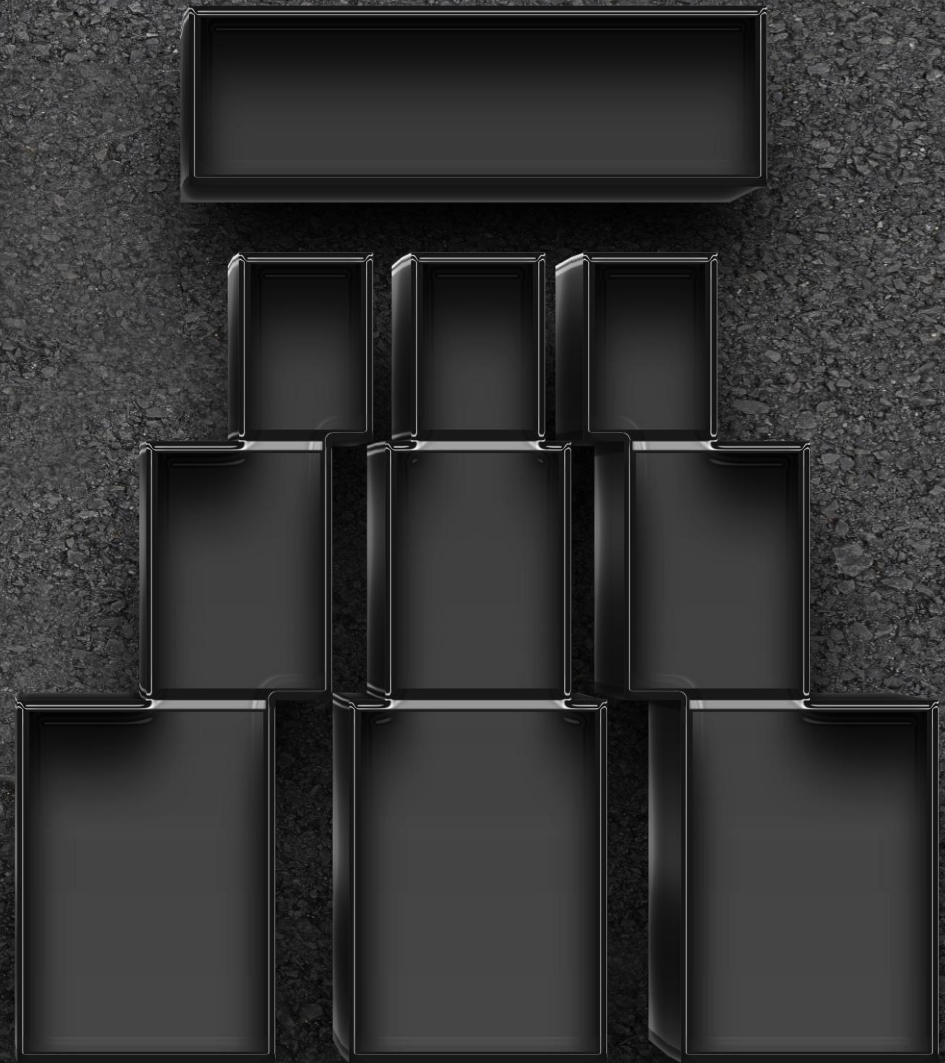




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

Tema: Retos del reciclado en pavimentos asfálticos para garantizar los beneficios ambientales



Dr. Juan Fernando Mendoza Sánchez

21 de agosto 2025

RETOS DEL RECICLADO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA GARANTIZAR LOS BENEFICIOS AMBIENTALES

Dr. Juan Fernando Mendoza Sánchez



Comunicaciones

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes



XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

CONTENIDOS



01

Introducción

02

El proceso de reciclado del pavimento asfáltico

03

Problemas en el reciclado del pavimento

04

¿Cómo hacer frente a los problemas en el reciclado del pavimento?

