

PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE



## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

PROPUESTA: LM-PI-UMP-015-P

### FASE II:

# CARACTERIZACIÓN DE PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP) EN EL LABORATORIO

Preparado por:  
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica  
marzo de 2014


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

Preparado por: Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-  
LanammeUCR [luis.loriasalazar@ucr.ac.cr](mailto:luis.loriasalazar@ucr.ac.cr)





Información técnica del documento

1. Informe LM-PI-UMP-015-P		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: FASE II: CARACTERIZACIÓN DE PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP) EN EL LABORATORIO		4. Fecha del Informe marzo de 2014
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 reciente concepto: Caminos Sostenibles, ha surgido por medio de los beneficios económicos y ambientales -como: la escasez de espacios para acopio de este tipo de materiales, la falta de materia prima disponible y el gasto energético asociado- ocurridos a causa de la utilización de materiales reciclados de la carpeta asfáltica en pavimentos.</i>  <i>Es por esto que la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-LanammeUCR, en conjunto con el Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO), del Instituto Tecnológico de Costa Rica, ha generado una línea de investigación en este tema.</i>  <i>El presente documento propone las labores a desarrollar para la segunda fase definida en tal línea de investigación y que se titula: Caracterización de pavimento asfáltico reciclado en el laboratorio.</i>  <i>Esta fase consistirá en realizar una comparación técnico-económica entre mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas con material reciclado, con el objetivo de estudiar la factibilidad del uso de este material, para igualar o mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas convencionales.</i>		
10. Palabras clave RAP, reciclaje, pavimentos	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 14
13. Preparado por: Ing. Sergio Fernández Cerdas MSc. Investigador Instituto Tecnológico de Costa Rica  Fecha: 07 / 03 / 14		
14. Revisado por: Ing. José Pablo Aguilar Moya, Ph.D. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 07 / 03 / 14	15. Revisado y aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: 07 / 03 / 14	



## TABLA DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
1.1 PROBLEMA PLANTEADO .....	5
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.5 MARCO TEÓRICO .....	8
<b>2. METODOLOGÍA PROPUESTA .....</b>	<b>11</b>
<b>3. RESULTADOS / PRODUCTOS ESPERADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>4. CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....</b>	<b>14</b>
<b>6. RECURSOS NECESARIOS.....</b>	<b>15</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>15</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DEMANDA DE ENERGÍA POR TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	10
--	----

### ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESULTADOS / PRODUCTOS ESPERADOS.....	12
TABLA 2. PRODUCTOS ESPERADOS .....	13
<b>TABLA 3. RESPONSABLES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>14</b>
TABLA 4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	14
TABLA 5. RECURSOS NECESARIOS .....	15



## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el reciclaje de desechos y su incorporación en mezclas compuestas vírgenes tales como mezclas de agregados, concretos hidráulicos y asfálticos, se ha convertido en un frecuente objeto de investigación en varios países desarrollados debido a la gran cantidad de desechos que se generan anualmente y a la actual escasez de recursos no renovables. Adicionalmente, se cree que la utilización de desechos reciclados puede llegar a igualar o a mejorar las propiedades mecánicas y funcionales de dichos materiales para aplicaciones en obras civiles. Este es el caso de materiales tales como el pavimento asfáltico reciclado (RAP), las tejas asfálticas (RAS) y el caucho de neumáticos (CR).

El asfalto reciclado ha sido utilizado en los Estados Unidos desde 1970 como sustituto de agregado grueso y fino así como una valiosa fuente de cemento bituminoso que puede ser reincorporado en mezclas asfálticas vírgenes. Las técnicas de reciclaje cobraron fuerza a raíz de la escasez y a la subsecuente alza en los precios del crudo. La incorporación de este material ha generado ahorros económicos significativos en la producción de mezclas asfálticas ya que reduce la demanda de materiales no renovables tales como el cemento bituminoso y los agregados pétreos. De igual forma, la gran cantidad de desechos generados por el tratamiento inadecuado de escombros y residuos asfálticos ha sido reducida significativamente. Otros beneficios asociados a los costos por transporte, la conservación de energía durante la producción y el mantenimiento de la geometría del camino son también mencionados. Durante los últimos 15 años, las técnicas de reciclaje han incrementado significativamente con la aparición de máquinas perfiladoras y el desarrollo e innovación de las plantas de producción continua que incluyen tambores mezcladores que permiten la incorporación del reciclado. Tal es el éxito de las técnicas de reciclaje que el pavimento asfáltico reciclado se ha convertido en el material de mayor reciclaje en los Estados Unidos. De acuerdo a la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos, aproximadamente 30 millones de toneladas de este material son reciclados en este país como parte de estructuras de pavimento flexible.

