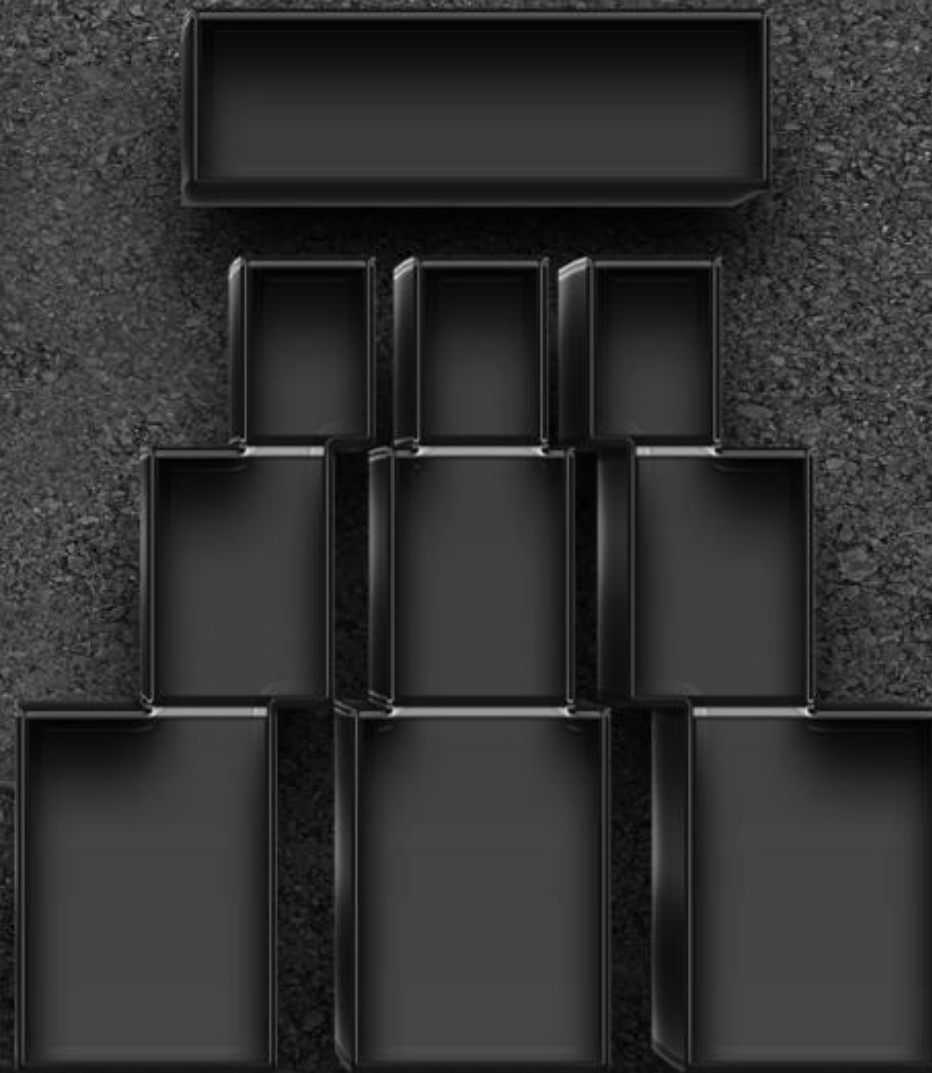




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México



# Características superficiales de pavimentos con RAP

RICARDO SOLORIO MURILLO



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



# Tema: Características superficiales de pavimentos con RAP



Ricardo Solorio

21 de agosto, 2025



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A.C.