05

Beneficios del reciclado del pavimento asfáltico

06

Conclusiones

Introducción

- La demanda de infraestructura para el transporte más sostenible ha hecho que aumente el interés por el reciclado y recuperado de pavimentos asfálticos (RAP).
- Este proceso natural y rentable ayuda a reducir los residuos, conservar los recursos naturales y disminuir las emisiones de carbono.
- Los beneficios del reciclaje de pavimentos asfálticos en reducción de consumos de recursos naturales, disminución de gases de efecto invernadero (GEI) y la reducción de residuos, en México como en otros países, aún se tienen que enfrentar múltiples retos técnicos y operativos asociados con el reciclaje de pavimentos asfálticos



Proceso de reciclado del pavimento asfáltico (1)

➤ El recuperado del pavimento

El reciclado del pavimento asfáltico consiste en recuperar y reutilizar los materiales del pavimento existente. Existen dos métodos principales: el reciclado en caliente y el reciclado en frío, ya sea en planta o en sitio



Proceso de reciclado del pavimento asfáltico (2)

➤ El diseño de mezclas con reciclado del pavimento asfáltico

- Probar propiedades requeridas de agregados.
- Aplicar a RAP los mismos requisitos que a agregados vírgenes.
- Combinar fracciones de RAP para mezcla inicial.
- Extraer asfalto y evaluar propiedades.
- Seleccionar tipo y dosis de rejuvenecedor.
- Ajustar contenido de asfalto según fuente, finos, rejuvenecedor o asfalto virgen.
- Usar especificaciones AASHTO M 323 y R 35.
- Mezclar y compactar en laboratorio.
- Evaluar propiedades volumétricas y de desempeño.
- Seleccionar ensayos según condiciones y modos de falla esperados.



Proceso de reciclado del pavimento asfáltico (3)

➤ Tecnologías disponibles para el reciclado del pavimento asfáltico

- Plantas de mezcla asfáltica tipo “Batch”
- Plantas de tambor continuo con doble sistema de calentamiento
- Plantas modulares tipo “foam bitumen” (espumado)



Ammann ABA RAH100



Benninghoven ECO



Marini eTOWER



Astec Double Barrel



Terex E100P



Wirtgen KMA 240



Proceso de reciclado del pavimento asfáltico (4)

➤ Colocación de las mezclas con reciclado del pavimento asfáltico

La construcción de mezclas con RAP no difiere del procedimiento para una mezcla convencional de HMA, sin embargo, un mal diseño o una mala elaboración de la mezcla reciclada, generará problemas en la colocación y compactación del nuevo pavimento.

Las mezclas con alto contenido de RAP requieren **más cuidado que las mezclas convencionales debido a un aumento de la rigidez derivado de la incorporación del RAP**, por lo que la compactación de las mezclas asfálticas con RAP debe hacerse con cuidado, monitoreando con pruebas no destructivas para lograr la densidad adecuada.

Problemas en el reciclado del pavimento (1)

- **Problemas en la obtención del RAP**

Importancia del tamaño y distribución de la partícula

- Fresado controlado para mejor diseño de mezcla.
- Fresado muy grueso o fino afecta dosificación del asfalto y comportamiento mecánico.

Profundidad del fresado

- Superficial: Asfalto más oxidado (envejecido).
- Profundo: Asfalto más fresco, mejora reactivación del RAP.

Contaminación del RAP

- Contaminación con base o vegetación disminuye calidad.
- RAP homogéneo es esencial, evitar fresados por etapas sin control.

Operación del fresado

- Fresado agresivo puede fracturar o degradar agregados.
- Importante una buena operación para recuperar agregados de calidad.

Reutilización del RAP

- RAP inadecuado requiere tratamientos adicionales (cribado, lavado, separación de partículas finas).
- Asfalto envejecido necesita rejuvenecimiento intensivo RAP (aditivos químicos o térmicos).

Problemas en el reciclado del pavimento (2)

- **Problemas operativos para el manejo del RAP**

Manejo adecuado para evitar contaminación

- Contaminantes (suelo, escombros, concreto, vegetación) afectan propiedades y desempeño.
- Procesos adicionales de limpieza no sostenibles.

Almacenaje y clima

- Tiempo en almacenamiento y clima afectan material.
- Bajas temperaturas endurecen asfalto, dificultando adhesión e integración.
- RAP mojado/húmedo causa desprendimiento y dificultades en calentamiento uniforme.

Producción y colocación

- Ajuste según temperatura y humedad para rendimiento adecuado.
- Presencia de humedad crítica en reciclado en frío afecta compactación y resistencia.

Cumplimiento de especificaciones

- Reutilización en capas no ligadas si no cumple especificaciones.
- Desperdicio impacta medio ambiente y costos adicionales.

