

**Centro Tecnológico de Desarrollo Regional  
Facultad Regional San Rafael - Universidad Tecnológica Nacional  
Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, Argentina**

**PROYECTO DE RECICLADO DE PAVIMENTO: COSTOS PERTINENTES Y BENEFICIOS**

*Williams, Eduardo<sup>1</sup>, Filippetti, María Belén<sup>1</sup>, Larsen, Diego<sup>2</sup>, Capra, Bernardino<sup>2</sup>, Pendón, Manuela<sup>1</sup>, Couselo, Romina<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Cátedra Formulación y Evaluación de Proyectos. Ingeniería Industrial.

Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG) - Pcia. de Buenos Aires - Argentina  
williams@ing.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Unidad de Investigación y Desarrollo Civil. lapiv@ing.unlp.edu.ar

**Resumen**

Las prácticas de reciclado de pavimentos se desarrollaron a partir de la crisis de precios del petróleo en 1973, y desde ese entonces su utilización ha tenido un gran crecimiento. Esto se explica por razones técnicas, económicas y el cuidado del medio ambiente.

En los pavimentos asfálticos el proceso de reciclado de mezclas asfálticas en caliente se inicia con el fresado del concreto asfáltico existente. El material obtenido, el RAP (Recycled Asphalt Pavement), se traslada a Planta, es procesado y finalmente incorporado, en porcentajes determinados en estudios técnicos, a la elaboración de una nueva mezcla asfáltica. La nueva mezcla está compuesta por áridos vírgenes, asfalto y el material fresado y, si fue correctamente formulada permite obtener una mezcla asfáltica en acuerdo con los requerimientos para funcionar como base o carpeta de rodamiento.

El objetivo del presente trabajo es valorar los costos y beneficios de la aplicación de mezclas asfálticas con distintos contenidos de RAP, hasta un máximo del 20%.

En primer término es identificar los costos y beneficios que genera el empleo de RAP en los proyectos de rehabilitación de calzadas. Para posteriormente asignar dichos costos y beneficios a los distintos involucrados en el proyecto. Finalmente, valorar, en la medida de las posibilidades, los montos en juego.

El estudio se realizó sobre información primaria obtenida de obras en ejecución y ejecutadas en los últimos 5 años, ubicadas en CABA y Gran Buenos Aires y que emplearon RAP en porcentajes de hasta un 20%.

Como resultado se pone a disposición de empresarios, representantes de vialidades y organismos municipales relacionados con la obra vial valores que permitan evaluar el uso de estas mezclas y tecnologías.

**1. Introducción**

El empleo de RAP (Recycled Asphalt Pavement) en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de secciones de rutas se acentuó durante la crisis del petróleo de los años '70, cuando se fomentó proactivamente el uso de cantidades superiores de RAP para colaborar en la conservación de las reservas de asfalto y agregados de alta calidad.

Durante varios años se han realizado estudios sobre métodos para lograr el reciclado de pavimentos, tanto en frío, mediante utilización de emulsiones, como en caliente. Este último es el más interesante dadas las propiedades que pueden obtenerse de la nueva mezcla, inigualables a cualquier otra técnica.

La posibilidad de procesar el RAP y controlarlo mejor desde una planta asfáltica, ha permitido aumentar la proporción incluida en las mezclas asfálticas, conduciendo a mayores beneficios económicos y ambientales para los diferentes actores que participan: contratistas, productores y sociedad.

De acuerdo a la National Asphalt Pavement Association (2010) cerca de 100 millones de toneladas de asfalto son recicladas cada año en Estados Unidos. Existen cerca de 1100 plantas de producción en caliente distribuidas en 48 estados y el porcentaje de utilización de RAP alcanza el 36 %. Una encuesta realizada en E.E.U.U., por la Federal Highway Administration mostró que el uso de RAP es opcional y depende de que el contratista proponga su utilización y de consideraciones económicas y de la disponibilidad de material. El mayor costo está asociado a materiales y transporte.

Por otro lado, en Europa la tendencia es la de reciclado en caliente y en planta. Los registros del año 2011 de la European Asphalt Pavement Association (EAPA) muestran que de un total de 4090 plantas de producción en caliente, 1900 se encuentran aptas para implementar reciclado. Anualmente se disponen de 56 M de toneladas de RAP y el porcentaje de uso del mismo supera el 85%.