Numerosas investigaciones han comparado las propiedades volumétricas y el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente con y sin la adición de asfalto reciclado tanto en laboratorio como en campo. Los resultados han demostrado que la presencia del reciclado asfáltico en mezclas asfálticas vírgenes genera propiedades volumétricas y mecánicas similares a la de las mezclas asfálticas convencionales, siempre y cuando se regulen los porcentajes de asfalto reciclado debido a que un

exceso de este material puede ocasionar agrietamientos por fatiga y pérdida de consistencia de la mezcla que puede derivar en problemas de compactación.

### 1.1 Problema planteado

Como se mencionó anteriormente, el uso del asfalto reciclado puede reducir significativamente los costos de construcción en caminos y hace del proyecto menos dependiente al uso de materiales no renovables tales como el cemento bituminoso y los agregados pétreos. Los crecientes precios de ambos materiales, especialmente del cemento asfáltico, han obligado a muchos países a utilizar porcentajes de pavimento asfáltico reciclado en altas proporciones. En Costa Rica, la práctica del reciclaje es poco implementada debido a la falta de su conocimiento en cuanto a su obtención, manipulación en planta y producción de mezclas. Por esta razón, el presente proyecto pretende demostrar las ventajas del uso del asfalto reciclado en mezclas asfálticas vírgenes así como fomentar la relación entre el sector privado, los departamentos de transporte del Estado y la academia en términos de investigación e implementación de los resultados obtenidos.

### 1.2 Objetivo general

Realizar una comparación técnico-económica entre mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas con pavimento asfáltico reciclado para concluir sobre la factibilidad del uso del material reciclado para igualar o mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas convencionales.

### 1.3 Objetivos específicos

## Fase I: Caracterización de pavimento asfáltico reciclado

- Caracterizar las fuentes de pavimento asfáltico reciclado existentes para concluir sobre su factibilidad como sustituto de agregado grueso y fino en mezclas asfálticas vírgenes.
- Estimar la variabilidad de las propiedades físicas y mecánicas del pavimento asfáltico reciclado y compararla con la variabilidad obtenida para el agregado pétreo virgen.
- Concluir sobre el potencial del pavimento asfáltico reciclado para satisfacer las características deseables esperadas en los agregados pétreos vírgenes para su uso en mezclas asfálticas en caliente de acuerdo con la especificación CR-2010.



- Estudiar las características del cemento asfáltico extraído del material reciclado para predecir su efecto sobre el cemento asfáltico virgen al combinarse durante la producción de una mezcla asfáltica en caliente.
- Estimar la cantidad de cemento asfáltico que es posible recuperar y re-utilizar la cual permita disminuir los porcentajes de cemento asfáltico virgen que comúnmente son considerados en mezclas asfálticas convencionales.

### **Fase II: Caracterización volumétrica y mecánica en el laboratorio**

- Determinar las características volumétricas de las mezclas asfálticas para capas de rodadura y bases asfálticas utilizando diferentes porcentajes de pavimento asfáltico reciclado para determinar un porcentaje óptimo que garantice un buen desempeño de la capa asfáltica.
- Aplicar ensayos de desempeño en el laboratorio para estimar las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico reciclado
- Comparar las propiedades volumétricas y mecánicas de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de pavimento asfáltico reciclado contra mezclas asfálticas convencionales para determinar si la inclusión de pavimento asfáltico reciclado iguala o supera el desempeño de las mezclas asfálticas convencionales.
- Recomendar una metodología de diseño de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico reciclado a nivel nacional para obtener el desempeño esperado de la capa asfáltica durante su vida útil.