Sistema de Gestión del RAP

- Manejo lote por lote.
- Protocolos para clasificación, almacenamiento y procesamiento.

Problemas en el reciclado del pavimento (3)

- **Problemas técnicos de las mezclas con RAP**

Heterogeneidad de agregados

- Propiedades mecánicas diferentes.
- Asfalto envejecido pierde flexibilidad, afectando calidad.

Variación en contenido de asfalto y granulometría

- Dificulta control de calidad y diseño consistente.
- Importancia de determinar porcentaje óptimo basado en estudios previos.

Proceso de mezcla y calentamiento

- Cuidado en calentamiento para evitar degradación.
- Compatibilidad del RAP con materiales vírgenes es crucial.

Importancia del diseño y experiencia

- Ajuste de curva granulométrica y métodos de balance de energía.
- Necesidad de equipos especializados y plantas de procesamiento.

Incorporación de altos porcentajes de RAP

- Problemas amplificados con contenidos mayores a 30-40%.
- Inversiones significativas necesarias para adaptación de plantas.

Problemas en el reciclado del pavimento (4)

- **Problemas diversos con el RAP**

Regulaciones y Políticas

- Estrictas y inconsistentes, creando obstáculos para el reciclaje

Percepción Pública

- Idea errónea de menor calidad en mezclas con RAP.
- Reticencia en su uso generalizado.

Aspecto Económico

- Altos costos de inversión inicial en equipos e infraestructura.
- Mercado reducido que no asegura rentabilidad.

¿Cómo hacer frente a los problemas con el RAP?

La **implementación efectiva** del reciclado de pavimentos requiere una **visión estratégica** que equilibre las condiciones técnicas de las empresas y los profesionales, las regulaciones normativas institucionales y guías prácticas, inversiones significativas de la industria y la concientización sobre los beneficios ambientales que esta práctica representa.

En la práctica se sugiere implementar un **Sistema de Gestión para el Reciclado de Pavimentos SG-RAP**).

Este enfoque sistémico puede ayudar a los **tomadores de decisiones** para combinar lo técnico, lo normativo, etc., para hacer frente a los problemas y desafíos del reciclaje de pavimentos.

Desarrollo de normativa

- Normativa basada en desempeño para el diseño
- Normativa para el control de los materiales y ensayos para determinar sus propiedades
- Elaboración de guías prácticas
- Implementar tramos de prueba piloto

Capacitación y concientización

- Capacitación del personal en planta, en obra y en laboratorio
- Concientización sobre la importancia del reciclado de pavimentos

Gestión del RAP

- Determinar técnicas para la obtención y protocolos para la caracterización del RAP
- Manejo adecuado para evitar su contaminación
- Clasificar el RAP por lotes y origen
- Determinar zonas de almacenamiento limpias y cubiertas

Diseño de mezclas

- Definir el método de diseño (basada en desempeño)
- Definir los límites de contenido de RAP
- Determinar el tipo de rejuvenecedor
- Establecer los métodos de ensayo de desempeño

Control de calidad

- Procedimientos para producción, transporte, colocación y compactación de mezclas recicladas.
- Protocolos de control de calidad en obra: temperatura, densidad, contenido de vacíos.
- Registro de datos para trazabilidad y seguimiento
- Monitoreo y evaluación del desempeño



¿Cómo hacer frente a los problemas con el RAP?