A continuación se presenta una tabla de datos sobre plantas de Mezclas Asfálticas en Caliente, HMA (por su sigla en Inglés Hot Mix Asphalt) en países europeos:

TABLE 5  
USE OF RAP IN EUROPEAN COUNTRIES FOR 2001

Country	Stationary Plants	Mobile Plants	Number Fit for Warm Recycling	Total HMA	Available RAP	% of the New Production That Contains Reclaimed Material	% Actually Used in Warm Recycling
				x 1.000 tonnes			
Austria	130	0	3	9,500	—	3	—
Belgium	42	0	15	4,500	1.5	25	20–45
Croatia	60	4	4	1,800	20	10	0
Czech Republic	105	2	40	4,300	710	16	10–40
Denmark	48	2	46	2,800	220	31	57
Finland	65	24	23	3,600	200	5–10	40
France	404	100	5	40,500	<5,000	<10	10–45
Germany	740	5	700	63,000	15	60–65	15–80
Hungary	76	4	3	2,900	1,200	—	0.3
Iceland	6	3	1	300	5	0	0
Ireland	50	15	8	3,100	—	—	—
Italy	650	15	150	39,800	13	5	15
Netherlands	56	0	51	600	3,000	60	25–50
Norway	95	12	10	7,700	520	4	6
Poland	300	20	14	4,100	750	0.3	15–30
Romania	40			11,200	80	40	20–40
Slovakia	16	0		2,500	4.6		
Slovenia	300	0	0	1,100	50	15	60
Sweden	129	16	45	1,400	1	19	15
Switzerland	215	2	35	6,700	1.75	—	15
United Kingdom	—	10	—	5,100	5	—	—

After EAPA (2005).

— = not available.

FUENTE: NCHRP-Synthesis 435. "Recycled Materials and Byproducts in Highway Applications- Volume 6: Reclaimed Asphalt Pavement, Recycled Concrete Aggregate, and Construction Demolition Waste"- Pag. 8.

Actualmente en la Argentina, se emplean mezclas recicladas en bases de autopistas de Gran Buenos Aires.

Como se ha mencionado, la utilización de RAP en mezclas en caliente puede conducir a ahorros económicos debido a la menor utilización de materiales nuevos y al ahorro en costos de disposición final. Sin embargo, resulta necesario realizar un balance económico de estos ahorros con los gastos relativos al proceso de fresado, el transporte, tratamiento y almacenamiento del RAP y el del sobrecalentamiento de los áridos. Los resultados dependerán esencialmente del precio del asfalto y de la disponibilidad de áridos en la zona de actuación.

Este trabajo está orientado a valorar los costos y beneficios asociados a la utilización de RAP en proporciones de hasta el 20%.

## **2. Objetivos y Alcance**

En el presente trabajo se realizó un análisis de los costos y beneficios de la producción en planta, en caliente, de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de RAP. El objetivo específico es proveer de información a los actores del sistema vial argentino y fomentar la aplicación de estas técnicas considerando la experiencia y las posibilidades tecnológicas.

El estudio se basó en información primaria proveniente de obras ejecutadas y en ejecución sobre rutas de Capital Federal y del Gran Buenos Aires.

Los contenidos de RAP utilizados en mezcla fueron de hasta el 20%, ya que de acuerdo a los ensayos realizados, las propiedades y la calidad de la mezcla no se ven afectadas.

Finalmente, los cálculos de costos asociados a las operaciones de fresado, transporte hacia la planta y procesamiento de RAP, fueron realizados en base a ecuaciones propuestas por la NAPA- National Asphalt Pavement Association.

## **3. Características de los pavimentos**

### 3.1. Mantenimiento y Rehabilitación Estructural de Pavimentos

Existen varias opciones para la conservación y rehabilitación de un camino deteriorado. Las tareas de conservación propiamente dicha, no conducen a modificaciones sustanciales de los elementos del camino. Se trata de tareas periódicas que impiden la aparición de deterioros o bien se actúa rápidamente cuando ya han aparecido.

La rehabilitación generalmente se aplica cuando los daños provocados por el tráfico y las condiciones climáticas son notables. Pueden realizarse renovaciones superficiales del pavimento o rehabilitaciones estructurales.

Estas últimas consisten en un refuerzo del concreto asfáltico mediante la aplicación de una o más capas nuevas. La otra alternativa empleada con mayor frecuencia en los últimos años es el reciclado, que consiste en reutilizar, tanto como sea posible, el ligante y los áridos que componen el pavimento, a partir del fresado total o parcial de capas de su estructura.

### 3.2. Reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta

Se entiende por "Reciclado de Pavimentos Asfálticos en Caliente en Planta" al proceso mediante el cual los materiales recuperados de capas bituminosas de pavimentos deteriorados, son mezclados con áridos y asfalto virgen, en las proporciones adecuadas para producir nuevas mezclas en caliente que cumplan con los requerimientos de calidad, resistencia y durabilidad exigidos para el tipo de capa en la que se utilizarán.

El proceso productivo de mezclas con RAP es similar al proceso de producción de mezclas con materiales vírgenes únicamente.