### **Fase III: Tratamiento en planta, producción y construcción**

- Recomendar una metodología de diseño de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico reciclado a nivel nacional para obtener el desempeño esperado de la capa asfáltica durante su vida útil.
- Recomendar un procedimiento para la recuperación en sitio, transporte y tratamiento del pavimento asfáltico reciclado en planta.
- Definir los componentes necesarios para la incorporación de pavimento asfáltico reciclado en plantas de producción continua y por proporción.

- Verificar la consistencia del proceso de producción de mezclas asfálticas con reciclado asfáltico mediante gráficos de control y pruebas de control de calidad y compararla con mezclas asfálticas convencionales.
- Realizar un análisis comparativo de costos de producción entre mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas con asfalto reciclado.
- Colocar una sección de prueba con mezcla asfáltica convencional y una sección de prueba con mezcla asfáltica conteniendo pavimento asfáltico reciclado.
- Ejecutar controles de compactación en campo para determinar si la adición de pavimento asfáltico reciclado influye negativamente en el porcentaje de compactación.

#### **Fase IV: Evaluación de desempeño a corto, mediano y largo plazo**

- Monitorear el comportamiento estructural y funcional de las dos secciones colocadas mediante métodos de instrumentación, estudios de auscultación, estudios de regularidad superficial y evaluaciones estructurales periódicas con métodos no destructivos apropiados.
- Generar las curvas de deterioro para la sección de control y la sección compuesta con pavimento asfáltico reciclado para comparar su desempeño en campo y estimar los costos asociados
- Concluir sobre si el pavimento asfáltico reciclado presenta un comportamiento similar o mejor a la mezcla asfáltica convencional.

#### **1.4 Justificación**

Durante los últimos años, el Estado Costarricense ha estado focalizando gran parte de sus recursos económicos al mantenimiento y rehabilitación de la red vial nacional y municipal. Algunas veces, estas actividades requieren de estrategias que involucran la remoción de capas asfálticas deterioradas que generan una gran acumulación de desechos los cuales carecen de un plan de tratamiento o reutilización que permitan su reducción. De igual forma, no es un secreto que el precio del crudo ha subido considerablemente durante los últimos años y la explotación de recursos no renovables en canteras y ríos ha causado un impacto ambiental contraproducente para nuestro país. La modernización de la industria del asfalto ha traído consigo la aparición de equipos que permiten extraer materiales asfálticos de un camino, tratarlos en planta, incorporarlos a nuevas mezclas asfálticas e incluso recuperarlos, mezclarlos y colocarlos simultáneamente en sitio como lo es el caso del reciclado en frío y en caliente. El uso eficiente de reciclados asfálticos en los Estados Unidos y Europa demuestra el potencial que tienen estos materiales para reducir costos energéticos y la explotación de recursos no

Propuesta LM-PI-Ump-015-P	Fecha de emisión: 07 de marzo de 2014	Página 7 de 16
---------------------------	---------------------------------------	----------------

renovables aunado al ahorro económico que conlleva la producción de mezclas asfálticas con dichos materiales. El beneficio se hace aún más grande ya que el desempeño mecánico y funcional de algunos materiales conteniendo reciclados asfálticos ha demostrado ser igual o mejor a materiales producidos con materias primas convencionales. Es importante mencionar que la industria del asfalto debe estar preparada para conocer los efectos del reciclado proveniente de nuevas tecnologías (asfaltos modificados con aditivos, mezclas asfálticas en tibio, entre otros) ya que a futuro, las mismas deberán ser removidas de los caminos y constituirán potenciales fuentes de desecho. Por esa razón, el presente proyecto marco pretende evaluar diferentes tipos de reciclados asfálticos y no se limitará a únicamente el reciclado proveniente de mezclas asfálticas convencionales.

### 1.5 Marco teórico

El pavimento asfáltico reciclado (Reclaimed Asphalt Pavement RAP) hace mención a aquellas capas asfálticas que forman parte de una estructura de pavimento y que son recuperadas, procesadas y reutilizadas en nuevos materiales. Han et. al (1) definieron el asfalto reciclado como el “material de pavimento recuperado y reprocesado el cual contiene cemento asfáltico y agregado pétreos”. Dicho material puede ser obtenido de la remoción de pavimentos fatigados o envejecidos, desechos de planta y laboratorio así como de materiales rechazados en campo.

