finalizado en el segundo semestre del 2016.

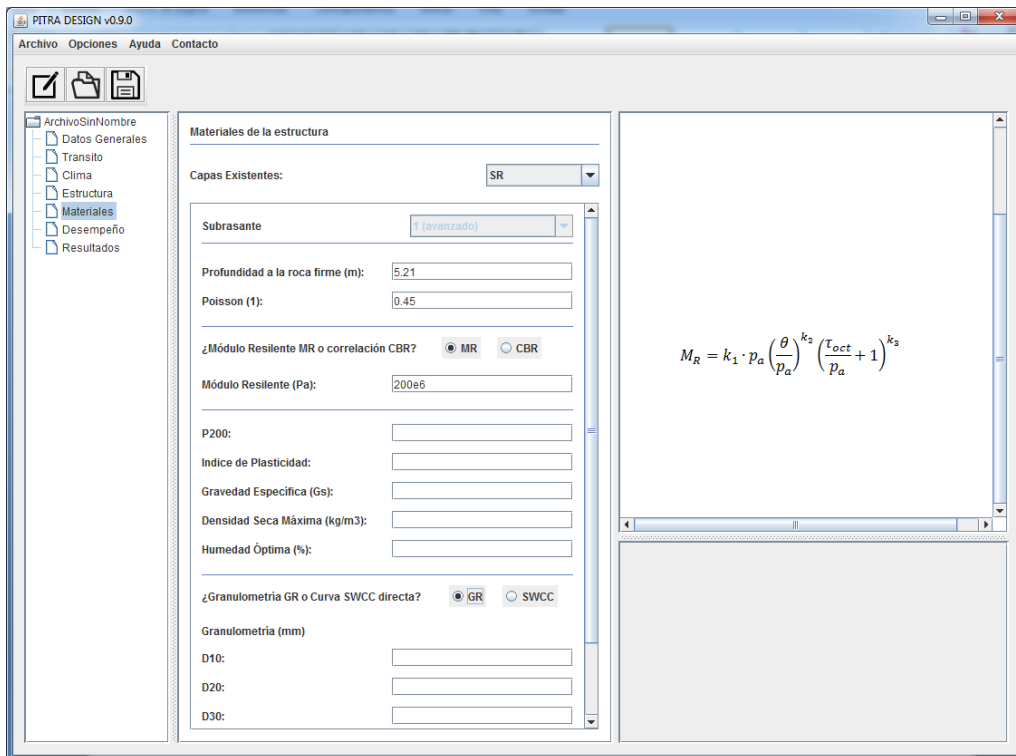


Figura 52. Interfaz gráfica de PITRA DESIGN v0.9.0.

8.2. Herramienta para cálculo de Respuestas Mecánicas en Pavimentos Flexibles PITRA-PAVE

Objetivo: Desarrollar una herramienta de cálculo numérico que implemente la teoría de multicapa-elástica para el análisis de pavimento flexibles.

PITRA-PAVE es un programa informático de análisis de pavimentos flexibles, que permite calcular las respuestas del pavimento (esfuerzos, deformaciones y deflexiones) producidas por las cargas aplicadas por los vehículos, basados en la teoría de multicapa elástica.

Este software es muy sencillo de utilizar, con una interfaz muy amigable que permite fácilmente calcular los esfuerzos, las deformaciones y las deflexiones en las capas de la estructura, además de poseer la facilidad de utilizar unidades tanto del sistema métrico como del sistema inglés. La primera versión del software fue lanzada en Septiembre de 2015 (ver Figura 1) y a la fecha se cuentan con más de 400 descargas en países como: Argentina, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, España, Italia, México, Nicaragua, Perú entre otros.

Archivo Análisis Opciones Ayuda

EsfuerzosPrincipalesEverStress.dat

Resultados del modelo en los puntos especificados:

#	Esfuerzos		Deformaciones		Deflexiones	
	Sxx (psi)	Syy (psi)	Szz (psi)	Sxy (psi)	Sxz (psi)	Syz (psi)
1	1.9603e+02	1.6695e+02	9.9577e+01	-5.3418e-15	2.5526e-30	1.3896e-14
2	-1.3172e+02	-1.0348e+02	2.1314e+01	5.1872e-15	-5.6066e-16	-3.0521e+00
3	-1.6634e+00	-1.2898e+00	4.1390e+00	6.8639e-17	-1.2630e-16	-6.8757e-01
4	1.3177e+02	5.6083e+01	-3.2603e+00	-9.2694e-15	1.7737e-30	0.0000e+00
5	-1.1371e+02	-4.4949e+01	1.7732e+01	8.4210e-15	-6.5600e-16	0.0000e+00
6	-1.7844e+00	-1.5350e+00	4.4221e+00	3.0544e-17	-5.5069e-17	0.0000e+00
7	1.9274e+02	1.5508e+02	9.7588e+01	-1.7203e+00	-2.8486e-14	5.1901e-14
8	-2.5064e+01	-8.0207e+00	2.8475e+01	-1.5502e+00	1.7718e+01	-1.6648e+01
9	-3.0977e+00	-1.0934e+00	1.2933e+01	6.8502e-02	1.7297e+00	6.8982e-01
10	-6.0398e-01	-1.1955e-01	7.1726e+00	3.8632e-02	6.0386e-01	6.0641e-01
11	-4.2417e-01	-3.1705e-01	3.5612e+00	1.0565e-02	1.8433e-01	2.3383e-01
12	9.9495e+01	6.4938e+01	1.1524e+00	3.0907e+00	-4.6905e-14	-6.3324e-16
13	4.3008e+01	4.0725e+01	4.0052e+00	-2.5158e+00	1.8950e+01	-5.0843e+00
14	-1.6194e+01	-2.5038e+00	1.1894e+01	-1.4499e+00	2.1801e+01	-5.1349e+00

Figura 53. Interfaz gráfica de PITRA PAVE v1.0.0.

