

# ***Reciclaje en pavimentos: Influencia de los métodos de extracción en las propiedades del agregado***

## ***Pavements recycling: Influence of Extraction Methods on Aggregate Properties***

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD  
Ingeniero Civil  
Doctor en Ingeniería Civil  
Coordinador Programa de Infraestructura del Transporte  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
Universidad de Costa Rica  
San Pedro, Costa Rica  
[luis.loriasalazar@ucr.ac.cr](mailto:luis.loriasalazar@ucr.ac.cr)

Ing. Paulina Leiva Padilla  
Ingeniera Civil  
Licenciada en Ingeniería Civil  
Investigadora en la Unidad de Materiales y Pavimentos  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
Universidad de Costa Rica  
San Pedro, Costa Rica  
[paulina.leivapadilla@ucr.ac.cr](mailto:paulina.leivapadilla@ucr.ac.cr)

### **Resumen**

El reciclaje en la construcción de pavimentos ha sido una temática de gran importancia en el tema de los caminos sostenibles. La posibilidad de reducir la cantidad de materia prima y al mismo tiempo, el espacio requerido para el desecho de materiales de desecho, han sido las principales razones por las cuales este tema ha estado dentro del estado del arte de las investigaciones en materiales para pavimentos. Según McDaniel y otros (2001), aún existen interrogantes que no se han resuelto con respecto a la inclusión de materiales de reciclaje (RAP, por sus siglas en inglés), en pavimentos, como por ejemplo: el uso de la gravedad específica efectiva o la gravedad específica bruta, el impacto del agregado RAP en las propiedades de mezclado -angularidad del fino, partículas planas y elongadas, etc-, el efecto de los agentes rejuvenecedores y los asfaltos modificados, el efecto del RAP en las propiedades del asfalto a temperaturas altas, medias y bajas, la conveniencia de un mayor envejecimiento en el horno de película delgada o envejecimiento a presión y, el efecto de las técnicas de recuperación del asfalto RAP. En la presente investigación, se exponen los resultados del ensayo de cuatro fuentes de agregado en Estados Unidos -Alabama, California, Nevada y Florida- que fueron sometidas a tres métodos de extracción: horno de ignición, centrifugado y reflujo. Los resultados obtenidos demuestran que muchas de estas técnicas pueden afectar las propiedades de diseño y, que por tanto es importante conocer las cantidades apropiadas a utilizar para de esta manera evitar deficiencias en el diseño que repercutirán en la durabilidad final de la estructura de pavimento.

## **Abstract**

Recycling in pavements construction had been an important topic in sustainable roads conception. The option to reduce the amount of raw material and, at the same time the space required to discard used materials, had been the main reasons why this subject is today inside pavements research programs around the world. In accordance with McDaniel et al. (2001), there are questions which had not been resolved about the incorporation of recycled pavements materials (RAP) in new pavements, for example: using effective specific gravity or bulk specific gravity, the influence of the RAP aggregate in blending properties -fine aggregate angularity, flat and elongated particles, etc-, the rejuvenation agents and modified binder effects, the influence of RAP properties in the binder at high, middle and low temperatures, the sustainability of higher aging in the Roller Thin-Film Oven (RTFO) or by pressure and, the recovery asphalt technique effect. This research show the results obtained from the test of four sources of aggregates in the United States of America -Alabama, California, Nevada y Florida- which were subjected to three extraction methods: ignition over, centrifuge and reflux. Based on the results is possible to asseverate these techniques could affect design properties and, therefore, it is important to know the amount needed in order to avoid lacks inside design, which could have impact over the final pavement structure durability.

## **Palabras clave**

RAP, reciclaje en pavimentos asfálticos, centrifugado, reflujo, horno de ignición.

## **Keywords**

RAP, recycled asphalt pavements, centrifuge, reflux, ignition oven.

## **INTRODUCCIÓN**

El reciclaje en pavimentos comenzó a ser popular en los años 70, cuando se introdujeron por primera vez las máquinas fresadoras para el perfilado y, con la generación de nuevas tendencias orientadas a la rehabilitación y mantenimiento de pavimentos.