Los beneficios del pavimento asfáltico reciclado incluyen aspectos económicos, energéticos y técnicos. Dentro de los beneficios económicos, la utilización de RAP como sustituto de agregado pétreo en mezclas asfálticas produce un ahorro significativo tomando en cuenta que el RAP es comercializado a un costo menor. De igual forma, el porcentaje de cemento bituminoso que puede ser recuperado y reutilizado en mezclas vírgenes llega a disminuir sustancialmente los costos asociados al cemento bituminoso virgen. Sebaaly (2) reportó que contenidos de RAP en mezclas asfálticas vírgenes entre 20%-50% resultan en 14%-34% de ahorros por tonelada de mezcla asfáltica producida.

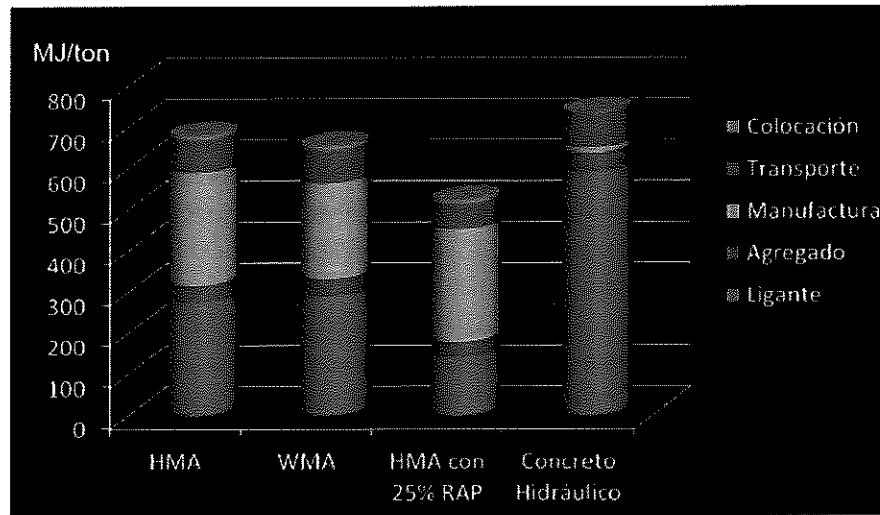
En cuanto a los beneficios energéticos, la producción de mezclas asfálticas con RAP disminuyen los costos energéticos asociados a la extracción de agregados y cemento asfáltico virgen. Chappat y Bilal (3) realizaron un estudio comparativo en cuanto a demanda de energía entre diferentes tipos de materiales (mezclas asfálticas en caliente, mezclas asfálticas en tibio, mezclas asfálticas con 25% RAP y concreto hidráulico) durante las diferentes etapas de tratamiento de los materiales. De acuerdo a la figura 1, los investigadores concluyeron que las mezclas asfálticas con 25% RAP reportaron las

Propuesta LM-PI-UMP-015-P	Fecha de emisión: 07 de marzo de 2014	Página 8 de 16
---------------------------	---------------------------------------	----------------

menores demandas de energía acumulada debido a los ahorros energéticos dados por una disminución en la extracción de materiales no renovables.

Además de los beneficios mencionados anteriormente, el RAP ofrece una serie de beneficios desde el punto de vista técnico. En caminos con pavimentos fatigados, deformaciones superficiales a nivel de carpeta asfáltica o con cierto grado de envejecimiento del asfalto, la técnica del reciclaje se considera apropiada para remover las capas dañadas y aplicar técnicas de mantenimiento y rehabilitación con el fin de incrementar el nivel de serviciabilidad de un camino. De igual forma, la técnica permite mantener la geometría del camino, mejorar la regularidad superficial y la calidad del rodaje así como mejorar la adherencia entre capas.