@AMAACmx

<http://www.amaac.org.mx>



# Contenido



1

Antecedentes



2

Desempeño de pavimentos con RAP



3

Buenas prácticas para incrementar el uso de RAP



4

Líneas de investigación relevantes

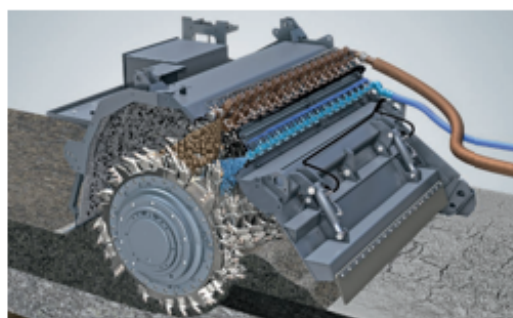


5

Conclusiones y recomendaciones

# RAP, beneficios y retos

- *RAP*: Pavimento asfáltico recuperado o reciclado
- Proporciona material pétreo y ligante útiles en trabajos de rehabilitación o reconstrucción



## • Beneficios

- Ambientales, reducción en:
  - Explotación de recursos no renovables
  - Consumo de energía
  - Emisiones de gases de efecto invernadero
  - Disposición de residuos
- Económicos, disminución de:
  - Extracción y transporte de material virgen
  - Procesamiento

## • Retos

- Envejecimiento del ligante y mayor riesgo de:
  - Agrietamiento (por fatiga, térmico, de reflexión)
  - Desprendimiento de agregados
  - Formación de baches
  - Irregularidad superficial

# Uso actual de RAP

## Aplicaciones en EUA y Europa

| Cantidades consideradas                     | EUA                       | Europa                    |
|---------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Producción total de mezcla caliente o tibia | 389.3 x 10 <sup>6</sup> t | 297.9 x 10 <sup>6</sup> t |
| RAP total aceptado en plantas               | 101.1 x 10 <sup>6</sup> t | 49.5 x 10 <sup>6</sup> t  |
| RAP en mezclas calientes o tibias           | 81.3 %                    | 51.4 %                    |
| RAP en mezclas frías                        | 0.297 %                   | 3.81 %                    |
| RAP como agregado en capas no cementadas    | 6.33 %                    | 17.0 %                    |
| Otros usos                                  | 1.98 %                    | 2.00 %                    |
| Depositado en rellenos                      | ≈ 0.00 %                  | 9.63 %                    |

- Contenido *alto* de RAP: cualquier proporción mayor al 25 % en peso
- La persistencia de percepciones negativas han limitado el contenido a un rango de 15 a 30 %
- Factores restrictivos:
  - Calidad del material
  - Tecnologías de las plantas
  - Metodologías de diseño
  - Desempeño de la nueva mezcla





# Vertientes de la evaluación de pavimentos

• Haz clic

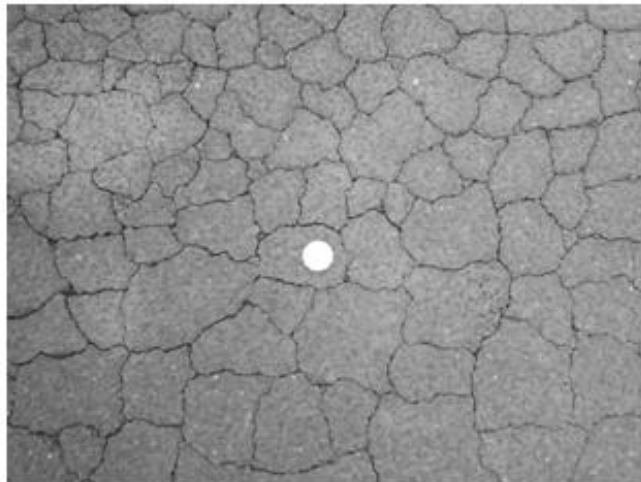
| Aspecto evaluado      | Atributo del servicio   | Propiedades del pavimento                | Indicadores                    |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| Capacidad funcional   | Confort                 | Regularidad                              | IRI                            |
|                       | Seguridad               | Resistencia al deslizamiento             | Coefficiente de fricción       |
|                       |                         |                                          | Profundidad de la macrotextura |
| Capacidad estructural | Capacidad de carga      | Propiedades mecánicas                    | Deflexiones                    |
|                       |                         |                                          | Módulos de las capas           |
|                       |                         |                                          | Otros                          |
| Estado superficial    | Presencia de deterioros | Área afectada u ocurrencias individuales | Agrietamiento por fatiga       |
|                       |                         |                                          | Roderos                        |
|                       |                         |                                          | Baches                         |
|                       |                         |                                          | Otros                          |