Esto, aunado a la poca disponibilidad de espacio en las canteras -que se reduce cada vez más-, la limitada cantidad materia prima de agregado y el alto costo del asfalto; ha hecho atractiva la utilización de materiales reciclados en pavimentos.

Los beneficios ambientales y económicos que se generan de su utilización como lo son: la reducción de la huella de carbono, el espacio requerido para escombros, la demanda de materiales nuevos, el consumo de energía y los costos; ha hecho surgir el concepto de caminos sostenibles.

El material reciclado RAP está compuesto por dos tipos de materiales, el agregado mineral (a-RAP) y el cemento asfáltico residual, que por el efecto del tiempo de exposición al oxígeno y demás condiciones medioambientales, se encuentra muy oxidado. Algunos investigadores han decidido no considerar el efecto que el cemento asfáltico posee en el agregado, llamando a este material “roca negra”, otros sin embargo, se han dedicado a evaluar el efecto del a-RAP en la granulometría de la mezcla asfáltica y el nivel de mezclado del asfalto RAP oxidado que aún tiene el agregado y el asfalto virgen que es necesario agregar, tema que aún es de discusión entre los expertos.

La presente investigación, presenta los resultados obtenidos del trabajo conjunto de las Universidades de Nevada, Texas, Winsconsin y el Western Research Institute, con respecto a la influencia de los métodos de extracción del material a-RAP, sobre sus propiedades características para diseño de mezcla Superpave.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo de la investigación se utilizaron cuatro fuentes de agregado virgen: piedra caliza dura de Calera de Alabama, piedra caliza suave de Brooksville en Florida, riolita de Reno en Nevada y granodiorita de Gonzalez en California, en la se muestran algunas características obtenidas de la examinación petrográfica con las que se describen las fuentes.

**Tabla 1**  
Examinación petrográfica de los agregados

Propiedades	Fuente de agregado			
	Calera, Alabama	Brooksville, Florida	Lockwood, Nevada	H. Ranch, California
<b>Nombre geológico</b>	Granito/granodiorita	Sedimentaria o volcánica	Riolita	Granodiorita
<b>Forma de partícula</b>	Angular	Angular	Angular-Subangular	Angular-Subangular
<b>Textura superficial</b>	Grano grueso	Cristalino	Grano fino	Grano medio o grueso
<b>Color</b>	Gris claro a café claro	Gris claro	Gris	Polvo blanco con gris claro
<b>Composición mineral</b>	Cuarzo: 20% Mica: 5% Feldespatos: 60% Hornblenda: 15%	Cuarzo: 60% Poco de mica	Cuarzo, mica, biotita, feldespatos	Cuarzo: 40% Plagioclasa: 50% Hornblenda: 10%
<b>Condición física general</b>	Moderadamente erosionado	Moderadamente erosionado	Poco erosionado	Moderadamente erosionado
<b>Incrustaciones</b>	Capa de polvo / reacciona débilmente con ácido	Capa de polvo / reacciona débilmente con ácido	Pequeñas manchas de hierro, capa de arena, fragmentos de roca	No
<b>Componentes deletéreos</b>	Posiblemente arcilla	No	No	No

El asfalto utilizado para las dos primeras fuentes fue un PG67-22 y el de las restantes fue un PG64-22, ambos sin modificar. Los diseños de mezcla fueron realizados con la metodología de diseño Superpave para estos materiales.

El proceso de mezclado se llevó a cabo según los procedimientos del Manual de Diseño de Mezcla Superpave (SP-02) (Instituto del Asfalto 2001), al contenido de asfalto óptimo por tiempos de 3 a 5 minutos. Seguidamente las muestras fueron acondicionadas en períodos de envejecimiento a corto y largo plazo, en un horno a temperaturas de 135°C por 4 horas y 85°C por 5 días respectivamente, revolviendo la mezcla cada 2 horas en el corto plazo y cada día en el largo plazo, para garantizar la uniformidad del proceso de envejecimiento en la mezcla.