Esta herramienta utiliza la teoría de multicapa elástica, basado en la teoría de Burmister (1943) y ampliada por Huang (1967), en el cual se pueden añadir datos de hasta 40 capas, también se puede agregar cargas de rueda simple y ruedas múltiples mediante la ubicación de cargas en cualquier punto de la superficie, además de poder agregar una cantidad ilimitada de cargas. También permite obtener la respuesta del material en puntos específicos en cualquier parte de la estructura. Los datos obtenidos con el programa son los esfuerzos normales y cortantes, así como las deformaciones unitarias y deflexiones. Posteriormente estos datos podrán ser utilizados para predecir la vida útil del pavimento con respecto a la fatiga y la deformación permanente.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 59 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

Actualmente se trabaja en la segunda versión de PITRA-PAVE la cual incluye funcionalidades adicionales tales como: cálculo de esfuerzos y deformaciones principales, análisis con capas desligadas, análisis crítico para ejes pre-establecidos, y precisión numérica mejorada.

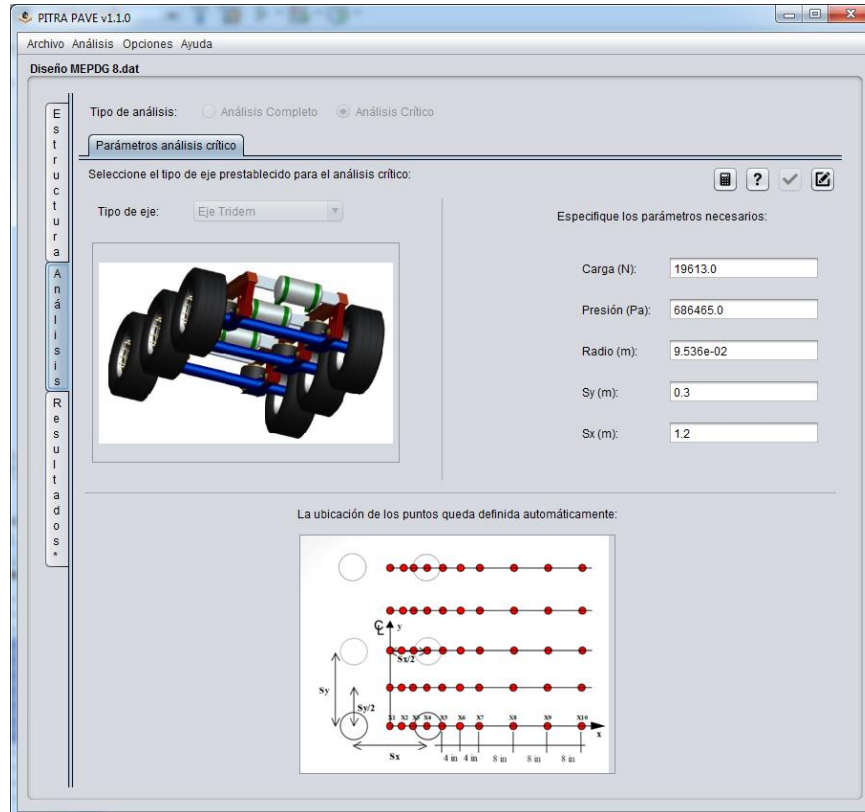


Figura 54. Interfaz gráfica de segunda versión de PITRA PAVE.

8.3. Herramienta retrocálculo y diseño de sobrecapas en pavimentos

Objetivo: Desarrollar una herramienta de cálculo que sirva de apoyo en el análisis estructural de pavimentos y el diseño de sobrecapas asfálticas.

Las labores de diseño en la ingeniería de pavimentos, no solo involucran la definición de las dimensiones y propiedades de una estructura nueva para cumplir con el desempeño requerido ante los deterioros más comunes que puedan presentarse, sino que también debe considerar una adecuada



definición de las estrategias de mantenimiento y rehabilitación requeridas para mantener la estructura en las condiciones ideales para que sea utilizada.

La construcción de sobrecapas asfálticas es una intervención de carácter estructural que como tal, requiere de un diseño que contemple el análisis de las condiciones estructurales del pavimento, que se realiza mediante el retrocálculo de módulos.

El proyecto consiste en el diseño y definición de una herramienta de cálculo que permita realizar el retrocálculo de módulos, como base en el diseño estructural del espesor de sobrecapa asfáltica requerido en una rehabilitación de pavimentos, actualmente las labores se encuentran en su fase inicial. Este software constituye la base para la sección en diseño de rehabilitaciones de la Guía Mecánico-Empírica de Diseño de Pavimentos, CR-ME. Un esquema de su configuración actual se muestra a continuación.

Figura 55. Interfaz PITRA-ME v1.0 para retrocálculo y diseño de sobrecapas



8.4. Herramienta para diseño mecanístico-empírico de pavimentos rígidos CR-ME

Objetivo: Desarrollar una interfaz de cálculo que integre los esfuerzos desarrollados en Costa Rica, en cuanto a la implementación de una Guía de Diseño aplicable a las condiciones del país y extrapolable a países de la región.

Un diseño de pavimentos óptimo debe contemplar el análisis de todas las posibles combinaciones de materiales que permitan la mejor inversión de los recursos disponibles de acuerdo a la realidad del proyecto. Es por esto que la definición de una metodología de diseño debe contemplar tanto el diseño de pavimentos flexibles, rígidos y compuestos.

