

# PITRA

Programa de Infraestructura del Transporte

Boletín técnico

33



Vol 3. N° 33 / Octubre 2012



## Efecto de las propiedades del agregado extraído de un pavimento asfáltico reciclado (RAP) en el cálculo de los vacíos en el agregado mineral (VMA)

*Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, Ph.D.*

*correo electrónico: [luis.loriasalazar@ucr.ac.cr](mailto:luis.loriasalazar@ucr.ac.cr)*

*Ing. Paulina Leiva Padilla*

*correo electrónico: [paulina.leiva@ucr.ac.cr](mailto:paulina.leiva@ucr.ac.cr)*

### Introducción

La limitación de la disponibilidad de canteras y otras fuentes de agregado, debido a la necesidad de la conservación del ambiente, la disminución en la capacidad para producir agregado virgen, y el alto precio del petróleo, han hecho que el uso de pavimentos de asfalto reciclado (RAP, por sus siglas en inglés), se haya convertido en una alternativa atractiva para pavimentación, tanto a nivel de mantenimiento como de reconstrucción de vías.

Actualmente, el uso de RAP ha tenido repercusión económica y medioambiental, convirtiéndose en una

opción atractiva para lo que se conoce como caminos sostenibles o “Pavimentos Verdes<sup>®</sup>”, que actualmente corresponde a un esfuerzo de la Unidad de Materiales y Pavimentos del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR para generar metodologías y materiales de pavimentación amigables con el ambiente y sostenibles, reduciendo el consumo de fuentes naturales y los requerimientos de energía.

Habitualmente dos materiales han sido considerados como componentes del RAP, el agregado mineral propiamente dicho, y el cemento asfáltico remanente, extensamente oxidado por el efecto del tiempo de exposición al oxígeno

Comité Editorial  
del boletín  
2012

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, Ph.D.  
Coordinador General PITRA, LanammeUCR

Bach. Lionela López Ulate  
Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica

Daniela Alpízar Gutiérrez  
Diseñadora Gráfica. Unidad de Diseño Gráfico

y otras condiciones medioambientales. Algunos estudios le llaman al RAP “roca negra” dejando de lado el efecto del ligante asfáltico que aun posee el material reciclado, y otros investigadores han dedicado extensas investigaciones a evaluar por separado el efecto del agregado mineral (a-RAP) en la granulometría de la mezcla asfáltica y el nivel de mezclado (blending) que tiene el asfalto virgen añadido a la mezcla asfáltica y el asfalto del RAP que aunque oxidado, si se mezcla apropiadamente con un asfalto virgen relativamente blando, podría aun aportar valiosas propiedades viscoelásticas a la mezcla asfáltica (NCHRP 9-12). No sobra decir que el grado de mezclado entre el ligante virgen y el ligante reciclado aún es objeto de amplio debate en sectores académicos.

Las propiedades de los agregados extraídos del RAP (a-RAP) varían respecto a las de los agregados vírgenes, por este motivo, se realizó una investigación dentro del Consorcio de Investigación del Asfalto (ARC), conformado por las Universidades de Nevada, Texas, Wisconsin y el Western Research Institute, que evaluó la influencia de estos agregados en el valor de los vacíos en el agregado mineral (VAM) de mezclas asfálticas que contienen materiales reciclados. Para tal efecto se evaluaron, mezclas asfálticas en caliente con distintos porcentajes de RAP, a partir de lo cual, se hicieron recomendaciones para la selección del método más apropiado para estimar la gravedad específica del agregado a-RAP con base en el nivel de error en el cálculo del VMA de la mezcla que contiene RAP hasta niveles de 50 % de material reciclado.

### Plan experimental

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron las cuatro fuentes de agregado siguientes:

- Piedra caliza dura, Calera, Alabama.
- Piedra caliza suave, Brooksville, Florida.
- Riolita, Reno, Nevada.
- Granodiorita, Gonzalez, California.