Una vez finalizado el proceso, se utilizaron los métodos de centrifugado (Método A de la AASHTO T164, o su equivalente ASTM D2172) y reflujo (Método B de la AASHTO T164, o su equivalente ASTM D2172), con tricloroetileno como solvente y horno de ignición (AASHTO T308, o su equivalente ASTM D6307) para la extracción y recuperación del agregado de la mezcla.

## MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE AGREGADO RAP

Para el reciclaje de los materiales que componen la carpeta asfáltica de los pavimentos, es necesario extraer y recuperar el agregado y el asfalto de la mezcla de forma que conserven, en la medida que sea

posible, sus propiedades originales. En laboratorio es común la utilización de los siguientes ensayos: centrifugado, reflujo -con solventes- y horno de ignición -de incineración-. A continuación se dará una breve descripción de cada método.

#### *Extracción con Centrifuga (ASTM D2172, Método A)*

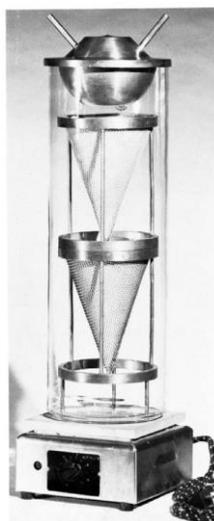
Este método contempla la extracción del asfalto de la mezcla y de núcleos de pavimento, con la ayuda de los solventes: tricloroetileno, bromuro de propilo normal, o cloruro de metileno. El contenido de asfalto se determina por diferencia de las masas del agregado extraído; el contenido de humedad y, materia mineral. Comúnmente es usado para determinar cuantitativamente el contenido de asfalto en la mezcla o el pavimento para la determinación de especificaciones, para la evaluación; control e investigación. En la Figura 1, se muestra el tazón de extracción que se utiliza en este método.



**Figura 1. Tazón de extracción con centrifuga**  
**Nota: Tomado de la norma ASTM D2172**

#### *Extracción por Reflujo (ASTM D2172, Método B)*

El método de reflujo es utilizado en química para la extracción de los materiales de una mezcla; en el caso de la mezcla asfáltica consiste en la colocación de la muestra -una vez pesada y determinado el contenido de humedad-, en la canasta del aparato de la Figura 2, posteriormente se le coloca el disolvente -para este caso: tricloroetileno, bromuro de propilo normal, o cloruro de metileno- y se aplica calor por cierto tiempo para garantizar la reacción, de manera que todo el asfalto pueda ser extraído.



**Figura 2. Aparato de extracción por reflujo**  
**Nota: Tomado de la norma ASTM D2172**

### Horno de Ignición (ASMT D6307)

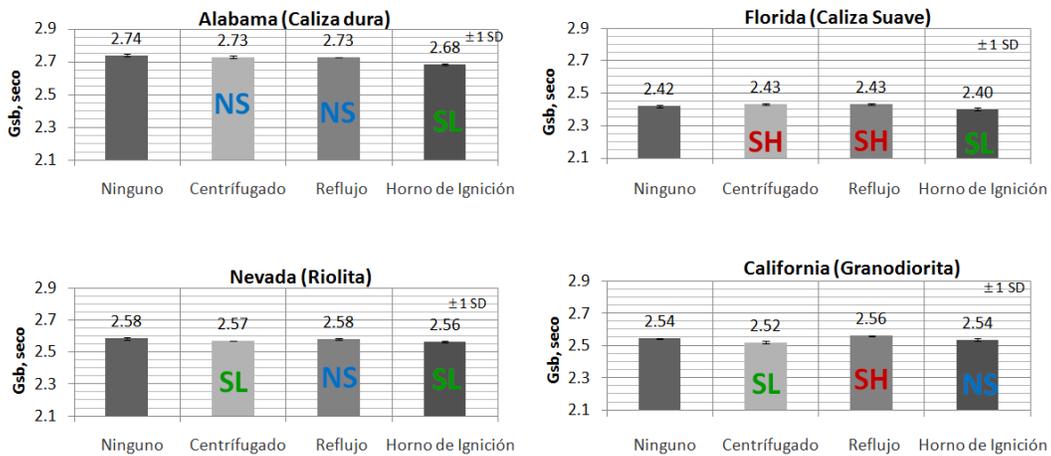
Para este método se utiliza un horno especial, en el cual, la mezcla o el núcleo es calentada(o) hasta que el asfalto se quema por completo. El cálculo del contenido de asfalto en este caso se realiza por la diferencia de pesos entre el agregado residual, el contenido de humedad y la muestra original. En este método no es requerido el uso de solventes, el agregado que resulta del proceso debe ser luego sometido al proceso de tamizado. La , muestra el agregado resultado del proceso.