Para el caso específico de Costa Rica, el algoritmo de diseño inicia en el 2013, orientado al diseño de pavimentos flexibles. Seguidamente en el 2015, bajo la asesoría y dirección de personal del LanammeUCR, el estudiante Ricardo Quirós, desarrolló una interfaz gráfica de cálculo de las respuestas críticas de pavimentos de concreto (AP-Rigid, **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), utilizando ecuaciones de regresión y redes neurales, con base en el análisis de 19683 estructuras, definidas dentro de los rangos de las estructuras típicas costarricenses.

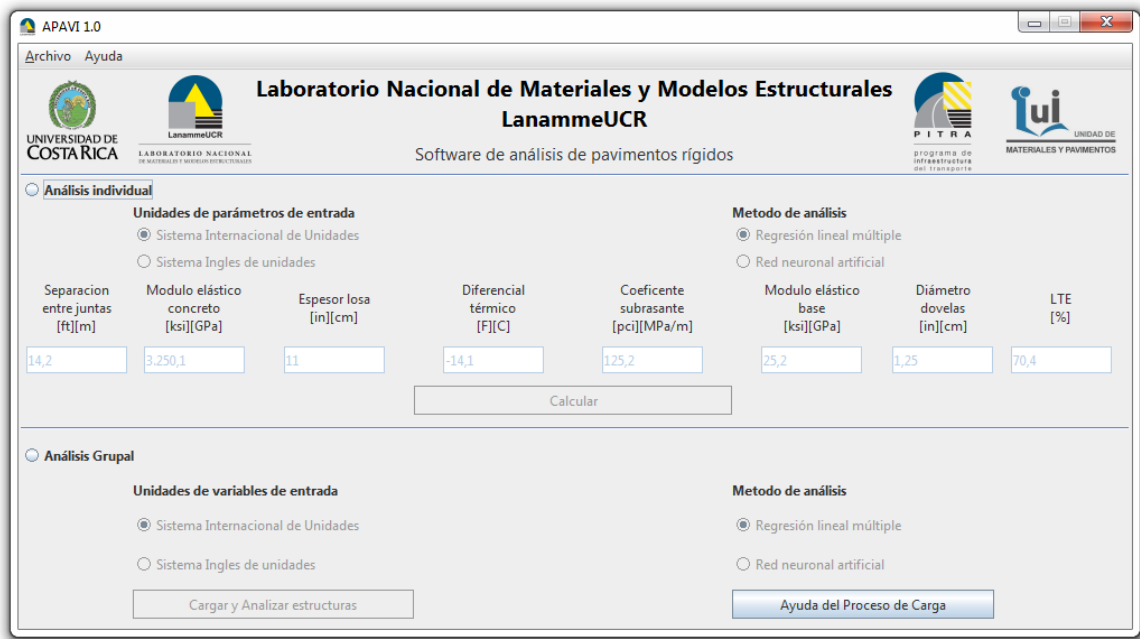


Figura 56. AP-Rigid

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 62 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



Esta herramienta constituye la base para el desarrollo de la sección de la CR-ME pavimentos rígidos y rehabilitaciones.

De acuerdo con los resultados obtenidos, actualmente el algoritmo para el diseño de pavimentos rígidos se encuentra en un 60% de avance, y se espera que esté finalizado este año. La figura muestra un esquema de la configuración de la versión 1.0 del CR-ME en su versión para pavimentos rígidos.



Figura 57. Interfaz PITRA-ME v1.0 para pavimentos rígidos

Adicionalmente, de forma paralela se desarrollaron nuevas ecuaciones para la determinación de la fatiga en pavimentos de concreto (Ec 1), considerando los materiales de proyectos en ejecución y diseños de mezcla típicos en este tipo de obras.

$$\text{Log}(N) = \text{Log}(0,836) - 15,3 \text{Log}(SR) \quad (1)$$

donde, SR = esfuerzo de tensión máximo esperado en el fondo de la losa (σ) y el valor de la resistencia a la tensión del concreto medida con base en el módulo de ruptura (MR) de acuerdo con la Ec 2, N = número de repeticiones a la falla por fatiga.

$$SR = \frac{\sigma}{MR} \quad (2)$$

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 63 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



9. INGENIERÍA DEL TRANSPORTE Y SEGURIDAD VIAL

9.1. Diagnóstico sobre movilidad ciclista

Objetivo: Desarrollar y aplicar metodologías para la evaluación de facilidades para ciclistas en el país mediante el análisis de casos de facilidades existentes para generar una guía técnica aplicable a futuras ciclovías, así como obtener criterios de diseño y desempeño de la infraestructura.

Una de las líneas de investigación de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte es la movilidad ciclista. El proyecto consistió en desarrollar y aplicar metodologías para la evaluación de facilidades para ciclistas en el país mediante el análisis de casos. La evaluación incluyó el análisis de movilidad ciclista en lugares que cuentan con demanda para ciclista, tanto para lugares con facilidades existentes como para los que no cuentan con las mismas. Se generó una guía técnica aplicable a futuras ciclovías, que incluyó una investigación de la bibliografía en materia de ciclovías para determinar las características de diseño de la infraestructura para el uso de bicicletas generando criterios de diseño y de desempeño de la infraestructura desde la perspectiva ciclista, incluyendo aspectos de seguridad vial. A través de diferentes estudios se caracterizaron a ciclistas actuales tanto en zonas urbanas como en zonas rurales. Los estudios incluyen una evaluación de las ciclovías existentes en los cantones de Cartago y Puntarenas. Se evaluó la movilidad ciclista en el sector de El Roble y Barranca en Puntarenas, en el campus de la Universidad de Costa Rica, así como en diferentes sectores al oeste de la ciudad de Cartago incluyendo localidades como Tejar, Tobosí, Guadalupe, entre otras.