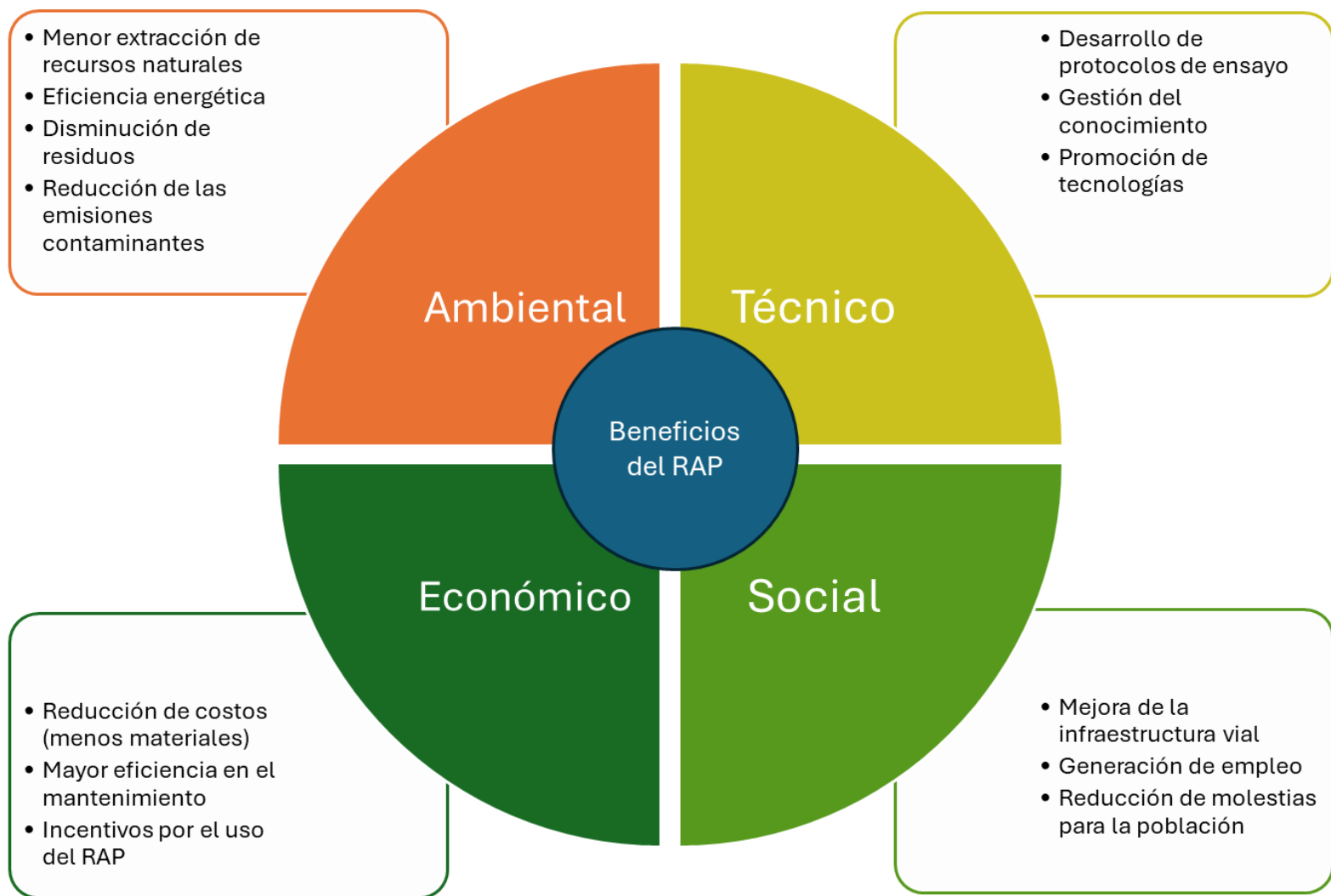
Algunas estrategias para enfrentar la problemática actual pueden ser:

- a) Revisar y flexibilizar especificaciones técnicas, basándolas en resultados de ensayos de desempeño mecánico y funcional, más que en límites rígidos de contenido de RAP.
- b) Establecer protocolos normativos y técnicos sobre el RAP, en aspectos clave, tales como la obtención, caracterización y clasificación, el manejo y cuidado de evitar su contaminación, almacenaje, etc.
- c) Fomento del uso de tecnologías para incentivar el uso de:
 - Rejuvenecedores químicos para mejorar el desempeño del asfalto envejecido.
 - Plantas asfálticas adecuadas para RAP, con control térmico y sistemas de mezcla por etapas.
 - Métodos de reciclado en frío, especialmente en vías de bajo volumen.
- d) Capacitación técnica y difusión de buenas prácticas, en temas sobre diseño de mezclas recicladas, manejo de materiales y ejecución en obra.
- e) Desarrollo de incentivos, tales como bonificaciones, licitaciones diferenciadas o financiamiento preferencial para proyectos o empresas que implementen reciclado de pavimentos con criterios de calidad y sostenibilidad.

Finalmente, como todo sistema, este debe establecer objetivos medibles que se deseen alcanzar, por ejemplo:

- Incrementar el porcentaje de RAP reutilizado.
- Reducir el uso de materiales vírgenes y emisiones de CO₂.