El envejecimiento del cemento bituminoso en el material reciclado afecta propiedades tales como la viscosidad, el módulo complejo, el ángulo de fase y la penetración. Es conocido que el envejecimiento del asfalto provoca una ganancia de rigidez del cemento bituminoso sobretodo en mezclas de graduación abierta o mezclas de graduación densa utilizadas como superficies de rodamiento las cuales están expuestas continuamente a las condiciones ambientales. Si los porcentajes de RAP en la mezcla son altos (mayor a 15%) pueden ocasionar agrietamientos por fatiga a corto plazo debido a la excesiva rigidez del material lo cual provoca la absorción de esfuerzos por tensión que la mezcla asfáltica no es capaz de resistir. Daniel y Lachance (4) realizaron un estudio sobre los efectos del RAP en las propiedades volumétricas y mecánicas en las mezclas asfálticas. Mezclas con 15%, 25% y 40% RAP fueron comparadas contra una mezcla asfáltica de control (0% RAP) conteniendo únicamente materiales vírgenes. Los investigadores encontraron que las mezclas con 25% y 40% RAP reportaron valores mayores de vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos llenos de asfalto (VFA) en comparación con la mezcla con 15% RAP y la mezcla de control. En cuanto a la resistencia a la fatiga, Daniel y Lachance encontraron que las mezclas con 15% RAP reportaron un módulo dinámico mayor a la mezcla de control indicando una mayor rigidez para las mezclas con RAP.



**Figura 1. Demanda de energía por tipo de mezcla asfáltica**

El “Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010” (5) ha establecido una serie de criterios para controlar los efectos de la rigidez causado por el uso del RAP en función de sus concentraciones. Para mezclas asfálticas con porcentajes de RAP de entre 15% y 25% es necesario considerar un cemento asfáltico más blando con el fin de equilibrar la rigidez del material a la hora de la inclusión del RAP. Por otra parte, si el porcentaje de RAP es mayor a 25% se debe extraer el cemento asfáltico del RAP, caracterizarlo y utilizar gráficos de combinación con el fin seleccionar un adecuado grado de desempeño. Para porcentajes de RAP menores a 15% es posible utilizar un cemento asfáltico normal ya que los efectos de rigidización del material se consideran insignificantes.

El Centro Nacional para la Tecnología del Asfalto (NCAT) de los Estados Unidos (6) realizó un proyecto de investigación cuyo objetivo era evaluar mezclas asfálticas compuestas por 45% de RAP y tres diferentes tipos de cementos asfálticos diferenciados por su grado de ablandamiento. Dicho experimento fue realizado evaluando tres secciones colocadas en el campo de pruebas del NCAT de la Universidad de Auburn en Alabama, Estados Unidos. Las secciones fueron sometidas a 20 millones de ejes equivalentes durante cinco años bajo condiciones ambientales reales y técnicas de construcción locales. Una de las secciones incluyó una mezcla asfáltica con 45% RAP y un cemento asfáltico PG 52-28 (asfalto de mayor suavidad) mientras que las restantes consideraron el mismo porcentaje de RAP pero utilizando asfaltos de menor suavidad (PG 67-22 y PG 76-22 respectivamente). De acuerdo a los resultados, las tres secciones evaluadas mostraron un buen desempeño después de la aplicación de 20 millones de ESAL’s. Sin embargo, los estudios de auscultación mostraron un menor porcentaje de fatiga por área en la sección construida con un asfalto más blando en contraste con la sección construida con el cemento asfáltico de menor suavidad la cual presentó los porcentajes de fatiga más altos. En conclusión, el uso de altos

porcentajes de RAP en combinación con asfaltos de mayor suavidad mejora la durabilidad de las mezclas y permiten un mayor control de la rigidez del material.

La clave para una eficiente incorporación del RAP en una mezcla asfáltica virgen obliga al diseñador a conocer la fuente de este material, determinar sus propiedades y la variabilidad de éstas propiedades y saber incluir el RAP durante el diseño de una mezcla asfáltica. Por su parte, los procesos de producción de mezclas con este material implica un manejo eficiente de los apilamientos, un adecuado procesamiento mediante quebradores y la inclusión de aditamentos tales como tolvas (generalmente dos, una para RAP grueso y otra para RAP fino) y bandas transportadoras con celdas de carga para el control de pesaje, entre otros. Lo anterior significa un costo inicial adicional para el productor sin embargo es totalmente justificable puesto que la inversión puede ser recuperada rápidamente dado el ahorro de cemento asfáltico y agregado virgen. Desde el punto de vista comercial, el reciclaje de asfalto abriría nuevas puertas para el desarrollo de empleos y comercios encargados de la recolección, tratamiento, caracterización y venta de dicho material. Finalmente, es importante señalar los grandes beneficios que el uso de reciclado brindaría para disminuir el impacto ambiental así como para mantener la geometría del camino.