Figura 58. Análisis de movilidad de ciclistas.

9.2. Diagnóstico sobre transporte público

Objetivo: Evaluar y planificar el sistema de transporte público especial de la Universidad de Costa Rica, específicamente en la sede Rodrigo Facio, a partir de indicadores sobre el desempeño y calidad de los servicios, específicamente el autobús.

El estudio busca evaluar y planificar rutas de autobuses para centros universitarios, tomando como punto de partida el caso de estudio del servicio de transporte de estudiantes de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica. Por lo tanto, el objetivo específico consiste en evaluar y planificar el sistema de transporte público especial de la Universidad de Costa Rica.

La evaluación se realizó a través de los indicadores sobre el desempeño y calidad del servicio de transporte público, específicamente la modalidad de autobús. A partir de los datos generados en la evaluación del servicio, en conjunto con la distribución de los orígenes de los viajes hacia la universidad, se está planeando mejoras para el sistema existente.



Figura 59. Demanda de transporte público.

9.3. Entorno urbano y movilidad activa

Objetivo: Evaluar las cualidades del entorno urbano para promover la movilidad activa en una muestra de vías de Montes de Oca, en San José, Costa Rica

La movilidad ha sido descrita como uno de los tres principales factores contribuyentes a la huella ecológica en las ciudades y sobre todo en los campus universitarios.

La incorporación de movilidad activa resulta en la protección del ambiente y la disminución de enfermedades originadas por contaminación de aire, así como un ambiente menos saturado de vehículos, calles más seguras y mejoramiento en la condición física de la población.

A través del desarrollo y validación de protocolos confiables para la medición objetiva del tráfico peatonal y ciclista en el área bajo estudio, se buscará construir un modelo predictivo de movilidad activa con base en dimensiones implícitas del entorno, a saber: imaginabilidad, contención, escala humana, transparencia y complejidad. La identificación de los pesos relativos de tales variables para predecir movilidad activa redundará en una toma de decisiones más efectiva a la hora de planear intervenciones en el espacio público para así incrementar dicha movilidad activa y el bienestar de la población.

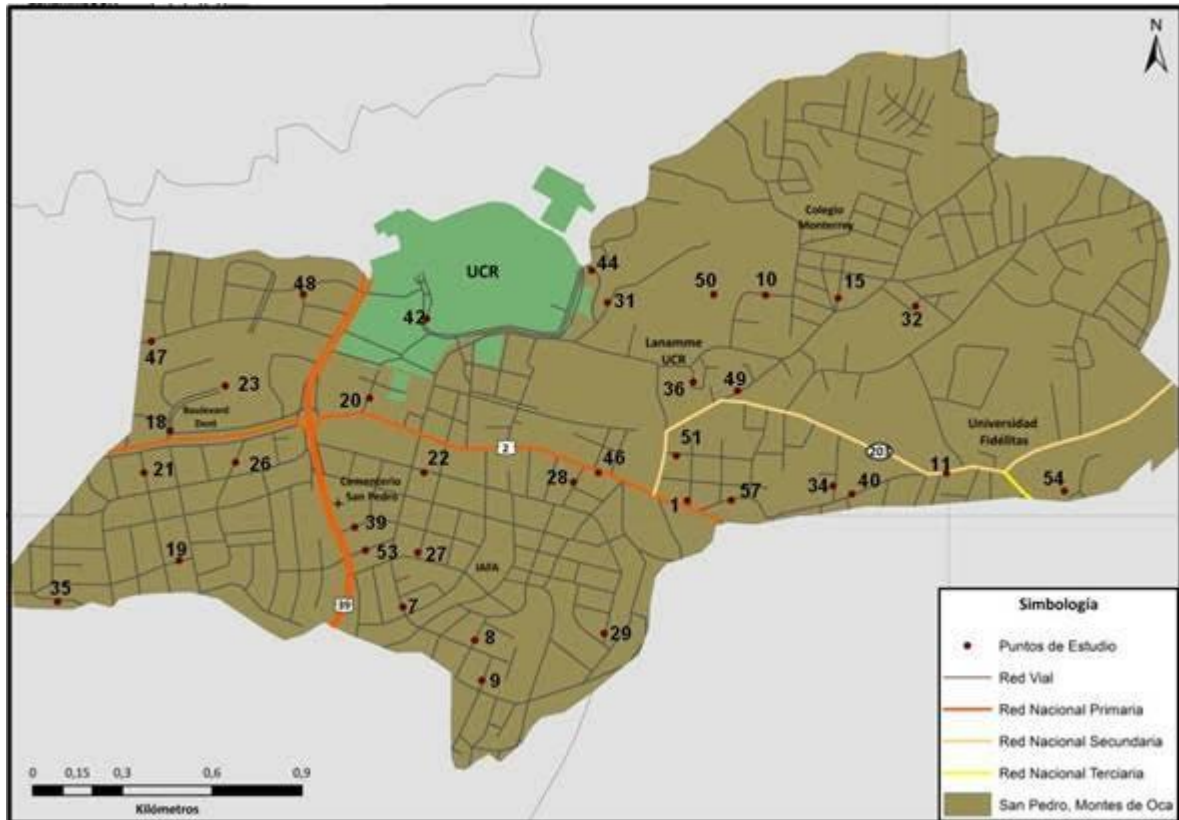


Figura 60. Ubicación de los puntos de estudio en el distrito San Pedro, cantón Montes de Oca.

9.4. Guía de diseño para facilidades peatonales: caso de estudio en San Pedro de Montes de Oca

Objetivo: Elaborar una guía básica de diseño y de escogencia de facilidades peatonales, de acuerdo a las necesidades de los peatones, considerando condiciones del flujo vehicular e infraestructura vial presente.