Los principios generales aplicables a la técnica de reciclado en caliente en planta son los siguientes:

- a) El contenido de RAP a adicionar está limitado por la falta de regularidad del mismo. Cuanto mayor es el contenido, mayor es el riesgo técnico.
- b) Al aumentar la proporción de RAP, hay que disminuir la de ligante nuevo a añadir para mantener un contenido total de ligante adecuado.
- c) Para un mezclado eficaz y reconstitución de la mezcla, el RAP debe alcanzar una temperatura suficientemente elevada (160°C) para permitir la fluidificación del ligante envejecido y su mezcla con el nuevo.

Los principales inconvenientes del reciclado en caliente en planta son los siguientes:

- Necesidad de grandes obras para que resulte económicamente rentable montar una planta de este tipo.

- En pequeñas obras, necesidad de disponer en las proximidades de plantas equipadas para incorporar RAP a la mezcla.
- Necesidad de grandes superficies de almacenamiento en las plantas.
- Necesidad de una buena organización en las operaciones de fresado para facilitar una operación continua.

### 3.3. Abastecimiento y almacenamiento

Para asegurar que las características del RAP sean aptas para su empleo en mezclas recicladas es necesario realizar operaciones de clasificación, en al menos dos tamaños. La selección debe realizarse sobre una cantidad no superior a 200 tn de material.

El material debería ser almacenado bajo un tinglado para mantenerlo seco y minimizar la humedad del contenido. Las propiedades del RAP dependen no sólo de las propiedades del pavimento del cual provienen sino también de cómo fue recuperado y almacenado. Es recomendable que las pilas de almacenamiento no superen la altura de 3 m. y que el tiempo de almacenamiento sea el menor posible para evitar la compactación. Es esencial analizar y definir las características del RAP, para desarrollar un adecuado diseño de mezcla.

## **4. Metodología**

Para lograr los objetivos propuestos, se recopilaron datos actualizados sobre costos de materiales y ejecución de obras en Gran Buenos Aires. Por otro lado, a través de NCHRP- National Cooperative of Highway Research Program- fue posible acceder a un método desarrollado por la NAPA- National Asphalt Pavement Association, para calcular los ahorros y beneficios del empleo de RAP en plantas de mezclas en Caliente.

### 4.1. Recolección de datos

La información recopilada corresponde a una obra ejecutada en una autopista cercana a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

- *Características técnicas de los materiales*

La mezcla asfáltica considerada posee la siguiente composición:

- CAC D 20 con CA 30: Cemento Asfáltico en Caliente, Denso, Tamaño máximo 20 mm. Característica viscosa del asfalto virgen CA30.
- PG 6/20. Agregado grueso triturado, Granulometría 6-20 mm.
- AG 0/6. Agregado fino triturado, Granulometría 0-6 mm.
- Arena Silíceo. Agregado fino natural.
- Filler (1%). Cal Hidráulica Hidratada. Material de relleno.

- *Costos de operaciones- Zona Gran Buenos Aires.*

<b>Operación</b>	<b>Costo [\$/Tn] +IVA</b>
1. Fresado de concreto asfáltico (Varios e; Ancho 3m)	138
2. Transporte desde frente de obra a planta (Aprox. 30 Km)	38
3. Separación de RAP (2 Tamaños)	9
4. Elaboración de mezcla asfáltica	133
<b>5. Materiales de mezcla asfáltica</b>	
0% de RAP	405
10% de RAP	366
20% de RAP	327
6. Transporte de mezcla (Aprox. 30 Km)	57
7. Colocación	142,5

**Tabla 1. Costos de operaciones de una planta de producción en caliente**

## 5. Resultados

En este apartado se presentan valores obtenidos a partir del procesamiento de la información presentada. Los mismos se encuentran expresados en términos de costos totales de producción, ahorros económicos y en porcentajes de dosificación de materiales.

- Costo Total de Producción de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de RAP [\$/Tn]

Operación	0% RAP	10% RAP	20 % RAP
Fresado de concreto asfáltico (Varios e; Ancho 3m)	138	138	138
Transporte desde frente de obra a planta (Aprox. 30 Km)	38	38	38
Separación de RAP (2 Tamaños)	-	9	9
Elaboración de mezcla asfáltica	133	133	133
Materiales de mezcla asfáltica	405	366	327
Transporte de mezcla (Aprox. 30 Km)	57	57	57
Colocación de la mezcla	142,5	142,5	142,5
<b>Costo Total de Producción [\$/Tn + IVA]</b>	<b>913,5</b>	<b>883,5</b>	<b>844,5</b>

Tabla 2. Costos totales de Producción de mezclas asfálticas con 0%, 10% y 20% de RAP

- Ahorros económicos por el uso de RAP en mezclas asfálticas.