## 2. METODOLOGÍA PROPUESTA

### Fase I

La fase I de este proyecto pretende caracterizar el pavimento asfáltico reciclado en el laboratorio. El primer paso consistirá en comparar las propiedades del cemento asfáltico virgen AC-30 contra las propiedades del asfalto extraído del pavimento asfáltico reciclado. La finalidad de dicha comparación es definir si la ganancia de rigidez del asfalto reciclado producto de su envejecimiento es significativamente más alta que el asfalto virgen. Para esto, se utilizará como patrón de comparación el asfalto AC-30 el cual es utilizado comúnmente en Costa Rica. El cemento asfáltico atrapado en el RAP será extraído mediante el método de extracción por rota vapor el cual fue seleccionado ya que éste garantiza variaciones mínimas en las propiedades del ligante asfáltico durante el proceso de obtención.

Durante esta fase, se realizarán los ensayos comúnmente aplicados para la clasificación de cementos asfálticos por grado de viscosidad y por grado de desempeño. La primera de ellas es seleccionada dado que es la utilizada en nuestro país mientras que la segunda se asocia a la metodología de diseño SUPERPAVE la cual está incursionando paulatinamente en la industria del asfalto en Costa Rica. En cuanto a la clasificación por grado de desempeño, se utilizará únicamente el reómetro de corte dinámico (DSR) como un indicador de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico ante temperaturas de pavimento propias de Costa Rica. Se descarta utilizar los ensayos de tensión directa y

Propuesta LM-PI-UMP-015-P	Fecha de emisión: 07 de marzo de 2014	Página 11 de 16
---------------------------	---------------------------------------	-----------------

la prueba de fatiga con carga puntual ya que los agrietamientos por temperatura causados por climas fríos severos no es un problema en Costa Rica.

La presente fase busca además determinar la cantidad de cemento asfáltico contenido en el RAP, que es posible recuperar y re-utilizar para su uso en mezclas asfálticas vírgenes así como proponer una nueva metodología de extracción de asfalto del RAP o bien, mejorar las técnicas actuales de manera que la variación de las propiedades de los cementos asfálticos durante su obtención sea mínima.

Una metodología similar se utilizará para determinar la viabilidad del RAP para ser utilizado como sustituto de agregado grueso y agregado fino. Para esto, el RAP será fraccionado a un tamaño máximo de 12,5 mm a 9,5 mm para evaluar su potencial como sustituto de agregado grueso. De igual forma, el RAP se fraccionará a tamaños máximos de 4,75 mm para evaluar la sustitución del agregado fino no renovable. Se tomarán muestras en los apilamientos de ambos materiales aplicando procedimientos de muestreo aleatorios y posteriormente, se realizarán los ensayos establecidos en el cuadro 3. Los ensayos fueron seleccionados según los requerimientos del CR-2010 para aceptación de fuentes de agregados para mezcla asfáltica en caliente. La comparación entre las propiedades de los agregados vírgenes y aquellos provenientes de RAP permitirá evaluar la variabilidad de las propiedades de ambas fuentes representando la primera evidencia sobre la factibilidad del uso de RAP en mezclas vírgenes.

### 3. RESULTADOS / PRODUCTOS ESPERADOS

Tabla 1. Resultados / Productos esperados

X	Artículo científico en revista indexada		Libro
	Artículo científico en revista indexada		Capítulo de libro
X	Artículo de divulgación	X	Especificaciones técnicas
X	Ponencias en congresos		Hardware
X	Conferencias o seminarios		Software
	Patentes	X	Trabajos o proyectos de graduación
X	Diseño de cursos	X	Nuevas metodologías
	Formación de la comunidad científica		