# Deterioros relacionados con indicadores básicos de desempeño

## Agrietamiento

El ligante envejecido incrementa la rigidez y con ello la susceptibilidad al agrietamiento por fatiga, contracción térmica o reflexión



## Roderas

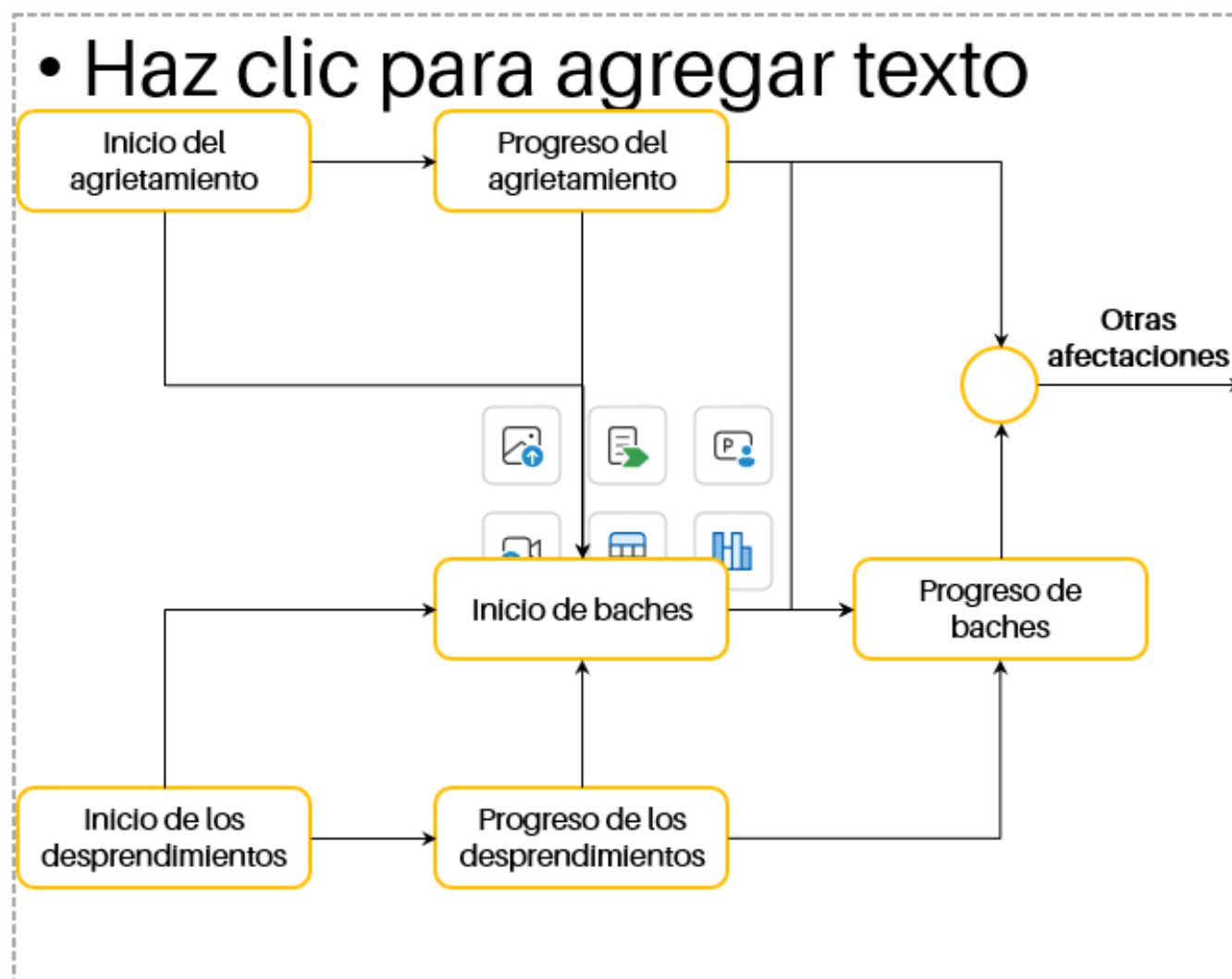
En general, se acepta que la mayor rigidez conlleva una mayor resistencia a la deformación permanente