Actualmente en Costa Rica, los entes gubernamentales han hechos esfuerzos para resguardar la seguridad y el bienestar de los peatones; no obstante, es necesario entender la importancia de conocer su comportamiento, factores geométricos de la infraestructura vial, y características del flujo vehicular que transita en la ruta antes de hacer propuestas de nuevos diseños de cruce. La existencia de diseños eficientes que permitan separar las personas de los vehículos y faciliten cruzar las vías de manera segura es crucial para garantizar un ambiente que propicie seguridad para todos los usuarios.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 67 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



Por otro lado, el diseño ineficiente puede fomentar que se haga caso omiso a la Ley de Tránsito y otras normas de seguridad. De acuerdo con lo anterior, se elaboró una guía básica de diseño para facilidades peatonales que considera tanto el comportamiento peatonal, señalamiento necesario y el volumen de vehículos y peatones, con el fin de que sea una herramienta de gran utilidad tanto para proyectos y vías existentes como cuando se realizan modificaciones o nuevos proyectos. En los siguientes cuadros se muestran algunos productos de la investigación, donde se muestra la clasificación de las zonas de estudio, según la velocidad y distancia de cruce, así como la facilidad de cruce que se recomienda para cada zona.

Tabla 2. Clasificación de zonas según distancia de cruce y velocidad

Distancia total del cruce	Trazado de la vía	Velocidad				
		< 50km/h	50km/h	60km/h	70km/h	≥ 80km/h
Un carril ≤ 3,5m	Una vía	A	B	E		G
Dos carriles ≤ 7,0m	Una vía					
		Doble vía				
Tres carriles 7,0m < x ≤ 10,5m	Una vía	C				
	Doble vía					
Cuatro carriles 10,5m < x ≤ 14,0m	Doble vía (2 carriles/vía)	C		F		
Seis carriles 10,5m < x ≤ 21,0m	Doble vía (3 carriles/vía)				No aplica	D

Nota: Tomado del trabajo final de graduación "Guía de diseño para facilidades peatonales con un caso de estudio en el distrito de San Pedro de Montes de Oca" (Araya et al., 2015)



Tabla 3. Instalaciones de cruce peatonal recomendadas según la zona

Tipo de cruce	Instalación	Zona						
		A	B	C	D	E	F	G
Auxiliares de cruce	Reductor de velocidad	✓						
	Extensión de bordillo	✓	✓	✓				
	Medianera			✓				
	Isla o Refugio peatonal				✓			
Cruce a nivel	Plataforma peatonal	✓						
	Cruce a media cuadra	✓						
	Paso de cebra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Semáforo peatonal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Cruce a desnivel	Puente peatonal						✓	✓
	Túnel peatonal						✓	✓

Nota: Tomado del trabajo final de graduación "Guía de diseño para facilidades peatonales con un caso de estudio en el distrito de San Pedro de Montes de Oca" (Araya et al., 2015)

Los pasos a seguir en esta investigación es aplicar la guía a otros entornos urbanos, de modo que se valide la metodología; además, esta investigación se podría tomar de base para elaborar una guía para zonas rurales.

9.5. Desempeño de la demarcación vial horizontal en Costa Rica a través del parámetro de la retrorreflectividad

Objetivo: Analizar el desempeño y durabilidad de diferentes sistemas de demarcación vial horizontal en diversas rutas nacionales bajo diferentes condiciones climáticas, estado de la superficie de rodamiento y volúmenes vehiculares, a partir de mediciones periódicas de retrorreflectividad horizontal, contrastando los resultados con aquellos del simulador de vehículo pesado, o HVS.

Las condiciones topográficas y climatológicas de nuestro país realzan la necesidad de contar con vías adecuadamente demarcadas, con materiales de alta calidad y durabilidad, con el fin de mejorar los niveles de seguridad vial para todos los usuarios de la vía y disminuir el riesgo de ocurrencia de

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 69 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



accidentes de tránsito. Este proyecto de investigación forma parte del desarrollo de especificaciones técnicas que el Pitra-LanammeUCR está realizando en diversos temas del área vial. El resultado de este estudio complementará las normas que ha desarrollado el Comité CTN-11 de INTECO para asegurar la calidad de los materiales de demarcación vial horizontal; todo ello para que la Administración pueda mejorar sus carteles de licitación en sus proyectos de demarcación vial y que pueda ejercer el control de calidad adecuadamente.

El objetivo general de esta investigación es analizar el desempeño y durabilidad de diferentes sistemas de demarcación vial horizontal en diversas rutas nacionales con diferentes condiciones (climáticas, estado de la superficie de rodamiento y volúmenes vehiculares), a partir de mediciones periódicas de retroreflectividad horizontal, que permita generar recomendaciones sobre el uso adecuado del material de demarcación vial, adaptado a las condiciones propias del país.



Figura 61. Medición de retroreflectividad en demarcación horizontal.

Como parte del proyecto, se realizó la evaluación del desempeño del material termoplástico y pintura base solvente utilizando el simulador de vehículo pesado, o HVS, en el PaveLab del PITRA-LanammeUCR. Con este experimento se busca evaluar el desempeño con el simulador para establecer correlaciones entre la retroreflectividad, el desgaste a lo largo del tiempo y el tránsito, mediante curvas de desgaste.



9.6. Guía básica para un plan de contingencia vial. Caso: Colapso de las Alcantarillas de los ríos Ocloro y Quebrada Los Negritos sobre la Carretera de Circunvalación (Ruta 39)

Objetivo: Elaboración de una guía básica para un plan de contingencia vial en caso de interrupción parcial o total de una ruta importante de la Red Vial Nacional, tomando como ejemplo el caso del eventual colapso de las alcantarillas de los ríos Ocloro y la quebrada Los Negritos sobre la carretera de Circunvalación, Ruta 39.