Los diseños de mezcla se realizaron por la metodología Superpave®, y fueron desarrollados con agregados vírgenes y ligantes asfálticos sin modificar. El ligante asfáltico utilizado para las mezclas de Alabama y Florida fue el PG67-22, y el de las mezclas de Nevada y California fue el PG64-22.

Las muestras de las mezclas asfálticas con RAP se mezclaron en laboratorio al contenido óptimo de ligante por tiempos de 3 a 5 minutos, siguiendo los procedimientos típicos de mezcla indicados en el Manual de Diseño de Mezcla Superpave® (SP-02) (Instituto del Asfalto 2001), luego se envejecieron por un período corto de 4 horas a

135 °C seguido por uno largo de 5 días a 85 °C en el horno. Para ayudar al envejecimiento uniforme del ligante, la mezcla asfáltica es revuelta (remezclada) cada dos horas para el proceso de envejecimiento de corto plazo y una vez cada día para el proceso de largo plazo.

Luego del período largo de envejecimiento, se extrajo el agregado de las mezclas, utilizando tres procedimientos: centrífuga, reflujo, y horno de ignición. Para la centrífuga y el reflujo se utilizó tricloroetileno (TCE) como solvente. Se utilizó el Método A de la AASHTO T164 para centrífuga, y para reflujo el Método B, para el método del horno de ignición se utilizó AASHTO T308 (AASHTO 2009). Así que se completaron las extracciones, se secaron los agregados, y se probaron con sus respectivos procedimientos.

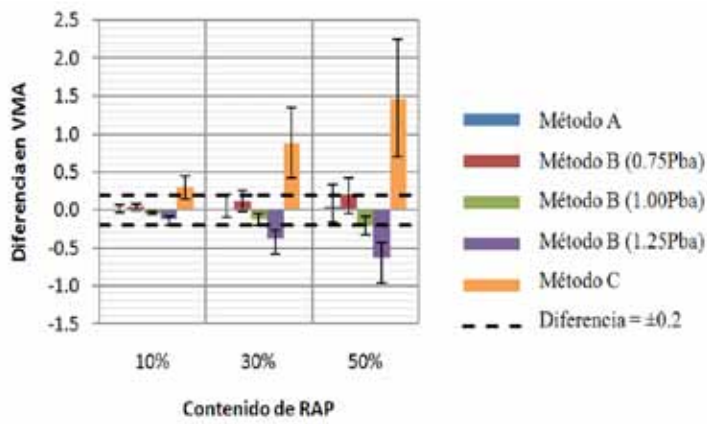
### Gravedad específica del agregado RAP

La gravedad específica bruta del agregado es requerida para calcular propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas en caliente (HMA, siglas en inglés). Por lo tanto, la gravedad específica bruta del agregado de cada fuente y del a-RAP, debe ser determinada para el cálculo de la gravedad específica combinada del agregado de la mezcla asfáltica. Los siguientes tres métodos han sido utilizados históricamente para estimar la gravedad específica bruta (Gsb) del a-RAP, y son los utilizados en el desarrollo de la investigación.