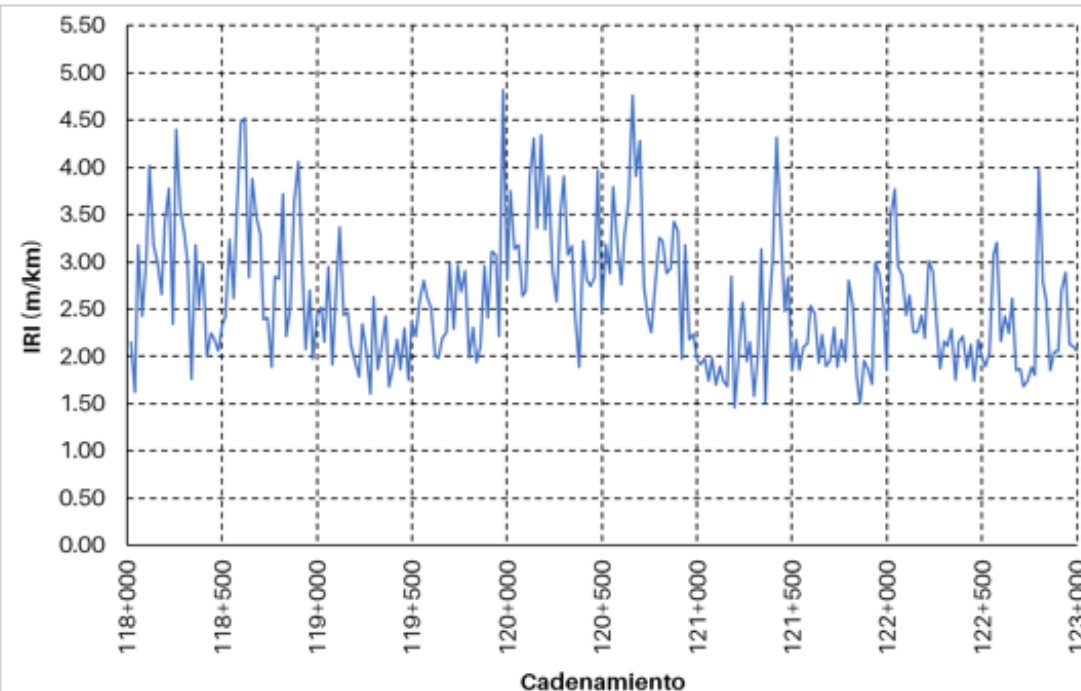
# Desprendimiento de agregados y baches

- El agrietamiento y los desprendimientos son precursores de baches
- Los desprendimientos se relacionan con la susceptibilidad a la humedad
- La humedad reduce la adhesión entre el ligante y el agregado
- El flujo de agua causa erosión y compromete la cohesión del ligante en sí, máxime si ha envejecido



# Irregularidad del pavimento

- Haz clic para agregar texto



- La irregularidad no es un daño observable directamente
- Integra los efectos directos sobre el perfil longitudinal de los distintos modos de deterioro
- La heterogeneidad del RAP puede inducir irregularidad adicional en algunos segmentos