Beneficios del reciclado del pavimento asfáltico



Herramientas para evaluar los beneficios del reciclado del pavimento asfáltico (1)

- **Análisis del Ciclo de Vida**

El uso del ACV para evaluar mezclas con RAP permite cuantificar sus impactos ambientales a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida, y compararlas con mezclas tradicionales.



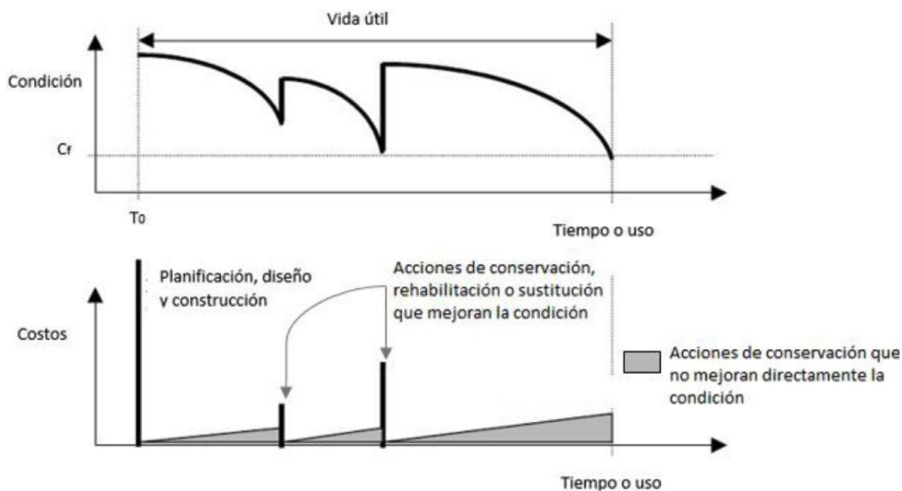
Tipo de Mezcla	Energía (MJ)		GHG (kg CO ₂ e)	
	Construcción inicial	Mantenimiento	Construcción inicial	Mantenimiento
Convencional	5,400,727	1,142,908	394,187	85,370
30% RAP	4,878,232		356,072	
40% RAP	4,704,067		343,368	
50% RAP	4,529,902		330,663	

Fuente: Aurangzeb et al., 2014.

Herramientas para evaluar los beneficios del reciclado del pavimento asfáltico (2)

- **Análisis del Costo del Ciclo de Vida**

Esta herramienta evalúa el costo total de las soluciones recicladas en comparación con las convencionales, incluyendo costos iniciales, de mantenimiento, rehabilitación y puede también considerar las externalidades (impactos ambientales).



Fuente: LanammeUCR

Tipo de costo	Costo de referencia	Costo con RAP	Ahorro
Costo de la agencia	9,044,570	7,107,230	1,937,340 (21%)
Costo del usuario	10,570	8,380	2,190 (21%)
Total	9,055,140	7,115,610	1,939,530 (21%)

Fuente: Lee et al., 2010.

Conclusiones

- **Sostenibilidad vial:**
 - Reciclado de pavimento asfáltico es esencial para una infraestructura sostenible.
 - Innovación e inversión en tecnologías de reciclado mantienen estándares de calidad.
- **Crecimiento del uso de RAP:**
 - Impulsado por costos de materiales vírgenes y transporte.
 - Uso opcional, depende de decisiones económicas, disponibilidad de materiales y capacidad de producción.
- **Retos del RAP:**
 - Requisitos de calidad y variabilidad del RAP.
 - Disponibilidad limitada y experiencias previas.
 - Calidad de mezclas con alto contenido de RAP y costos de materiales vírgenes.
- **Gestión adecuada:**
 - Puede transformar el reciclado en una herramienta eficiente y ambientalmente responsable.
 - Carreteras duraderas, rentables y respetuosas con el medio ambiente.
- **Tomadores de Decisiones:**
 - Promover normas y políticas para detonar el uso del RAP.
 - Asegurar financiamiento, equipamiento y formación especializada.
 - Fomentar la innovación y la investigación aplicada.

¡ muchas gracias!

Ponente: Dr. Juan Fernando Mendoza Sánchez

Contacto: fernando.mendoza@imt.mx



Comunicaciones

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes