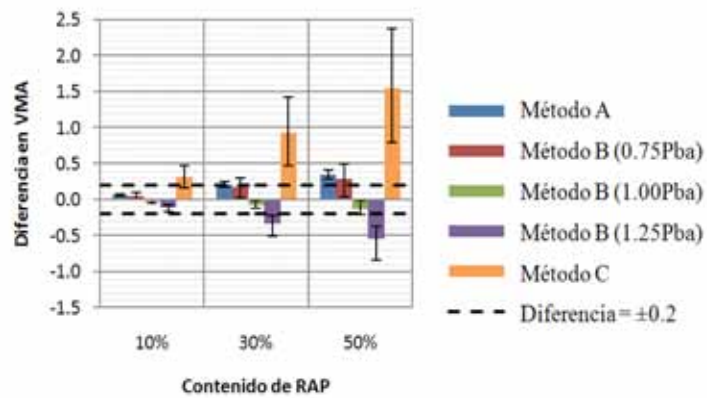
- **Método A:** utiliza las gravedades específicas brutas de las fracciones fina y gruesa del a-RAP, para el cálculo de la gravedad específica combinada. Este requiere la extracción del a-RAP utilizando los métodos de centrífuga, reflujo u horno de ignición.
- **Método B:** asume un valor de absorción de asfalto para el a-RAP con el cual se estima la gravedad específica máxima teórica (Gmm) de la mezcla asfáltica que contiene RAP, y de ahí se retrocalcula la gravedad específica bruta del a-RAP. Para este método se requiere de una buena suposición inicial del porcentaje de asfalto absorbido en el a-RAP.
- **Método C:** utiliza la gravedad específica efectiva del a-RAP (Gse) en lugar de la gravedad específica bruta (Gsb). Este procedimiento requiere la determinación del contenido de ligante en el RAP y la gravedad específica máxima teórica (Gmm) del RAP.

### Hallazgos de la Investigación

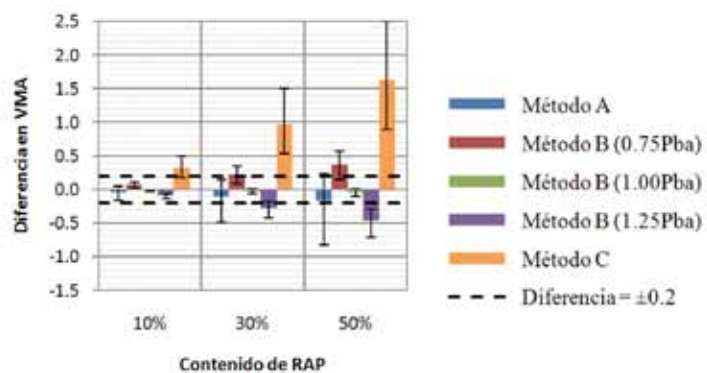
El análisis se dedicó a la investigación del error potencial en la determinación del valor de los VMA debido a la estimación del valor de la Gsb del a-RAP. El Gsb de la mezcla se calculó para diferentes contenidos de RAP utilizando el



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Diferencia en el VMA en función del contenido de RAP, con base en (a) centrífuga, (b) reflujo, y (c) horno de ignición (los errores en las barras representan la diferencia máxima o mínima en el VMA)

Gsb del a-RAP que se estimó para el RAP utilizando los métodos tradicionales, y que fueron previamente definidos en este estudio como Método A, B, y C. El VMA real fue calculado por medio del Gsb de la mezcla para diferentes contenidos de RAP utilizando las gravedades específicas de agregados nuevos y de RAP en la mezcla.

En la Figura 1 se resume el impacto de los errores asociados con los diferentes métodos de determinación del Gsb del agregado RAP, en los cálculos de los VMA cuando los métodos de centrifuga, reflujo y el horno de ignición se utilizan para determinar las propiedades requeridas de los a-RAP. En la práctica, un error en el VMA dentro del  $\pm 0.2\%$  se considera aceptable; por lo tanto, este nivel del error se utilizó para evaluar que tan apropiados son los diferentes métodos en la estimación del Gsb para el a-RAP.

En la Tabla 2 se resumen los porcentajes de tiempo en los cuales el diseñador puede estar sobre o subestimando los valores de los VMA, y el impacto que esto tiene en el diseño de mezcla final, para los valores de RAP utilizados en el experimento.

En la Tabla 3 se muestra una evaluación general de los datos generados en este estudio para los cuatro agregados involucrados y el respectivo valor máximo del error esperado en el cálculo del VMA.

- g* Utilizando gravedades específicas de la fracción fina y gruesa del agregado RAP.
- h* Asumiendo el valor de absorción del asfalto en conjunto con la gravedad específica máxima teórica medida y el contenido de ligante para RAP.
- i* Asumiendo el valor de la absorción del asfalto del agregado RAP dentro del  $\pm 25\%$  del valor real.

Estos datos revelan que el error computacional en el cálculo del VMA depende del porcentaje de RAP en la mezcla, la técnica de extracción y el método utilizado para determinar la gravedad específica del a-RAP. Por ejemplo, para el contenido de RAP, que se definió entre 25 y 50 por ciento, el error en el cálculo del VMA fue de  $\pm 0.4\%$  cuando la gravedad específica del a-RAP se medía directamente del agregado extraído (i.e. Método A) por medio de centrifuga y reflujo.

## Conclusiones

Este estudio evaluó el impacto de los métodos de extracción (i.e. centrifugado, reflujo, y horno de ignición) en el cálculo del VMA del agregado extraído de las mezclas RAP simuladas en laboratorio para cuatro diferentes fuentes de agregado: Alabama (piedra caliza dura), California (granodiorita), Florida (caliza suave), y Nevada (riolita). Las

**Tabla 2.** Impacto del método de extracción en el VMA

Método de extracción	Contenido de RAP	Método A	Método B (0.75Pba)	Método B (1.00Pba)	Método B (1.25Pba)	Método C
Centrífuga	10 %	Cercano al 100% del tiempo estimado <sup>f</sup> .	Cercano al 100% del tiempo estimado.	Cercano al 100% del tiempo estimado.	Cercano al 100% del tiempo estimado.	Sobre-estimado 50% del tiempo. <i>El diseño será poco conservador en un 50 % del tiempo.</i>
	30 %	Cercano al 100% del tiempo estimado.	Sobre-estimado 25% del tiempo. <i>El diseño será poco conservador en un 25 % del tiempo.</i>	Cercano al 100% del tiempo estimado.	Sub-estimado 100% of time.	Sobre-estimado 100% del tiempo. <i>El diseño será poco conservador en un 100 % del tiempo.</i>
	50 %	Sobre-estimado 25% del tiempo. <i>El diseño será poco conservativo 25% del tiempo.</i>	Sobre-estimado 50% del tiempo. <i>El diseño será poco conservativo 50% del tiempo.</i>	Sub-estimado 50% del tiempo.	Sub-estimado 100% del tiempo	Sobre-estimado 100% del tiempo. <i>El diseño será poco conservativo 100% del tiempo.</i>

<sup>f</sup> Los errores en el VMA están dentro del  $\pm 0.2 \%$

**Tabla 3.** Resumen del error esperado en el VAM para las fuentes de agregado evaluadas

Métodos para la estimación de la gravedad específica del agregado RAP	Porcentaje de RAP			Error esperado en VMA
	Métodos de extracción			
	Centrifugado	Reflujo	Horno de ignición	
Método A <sup>g</sup>	$\leq 25\%$	$\leq 25\%$	$\leq 10\%$	$\pm 0.2\%$
	25% – 50%	25% – 50%	10% – 25%	$\pm 0.4\%$
Método B <sup>h, i</sup>	$\leq 10\%$	$\leq 10\%$	$\leq 15\%$	$\pm 0.2\%$
	10% – 20%	10% – 20%	15% – 25%	$\pm 0.4\%$

propiedades de los agregados extraídos de la mezcla RAP simulada se compararon con las de los agregados vírgenes respectivos. Se examinaron además las consecuencias del uso de un método de extracción específico en las propiedades de los agregados con respecto al método de diseño de mezcla Superpave®. Además, se evaluó el impacto de los errores asociados con los diferentes métodos de determinación de la gravedad específica del a-RAP en el cálculo de los VMA para diferentes porcentajes de RAP en una mezcla típica. Con base en los resultados, se determina lo siguiente:

- Una de las propiedades que deben ser determinadas para caracterizar el RAP, es la gravedad específica del a-RAP. El Gsb del a-RAP es crítico en una determinación adecuada de los VMA, que son una de las propiedades clave de la mezcla utilizadas en el diseño y aseguramiento de la calidad. Para mezclas con alto contenido de RAP, el mejor método para determinar las gravedades específicas del agregado es usar el método de extracción con solvente (centrífuga o reflujo) para

recuperar el agregado y luego aplicar los métodos de la AASHTO T85 y T84 a las partículas gruesas y finas respectivamente. El método del horno de ignición puede también ser usado para recuperar el agregado RAP excepto para algunos tipos de agregados sometidos a cambios significativos en la gravedad específica cuando están sujetos a temperaturas extremas. En este estudio el agregado calizo suave de Florida es un ejemplo de este problema.

Nótese que todos los métodos utilizados para recuperar el a-RAP son propensos a producir errores aparentemente pequeños en los resultados del Gsb. Como los contenidos de RAP se aproximan al 50 por ciento, el efecto neto en la determinación del VMA podría estar entre  $\pm 0.4 \%$ . Esta magnitud de incertidumbre es una de las razones por las cuales podría ser apropiado realizar ensayos de desempeño adicionales en los diseños de mezcla con alto contenido de RAP para asegurar la resistencia a formación de roderas, daño por humedad, agrietamiento por fatiga, y agrietamiento por baja temperatura.

- Otro método para la estimación de la gravedad específica RAP es el recomendado en el Reporte 452 del NCHRP. Este método se evaluó en este estudio como Método B, e involucra la determinación de la gravedad específica máxima teórica (Gmm) del material RAP utilizando AASHTO T 209. De la Gmm y el contenido de asfalto del RAP, la gravedad específica efectiva (Gse) del a-RAP se puede determinar. A pesar de que algunas agencias utilizan el Gse en el cálculo del VMA del a-RAP,

se recomienda no utilizar esta práctica. Otras agencias intentan corregir el Gse para un Gsb estimado utilizando un valor de asfalto absorbido.

Esta corrección es segura solamente cuando el asfalto absorbido se supone con cierto grado de confianza. La corrección es muy sensible al valor supuesto de asfalto absorbido y puede llevar a errores en el VMA de 0.5 % o más.

## Referencias Bibliográficas

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 29th Edition, 2009.
- Asphalt Institute Superpave Mix Design, Superpave Series No. 2 (SP-2), Third Edition, Asphalt Institute, 2001.
- Hajj, E.Y., L. Loria, N. Morian, A. Kvasnak, J. Nelson, P.E. Sebaaly, R. West, Effect of Extraction Methods on the Properties of Aggregates in Reclaimed Asphalt Pavements, Report WRSC-Rep-10-02, FHWA Report, Forthcoming.
- Lynn, T., R.S. James., P.S. Wu., and D. M. Jared, "Effect on Aggregate Degradation on Volumetric Properties of Georgia's Hot-Mix Asphalt," Transportation Research Record No. 1998, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2007.
- McDaniel, R., and R.M. Anderson. Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician's Manual, NCHRP Report 452, Transportation Research Board- National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 2001.

## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

### Coordinador General:

Ing. Luis Guillermo Loría, PhD.

### Subcoordinador:

Ing. Fabián Elizondo, MBA.

### Unidades:

#### Unidad de Auditoría Técnica

Coordinadora: Ing. Jenny Chaverri, MScE.

#### Unidad de Materiales y Pavimentos

Coordinador: Ing. José Pablo Aguiar, PhD.

#### Unidad de Evaluación de la Red Vial

Coordinador: Ing. Roy Barrantes

#### Unidad de Gestión Municipal

Coordinador: Ing. Jaime Allen, MSc.

#### Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica

Coordinadora: Bach. Lionela López Ulate

#### Unidad de Desarrollo y Actualización de Especificaciones Técnicas

Coordinador: Ing. Jorge Arturo Castro

#### Unidad de Puentes

Coordinador: Ing. Rolando Castillo, PhD.