El fallo o colapso de estructuras importantes de una red vial como lo son los puentes, taludes, alcantarillas o cualquier otro elemento puede afectar parcial o totalmente el funcionamiento del tránsito vehicular. A raíz de esto, se generan serios problemas de congestión y colapso del sistema vial, más aún cuando no se cuenta con vías alternas definidas para canalizar el flujo de vehículos que regularmente circulan por un punto en específico.

De acuerdo con lo anterior, en la investigación se diseñará una guía básica para un plan de contingencia vial en caso de que se presente un acontecimiento que interrumpa de forma parcial o total una ruta importante de la Red Vial Nacional, tomando como ejemplo el caso del eventual colapso de las alcantarillas de los ríos Ocloro y la quebrada Los Negritos sobre la carretera de Circunvalación, Ruta 39. Dicha investigación está en la fase de revisión de informe final.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 71 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



UBICACIÓN EN BING ROAD

SITUACIÓN	RUTAS ALTERNAS, QUEBRADA LOS NEGRITOS		Simbología	
Provincia / Cantón / Distrito	Nombre	X (m)	Y (m)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zona de trabajo ■ Barreras R-15-2 ■ IP-3-1,2 ◆ PP-7-14 — RA-1.1 — RA-1.2 — RA-2.1 — RA-2.2 — RA-2.3
San José / Montes de Oca / San Pedro	Quebrada Los Negritos	494051.592	1098782.35	 Karen Herrera A. Fecha: 11/04/2016
San José / San José / Zapote	Coordenadas en sistema CRTM05			

Figura 62. Rutas alternas y señalización para el cierre vial sobre quebrada Los Negritos
Nota: Tomado del trabajo final "Plan de Manejo de Tránsito: Intervención de las Alcantarillas de los ríos Ocloro y Quebrada Los Negritos sobre la Carretera de Circunvalación (Ruta 39)" (Herrera, 2016)

9.7. Análisis de movilidad peatonal entre las fincas de la sede Rodrigo Facio para mejorar su seguridad vial

Objetivo: Analizar la movilidad peatonal entre las fincas de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica para generar mejores condiciones de transitabilidad y seguridad vial.

Actualmente, la infraestructura peatonal en los alrededores de la Universidad de Costa Rica tiene dos grandes problemas: 1. que se encuentra en un estado deficiente, lo cual dificulta el tránsito de los



peatones, 2. que ha aumentado la demanda de viajes por el traslado de las facultades de Ciencias Sociales e Ingeniería Eléctrica a la Ciudad de la Investigación (Finca 2).

Además, se han encontrado proyectos de préstamo de bicicletas como “Bicis FEUCR” que promueven el uso de bicicletas para la movilidad activa de estudiantes entre fincas, sin tener algún plan de mejora de infraestructura que mejore la seguridad de los ciclistas durante sus viajes entre fincas.

Esta investigación se ve como una oportunidad para mejorar la infraestructura actual de peatones y ciclistas para que estos usuarios transiten de manera segura y agradable. Se busca una mejora del espacio de tránsito de manera que sea integral, es decir, un lugar donde puedan coexistir los peatones, los ciclistas y conductores. De esta manera, se busca fomentar la movilidad activa la cual contribuye a mejorar la salud de la comunidad universitaria, y a la descongestión del transporte de la Universidad de Costa Rica lo que disminuiría la contaminación del aire.

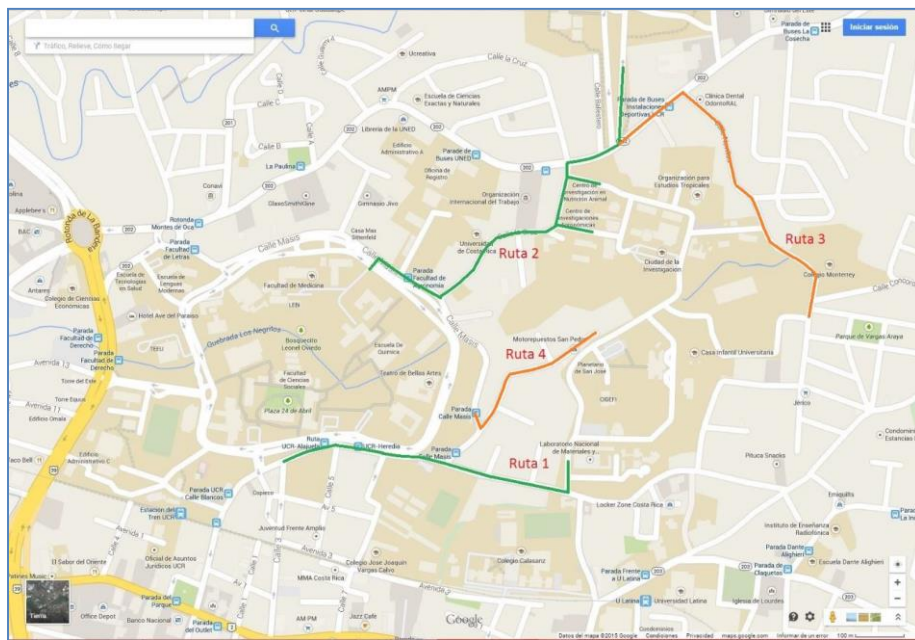


Figura 63. Delimitación de rutas peatonales entre fincas de la Sede Rodrigo Facio

Nota: Tomada del TFG "Análisis de movilidad entre las fincas de la Sede Rodrigo Facio para mejorar la seguridad vial de peatones y ciclistas" (Stradi, et. al, 2015)

Actualmente los resultados están siendo considerados por la Oficina de Servicios Generales de la UCR para implementar algunas de las recomendaciones.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 73 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



9.8. Costos de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012

Objetivo: Determinar el costo económico de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el año 2012.