RAP en mezcla	Costo de la mezcla \$/Tn]	Ahorro [\$/Tn]	Porcentaje
0 %	913, 5		
10%	883,5	30	3,3 %
20%	844,5	69	7,5 %

Tabla 3. Ahorros por el uso de RAP

- Dosificaciones de materiales incorporados en las mezclas asfálticas

Materiales	Dosificación sin RAP	RAP al 10%	RAP al 20%
Material de Fresado		10.0%	20.0%
Cemento asfáltico	4.9%	4.4%	4.0%
Agregado grueso triturado	37.4%	32.4%	27.4%
Agregado fino triturado	46.7%	41.7%	36.9%
Agregado fino natural	10.0%	10.5%	10.7%
Cal hidráulica hidratada	1.0%	1.0%	1.0%

Tabla 4. Dosificaciones de materiales de la mezcla

Como se puede observar en las Tablas 2 y 3, el empleo de RAP en mezclas asfálticas puede resultar en ahorros económicos apreciables, asociados a la disminución de los requerimientos de agregados (Tabla 4).

Cabe aclarar que si en el análisis costo-beneficio se introducen externalidades como las derivadas del ahorro energético y el ahorro de recursos, los resultados son cada vez más positivos.

## 6. Conclusiones

Los motivos principales que fomentan el empleo de técnicas de reciclado son:

- Restricciones de materiales vírgenes por costos y disponibilidad.
- Legislación: protección del Medio Ambiente, restricciones al transporte de desechos.

- Costos asociados a cargos por disposición en vertederos.
- Viabilidad técnica: buena calidad final y relación costo/efectividad.

Por lo tanto, el reciclado une ventajas y permite alcanzar metas económicas y de cuidado del ambiente. Los beneficios que obtienen las agencias y las constructoras pueden resumirse en el menor costo de transporte y de material virgen, ahorros energéticos, ventajas operativas (debido a que puede trabajarse por carriles) y técnicas.

Debido a que las obras viales consumen elevados volúmenes de recursos no renovables, deben extremarse las posibilidades de reciclado. Esto reduce, además, los daños al entorno que se generan con la extracción, preparación, colocación y depósito de los materiales empleados.

Los resultados de obras recientes siguen acumulando evidencias y potencialidad del empleo del RAP. Si todas las propuestas de costos para los proyectos de rehabilitación de caminos presentadas por las empresas incluyeran una evaluación social del mismo, esta última dejaría en evidencia los beneficios económicos, sociales y ambientales, asociados a aquellas que incluyan la reutilización de los pavimentos existentes.

### 6.1. Perspectivas de futuro

Actualmente, el desarrollo del reciclado en el futuro apunta hacia varias tendencias:

- Técnica del reciclado en bajas proporciones (10 a 15%), dirigida principalmente al aprovechamiento de restos de fresado evitando así su disposición final. Se trata de una técnica relativamente sencilla en la que la granulometría del material reciclado y el ligante envejecido tienen poca influencia en el comportamiento de la mezcla final.
- Aprovechamiento de mezclas bituminosas procedentes de grandes operaciones de rehabilitación, es decir, en las que el reciclado se realice sobre el material extraído en una única obra. Este tratamiento permitirá ir a grandes tasas de reciclado (30% o superiores). Este tipo de reciclado necesita estudios muy detallados y la disposición de una central especial, dependiendo su empleo de acuerdos previos entre la administración y el contratista.

## **7. Bibliografía**

- [1] Ng Sean, Lok; Sophie Nigen, Chaidron; Pok Sum, Loong; Frits de Jonge; Yutthaporn Y Janyajarasorn. (2011). "La reutilización de pavimentos como parte de una nueva generación de mezclas asfálticas de alto desempeño". *El Asfalto. N° 111. Páginas 9-15.* Argentina.
- [2] Andreen, Burt; Rocheville, Harry; Ksaibati, Khaled. (2011). "A Methodology for Cost/Benefit Analysis of Recycled Asphalt Pavement (RAP) in Various Highway Applications". *Transportation Research Board 2012 Annual Meeting.* Washington, D.C.
- [3] Larsen, Diego O.; Balige, Marcela; Bisio, Alejandro; Cortizo, Susana. (2009). "Recomendaciones en la utilización de RAP en mezclas recicladas en caliente". *Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito.* Mar del Plata, Argentina.
- [4] NCHRP-Syntesis 435. (2013). "Recycled Materials and Byproducts in Highway Applications-Volume 6: Reclaimed Asphalt Pavement, Recycled Concrete Aggregate, and Construction Demolition Waste". Washington D.C.
- [5] OHMPA. (2007). "The ABCs of Asphalt Pavement Recycling". Ontario
- [6] Wirtgen. (2004). "Manual de Reciclado en frío". Alemania.