**Figura 3. Agregado RAP obtenido del horno de ignición**  
Nota: Tomado de (Han, Thakur, Chong, & Parsons, 2011)

## RESULTADOS

En la Figura 4, Figura 5 y Figura 6, se muestra de manera comparativa, los resultados de los valores de gravedad específica bruta para cada una de las fuentes de agregado considerando cada uno de los métodos de extracción del a-RAP, con respecto a la mezcla virgen (NS: no significativo, SL: poco significativo y SH: muy significativo).



**Figura 4. Gravedad específica bruta del agregado grueso**

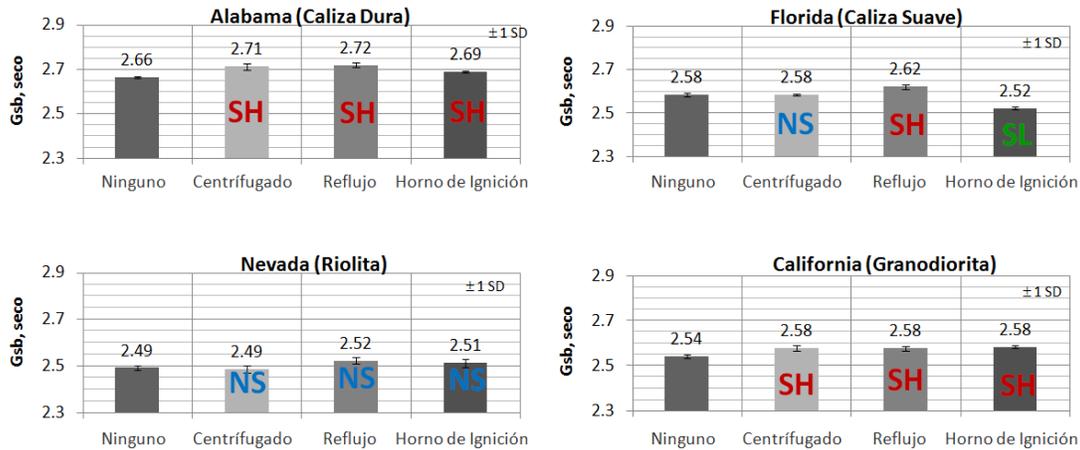


Figura 5. Gravedad específica bruta del agregado fino

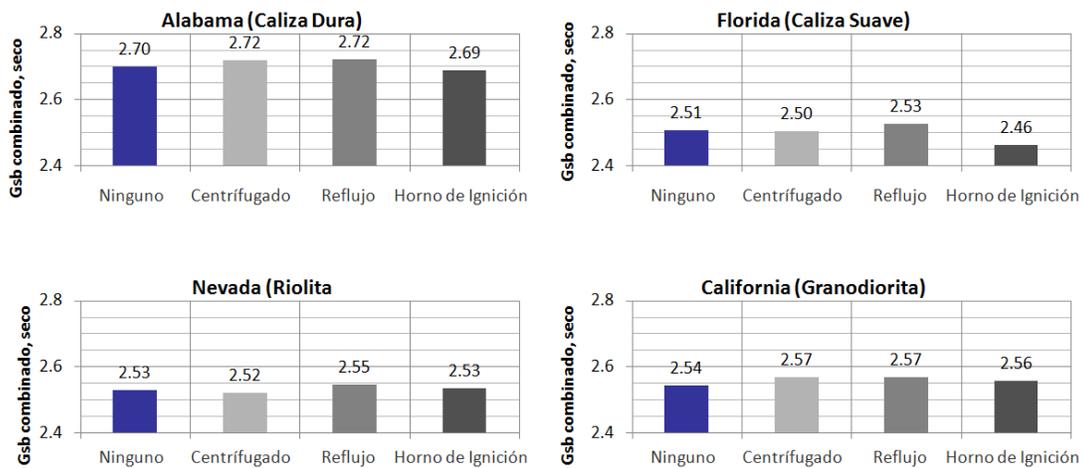


Figura 6. Gravedad específica bruta combinada (fino+grueso)