Los costos incurridos en los accidentes de tránsito son generalmente subvalorados en Costa Rica. De hecho, existen pocos estudios en el país que logran cuantificar los costos incurridos, estas investigaciones poseen pocos alcances y grandes limitaciones debido a la poca convergencia y facilidad de recopilar la información de las diferentes instituciones involucradas. Históricamente en Costa Rica, los accidentes de tránsito representan una de las principales causas de muerte violentas, afectando directamente la producción nacional debido a que la mayor cantidad de las muertes que ocurren son en la etapa laboral de los individuos. Con esta investigación se logró determinar que el costo económico de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012, fue de 398 127 millones de colones, lo que representa el 1,73% del PIB para el año en estudio.

Tabla 4. Costos de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012

Costos Directos		Costos Indirectos	
Daños Materiales	61 000 millones	CH Hombres	280 647 millones
CCSS – INS	30 719 millones	CH Mujeres	25 062 millones
Cruz Roja Costarricense	699 millones		
TOTAL	92 418 millones	TOTAL	305 709 millones
TOTAL COSTO ACCIDENTES DE TRÁNSITO 2012		398 127 millones	

Nota: Tomada del trabajo final de graduación "Costos de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012" (Segreda et al., 2015)

Lo que se espera es que se internalicen estos costos y que se consideren en las evaluaciones socioeconómicas de los proyectos de transporte los beneficios de la seguridad vial.



9.9. Utilización del vehículo compartido para viajar a la sede Rodrigo Facio en la Universidad de Costa Rica

Objetivo: Implementar un plan piloto en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica de un sistema de vehículo compartido, con el fin de mejorar las condiciones de movilidad en el campus.

La Oficina de Servicios Generales de la Universidad de Costa Rica está implementando el Proyecto de Movilidad Activa, con el fin de mejorar la movilidad en la Sede Rodrigo Facio. Una de las medidas que se desea implementar es el proyecto "Carro Compartido UCR", para lo cual se implementó un plan piloto entre agosto y octubre del 2015. Durante los 14 días de duración del plan piloto, se realizaron 170 viajes en carro compartido, con una participación de 579 personas.

Los resultados del plan piloto se presentaron a la Vicerrectoria de Administración en noviembre 2015, fecha en que se tomó la decisión por parte de la VRA de seguir con el programa en forma permanente, para lo cual la Oficina de Servicios Generales, está valorando los recursos necesarios para implementar el plan a partir del segundo semestre 2016.

En este proyecto la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR ha venido apoyando a la OSG, junto con estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR.



Figura 64. Participantes en el proyecto piloto Carro Compartido UCR

Nota: Fotografías tomadas por los estudiantes que estuvieron a cargo del plan piloto, octubre 2015.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 75 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



9.10. Elaboración de una guía de mantenimiento en campo para sistemas de contención vehicular de uso en Costa Rica

Objetivo: Desarrollar una guía de mantenimiento en campo para sistemas de contención vehicular.

Dentro del tema de seguridad vial, los sistemas de contención vehicular (SCV) constituyen uno de los elementos más importantes debido a su función como uno de los principales reductores de severidad en accidentes por salida de la vía. Por esta razón, resulta de interés que se realice su adecuada instalación y mantenimiento.

En Costa Rica se han desarrollado esfuerzos por establecer lineamientos técnicos para la colocación de estos sistemas conforme lo indica el fabricante, sin embargo, en la práctica estos no se aplican y se recurre a errores que hacen que los SCV pierdan su funcionalidad. A esto se suma la falta de mantenimiento oportuno posterior a un impacto o para prevenir su deterioro por condiciones ambientales; por lo que resulta oportuno generar una herramienta que facilite a los inspectores de SCV en campo identificar deterioros y realizar el procedimiento adecuado de mantenimiento. En la Figura siguiente se observa un ejemplo de un sistema de contención instalado en el país.



Figura 65. Sistema de contención colocado en la Florencia del Castillo
Nota: Fotografía tomada en mayo 2016



9.11. Propuesta de criterios para la regulación del uso e instalación de vallas digitales en la red vial de Costa Rica

Objetivo: Proponer los criterios técnicos necesarios para regular el uso e instalación de vallas digitales en la red vial de Costa Rica.

En los últimos años, se ha incrementado el uso de las vallas digitales como medios de comunicación en las carreteras del país. El Ministerio de Obras Públicas y Transportes regula en Costa Rica todo lo referente a la actividad publicitaria en los derechos de vía, tal como el Decreto Ejecutivo No. 2925-3 MOPT, denominado “*Reglamento de los derechos de vía y publicidad exterior*”. En este decreto se proveen los lineamientos para la instalación de vallas, entre los cuales se regulan la instalación, la altura, la distancia, la medida y la visibilidad de las vallas; sin embargo, no hay una definición clara de qué es una valla, y si incluye o no las vallas digitales.

Aún con este vacío en la legislación actual sobre la publicidad exterior en carreteras, las vallas digitales han operado en el país aproximadamente desde el año 2010, sin contar con una regulación sobre su uso o instalación.

Desde el punto de vista de la seguridad vial, es fundamental controlar principalmente las condiciones de luz en las vallas digitales, de manera que estas no sean perjudiciales para los usuarios en carreteras. Algunos estudios han demostrado que los conductores tienden a observar las vallas digitales durante periodos de tiempo más prolongados en comparación con otros tipos de anuncios y señales; sin embargo, no se ha demostrado que esto tenga un efecto directo en la seguridad vial.