**Tabla 2. Productos esperados**

<b>Generación de nuevo conocimiento: Científico y/o académico Fase I</b>		
<b>Resultado/producto esperado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Beneficiario</b>
Determinación de las propiedades del RAP como sustituto de agregado grueso y fino no renovable	Artículos científicos	Ingenieros de pavimentos sector público, privado
Determinación de las propiedades del cemento asfáltico atrapado en el RAP y su potencial aporte al desempeño de mezclas asfálticas vírgenes	Artículos científicos	Ingenieros de pavimentos sector público, privado
<b>Impacto a nivel nacional en la comunidad científica</b>		
<b>Resultado/producto esperado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Beneficiario</b>
Formación de investigadores jóvenes	Participación de asistentes de investigación	Estudiantes Ingeniería en Civil/Ingeniería en Construcción
<b>Beneficios sociales y/o culturales</b>		
<b>Resultado/producto esperado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Beneficiario</b>
Fomento de la relación entre la academia, el sector público y privado	Trabajo en equipo, reuniones periódicas	Universidad de Costa Rica, Tecnológico de Costa Rica, Sector público, sector privado
Fomento de la re-utilización de desechos provenientes de la remoción de capas asfálticas	Artículo científico	Productores de mezcla asfáltica, sector público y privado
<b>Fortalecimiento de vínculos de apoyo y reconocimiento de la Universidad de Costa Rica con el sector externo</b>		
<b>Resultado/producto esperado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Beneficiario</b>
Artículos científicos en revistas indexadas	Artículos científicos	Universidad de Costa Rica, Tecnológico de Costa Rica, sector público, sector privado
Ponencias en congresos, seminarios o conferencias	Ponencias	
Vínculos con otras universidades	Participación de investigadores de otras universidades nacionales e internacionales	



#### 4. CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 3. Responsables del proyecto de investigación

Investigador / Colaborador	Grado académico	Estado en régimen	Función en el proyecto	Dedicación semanal (horas)	Meses
Luis Guillermo Loría Salazar	Doctorado	Catedrático UCR	Investigador principal	4	4
Sergio Fernández Cerdas	Maestría	Profesor ITCR	Investigador asociado	8	4
Estudiantes pregrado	Estudiantes pregrado	Estudiante	Investigador asociado	15	4
Técnico de laboratorio		Laboratorista vial	Técnico de laboratorio	15	4

#### 5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 4. Cronograma de actividades

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Obtención y fraccionamiento de RAP						
Caracterización del cemento asfáltico RAP – cemento asfáltico virgen por viscosidad						
Caracterización del cemento asfáltico RAP- cemento asfáltico virgen por grado de desempeño						
Caracterización del RAP – Agregado Virgen						
Elaboración de informe final Fase 1						
Elaboración de artículo científico						

## 6. RECURSOS NECESARIOS

Tabla 5. Recursos necesarios

Recursos necesarios / Materiales, transporte, costos administrativos y ponencias / publicaciones		
Descripción	Justificación	Costo total (\$)
Materiales necesarios	Compra de 3 m <sup>3</sup> de agregado grueso	120
	Compra de 3 m <sup>3</sup> de agregado fino	120
	Compra de 3 m <sup>3</sup> de RAP grueso fraccionado	60
	Compra de 3 m <sup>3</sup> de RAP fino fraccionado	60
	Cemento asfáltico AC-30	500
	Bolsas, tarros, sacos, barriles	
Publicaciones	Compra de bibliografía, artículos y publicaciones de consulta	500
Papelería, fotocopias, transporte y viáticos	Informes, publicación, documentación, transporte de muestras, traslado a sitios de muestreo, viáticos	500
Participación en congresos	Presentación de resultados en eventos nacionales e internacionales de relevancia	10000

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Han, J., Thakur, S., Chong, O., Parsons, R., "Laboratory Evaluation of Characteristics of Recycled Asphalt Pavement in Kansas", Departamento de Transportes de Kansas, Universidad de Kansas, Centro de Transportes de la Universidad del Estado de Kansas, Setiembre, 2011.

Sebaaly, P., "RAP in HMA Pavements", Universidad de Nevada, Abril, 2009.

Chapat, Billal, "The Environmental Road of the Future: Life Cycle Cost Analysis", Grupo Colas, 2003.

Daniel, J., Lachance, A., "Mechanistic and Volumetric Properties of Asphalt Mixtures with RAP", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2005.

"Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010", Ministerio de Obras Públicas y Transportes, MOPT, 2010.

Propuesta LM-PI-UMP-015-P	Fecha de emisión: 07 de marzo de 2014	Página 15 de 16
---------------------------	---------------------------------------	-----------------



PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE



West, R., Timm, D., Willis, R., “Cuarta Fase: Hallazgos del Campo de Pruebas en Pavimentos del NCAT”, Centro Nacional para la Tecnología del Asfalto, Febrero, 2012.