La Tabla 2 y Tabla 3 muestran los resultados del análisis de comparación de medias pareado, que fue realizado para determinar que la gravedad específica de los agregados gruesos y finos, obtenidos del proceso de descomposición mecánica eran significativamente diferentes al agregado virgen.

Tabla 2

Resultados de las medias pareadas para la gravedad específica de los agregados gruesos			
Fuente de agregado	Significancia del cambio en valor de gravedad específica bruta con respecto al virgen	Significancia del cambio en valor de gravedad específica seca con respecto al virgen	Significancia del cambio en valor de gravedad específica aparente con respecto al virgen
Alabama	NS	NS	NS
Florida	SH	NS	SL
Nevada	SH	SH	SH
California	NS	NS	NS

**Tabla 3**

Resultados de las medias pareadas para la gravedad específica de los agregados gruesos

Fuente de agregado	Significancia del cambio en valor de gravedad específica bruta con respecto al virgen	Significancia del cambio en valor de gravedad específica seca con respecto al virgen	Significancia del cambio en valor de gravedad específica aparente con respecto al virgen
Alabama	NS	NS	NS
Florida	NS	NS	NS
Nevada	SL	SL	SL
California	NS	NS	NS

Según los resultados anteriores y tomando en cuenta algunas otras propiedades del a-RAP, en la Tabla 4 se comenta a manera de resumen, la influencia de los métodos de extracción sobre propiedades de diseño de mezcla Superpave.

**Tabla 4**

Consecuencias de los métodos de extracción en el diseño de mezcla Superpave

Propiedad del agregado	Centrifugado	Reflujo	Horno de Ignición
Pasando la malla #4	100% de las veces muy cercano al estimado.	50% de las veces muy cercano al estimado y 25% sobre o subestimado.	75% de las veces muy cercano al estimado y 25% sobreestimado.
Pasando la malla #200	50% de las veces muy cercano al estimado y 25% sobre o subestimado.	50% de las veces muy cercano al estimado y 25% sobre o subestimado.	50% de las veces sobreestimado y 50% subestimado.
Gravedad específica combinada	50% de las veces sobreestimado y 50% subestimado. La subestimación podía ser debido al mezclado.	100% de la veces sobreestimado. El impacto se oculta por el proceso de mezclado.	50% de las veces sobreestimado y 50% subestimado. La subestimación podía ser debido al mezclado.
Caras fracturadas, agregado grueso	100% de las veces muy cercano al estimado.	100% de las veces muy cercano al estimado.	100% de las veces muy cercano al estimado.
Vacíos incompactados, agregado fino	25% de las veces sobreestimado y 75% subestimado. El diseño es conservativo el 75% de las veces.	25% de las veces sobreestimado y 75% subestimado. El diseño es conservativo el 75% de las veces.	25% de las veces sobreestimado y 75% subestimado. El diseño es conservativo el 75% de las veces.
Equivalente de arena, agregado grueso	50% de las veces sobreestimado y 50% subestimado. 50% de las veces el diseño no es conservativo	50% de las veces sobreestimado y 50% subestimado. 50% de las veces el diseño no es conservativo	50% de las veces sobreestimado y 50% subestimado. 50% de las veces el diseño no es conservativo
Abrasión de los ángeles	75% de las veces es muy cercano al estimado y 25% subestimado. 25% de las veces el diseño no es conservativo.	75% de las veces es muy cercano al estimado y 25% sobreestimado. El diseño es conservativo.	25% de las veces es muy cercano al estimado y 75% sobreestimado. El diseño es conservativo.

## CONCLUSIONES

De los resultados mostrados en las Figuras y Tabla anterior, puede determinarse que:

- La gravedad específica en el agregado grueso depende del método de extracción: para la centrífuga, el agregado de Alabama no tiene impacto, el de Florida presenta valores mayores y, el de Nevada y California valores menores; el reflujo por otro lado, no impacta los agregados de Alabama y Nevada y afecta significativamente los agregados de Florida y California; con respecto al horno de ignición, se dan gravedades específicas menores para Alabama, Florida y Nevada, sin impacto alguno para el agregado de California. Conjuntamente, el experimento de descomposición mecánica mostró que el impacto del proceso de mezclado es el mínimo (Tabla 2).
- Igual que para el caso de los agregados finos, la gravedad específica bruta depende del método de extracción: con el centrifugado, los valores para los agregados finos de Alabama y California son mayores y, no hay un impacto en los agregados de Florida y Nevada; para el caso del reflujo, los valores son mayores para los agregados de Alabama, Florida y California y, no afectan los agregados de Nevada; en cuanto al horno de ignición, los agregados de Alabama y California tienen mayores valores, los de Florida menores y los de Nevada no se ven afectados. Finalmente el proceso de ruptura mecánica mostró que para el agregado de Nevada, la gravedad específica bruta no era afectada por el proceso de mezclado (Tabla 3).
- Con respecto al agregado combinado, el efecto del centrifugado fue ligeramente menor para los agregados de Florida y Nevada y, mayor para Alabama y California; el reflujo, valores mayores para las cuatro fuentes y; el horno de ignición, valores menores para Alabama y Florida.
- Por tanto, para tres de las cuatro fuentes: Alabama, Florida y Nevada, el valor de la gravedad específica bruta seca del agregado virgen es significativamente mayor que la del agregado extraído por medio del horno de ignición; en el caso del agregado de California, existe una similitud estadística en el valor de los datos. Para el caso de la gravedad saturada superficie seca y aparente, los datos son muy similares, exceptuando el de Florida, donde son menores con respecto al virgen.
- La sobre o subestimación de los datos en caso de utilizar el método del horno de ignición puede deberse a que durante su uso, algunos agregados pueden partirse o perderse.
- Los métodos de extracción efectivamente cambian las propiedades de los agregados y, pueden hacer que el diseñador subestime o sobrestime las propiedades utilizadas en el diseño de mezcla en un mínimo del 25% de las veces y hasta el 100% de las veces según Tabla 4.
- Es importante notar que el agregado RAP no afecta de manera significativa la volumetría de la mezcla y el desempeño, cuando los porcentajes de adición son bajos -menores a 25%-.
- La distribución de tamaños del apilamiento de agregado grueso, no se ve afectada de manera significativa por ninguno de los métodos de extracción. Para el agregado fino, por otra parte, depende de la fuente: en Alabama el efecto en la granulometrías de los apilamientos es combinado - pueden ser más gruesas y más finas-; en Florida, más gruesas; en Nevada, no hay impacto y; en California, más finas. Además, el mezclado no tiene ningún impacto significativo en la distribución de tamaños de los agregados, lo que indica que el impacto en la distribución de tamaños es únicamente causado por el método de extracción.

## REFERENCIAS

Loria, L., & Leiva, P. (Mayo de 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). *Boletín técnico del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica* .

Loria-Salazar, L. (2011). *Evaluation of New and Existing Test Methods to Assess Recycled Asphalt Pavement Properties for Mix Design*. Reno, Nevada: Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering.

American Society for Testing and Materials – ASTM (2014). *Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures*. ASTM D2172.

American Society for Testing and Materials – ASTM (2014). *Standard Test Method for Asphalt Content of Hot-Mix Asphalt by Ignition Method*. ASTM D6307.

McDaniel, R. et al (2001). *Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Guidelines*. National Cooperative Highway Research Program: RESEARCH RESULTS DIGEST. North Central Superpave Center at Purdue University, West Lafayette, Indiana. [http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp\\_rrd\\_253.pdf](http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_253.pdf)