La luz emitida por la valla puede provocar impactos adversos en el comportamiento y el desempeño de los usuarios, como por ejemplo la dificultad para ver la valla y leer su contenido cuando se alcanzan niveles de luminancia altos, sobre todo durante la noche.

Los equipos que se muestran en las figuras se utilizarán para realizar las mediciones de iluminancia y luminancia, respectivamente.



Figura 66. Equipo para la medición de la iluminancia.



Figura 67. Equipo para la medición de la luminancia.

El proyecto de investigación busca ser un insumo muy importante para establecer parámetros de iluminación que procuren evitar que estas sean perjudiciales para la visibilidad del conductor y lleguen a constituir un peligro potencial para los usuarios.



10. PUENTES

10.1. Monitoreo de puentes

Objetivo: Monitoreo de puentes en sitio.

Como parte del proyecto se están monitoreando los siguientes puentes:

- Puente río Virilla, ruta 1
- Puente río Virilla, ruta 32
- Puente río Seco, Ruta 1
- Puente río Grande, Ruta 27
- Puente río Tempisque, ruta 18
- Puente río Tarcoles, Ruta 34
- Puente río Tenorio Ruta 1
- Pasos a desnivel sobre ruta 102, ruta 32

Adicionalmente, se busca calibrar las repuestas de los puentes, así como simular el efecto de cargas dinámicas en los mismos mediante el uso de mesas vibratorias. Inicialmente se está trabajando en la calibración del puente sobre el río Tenorio Ruta No.1, puente sobre el río Tempisque Ruta No.18 y del puente sobre el río Grande Ruta No.27.

Igualmente, se está desarrollando un sistema de medición de deformaciones con análisis de imagen para complementar el monitoreo actual de los puentes indicados y otros que se incluirán a futuro.

10.2. Otros Proyectos

Adicionalmente, se está trabajando en los siguientes proyectos relacionados a puentes:

10.2.1. Ensayos No Destructivos (END):

- a. Losa de concreto de referencia de Ensayos No Destructivos para validación, calibración, investigación, desarrollo, divulgación, combinación y certificación de métodos y equipos de END. Se está trabajando en una propuesta geométrica justificada, así como en el presupuesto preliminar.
- b. Combinación de END para gestión de losas de concreto de puentes. Por medio de la utilización de la combinación de los métodos de Termografía Infrarroja, Impacto Eco, Impulso Respuesta, y GPR, se realiza la inspección de varios puentes de un determinado corredor vial y se determina el estado general de los mismos como una ayuda en el tema de gestión de activos. Se está trabajando en una propuesta para sistematizar y programar los resultados de las inspecciones con todos los



métodos antes mencionados de manera tal que el procesamiento de los datos sea lo más eficiente posible.

- c. Propuesta de tesis de licenciatura para un proyecto cuyo objetivo es la calibración del método de Impacto Eco para Costa Rica en la evaluación del mortero de inyección de ductos de postensión en vigas presforzadas de puente. El objetivo es poder evaluar en el sitio si los ductos de postensión se rellenan adecuadamente durante la etapa constructiva, lo cual es muy importante desde el punto de vista de desempeño de estos elementos.

10.2.2. Elaboración de un Manual de Daño para puentes en Costa Rica. Se está trabajando en la investigación y elaboración de un manual que incluya el rango de daños más comunes en los puentes de Costa Rica, de manera tal que los mismos estén evaluados de acuerdo al tipo de daño, a la extensión y a la severidad.

10.2.3. Soluciones ABC (Construcción Acelerada de Puentes) para regiones de alto riesgo sísmico. El proyecto incluyó la falla de un elemento prototipo de una propuesta innovadora para rehabilitación y construcción sísmica de puentes. El documento final se encuentra en la fase de redacción. Nombre del informe: *Estudio experimental de vigas diafragma prefabricadas en los extremos de puentes viga-losa de concreto.*

10.2.4. Desarrollo de una guía para la determinación de condición en puentes mediante inspección visual para Costa Rica (culminada primera propuesta). A este proyecto se asocia la generación de un catálogo de daños en puentes (en desarrollo).

10.2.5. Investigación sobre las características del inventario de puentes en Costa Rica (publicada base de datos inicial, datos se actualizan y están disponibles al público en la web).

10.2.6. Desarrollo de un protocolo de atención de puentes en caso de sismo. El proyecto contempla: a) Investigación sobre aspectos de vulnerabilidad sísmica de los puentes en Costa Rica (inclusive licuefacción), b) Estimación de daños por sismo en puentes en tiempo real (desarrollada en conjunto con el LIS-INII), c) Priorización de inspección, rehabilitación y estimación de pérdidas por sismo en puentes, d) Propuesta de protocolo de respuesta para atención de puentes luego de sismo (Desarrollo de herramientas de campo para captura rápida de datos de inspección y propuesta de tipos de inspecciones y formularios), e) Análisis del daño en puentes luego del sismo de Samara del 2012 y calibración de los modelos de daño esperado, f) Determinación de la importancia operacional de los puentes en caso de sismo para la red vial nacional de Costa Rica y g) Proyecto de densificación de la red de acelerógrafos en las áreas cercanas a puentes importantes (en SIPPRES, realizado en conjunto con LIS-INII).

10.2.6. Evaluación de la capacidad de carga viva vehicular en superestructuras de puentes de vigas pre-esforzadas en Costa Rica, enfocado en los puentes de la Ruta 32.

10.2.7. Evaluación de la capacidad de carga en puentes utilizando los pesos vehiculares permitidos en Costa Rica, enfocado en puentes de acero y en la investigación del efecto de los pesos vehiculares permitidos en Costa Rica por el Decreto 31363.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 24 de junio de 2016	Página 80 de 80
----------------------------	---------------------------------------	-----------------