# Comparación con mezclas convencionales

| Característica estudiada     |                     | Duración del estudio (años) | RAP utilizado (%) | Indicador de desempeño                    | Efecto respecto a mezclas convencionales |         |
|------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|---------|
| Agrietamiento                | Por fatiga          | 0-12                        | 30                | Tiempo de iniciación                      | Peor                                     |         |
|                              |                     | 5 días (envejecimiento)     |                   | DCSE <sub>f</sub> y valor de meseta       |                                          |         |
|                              |                     | 10-15                       |                   | Área agrietada (m²)                       |                                          |         |
|                              |                     | 5 días (envejecimiento)     | 40                | Vida de fatiga                            |                                          |         |
|                              | Transversal         | 16                          | 35                | Longitud de grietas (m)                   |                                          |         |
|                              |                     | 10-15                       | 30                | No. de grietas/segmentos                  |                                          |         |
|                              | De baja temperatura | 5 días (envejecimiento)     | 15, 30, 40, 50    | Rigidez a 60 s y valor m                  |                                          |         |
|                              | Longitudinal        | 10-15                       | 30                | Longitud de grietas (m)                   |                                          |         |
|                              | En bloque           |                             |                   | Área agrietada (m²)                       |                                          | Similar |
| Roderas                      |                     | 8-17                        | 30                | Deflexión                                 | Similar                                  |         |
|                              |                     | 16                          | 35                | Profundidad de roderas (mm)               | Peor                                     |         |
|                              |                     | 10-15                       | 30                |                                           | Similar                                  |         |
| Desprendimiento de agregados |                     | 10-15                       | 30                | Área con desprendimientos (m²)            | Similar                                  |         |
| Irregularidad                |                     | 16                          | 35                | Índice de regularidad Internacional (IRI) |                                          |         |
|                              |                     | 10-15                       | 30                |                                           |                                          |         |

Zhang et al (2022)



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A.C.

@AMAACmx

<http://www.amaac.org.mx>

11



# Procesamiento de RAP

- Haz clic para agregar texto

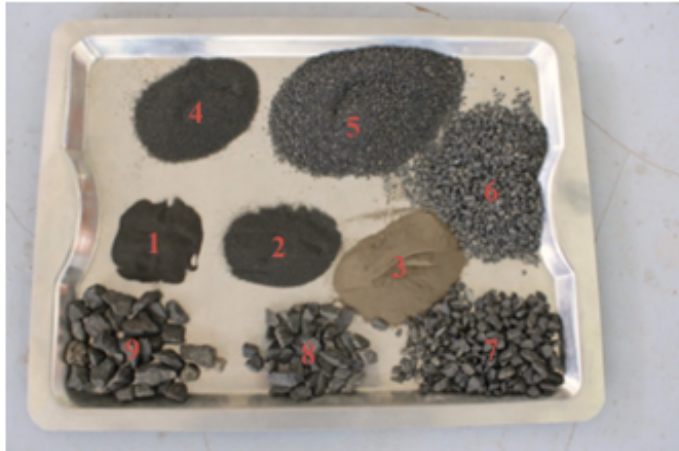


- Extracción mediante fresado o retiro en profundidad
- Transformación del material extraído en componentes útiles para fabricar nuevas mezclas
- Puede incluir:
  - Trituración
  - Cribado
  - Transporte
  - Apilamiento en montículos
  - Colocación bajo cobertizos



# Caracterización

- Haz clic para agregar texto



- Tarea compleja por la variabilidad del RAP
- Supone pruebas muy diversas en los siguientes rubros:
  - Contenido de asfalto
  - Propiedades del ligante
  - Propiedades del agregado
  - Contenido y susceptibilidad a la humedad
  - Desempeño
- Se han hecho esfuerzos por desarrollar métodos simplificados, basados p. ej. en pruebas de fragmentación y cohesión





# Adaptación del grado PG

| Grado PG recomendado por AASHTO para el ligante asfáltico virgen                                                               | % de RAP |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Sin cambios                                                                                                                    | < 15     |
| Cambiar el grado al nivel inmediato anterior al normal (p. ej. seleccionar PG 58-28 cuando normalmente se utilizaría PG 64-22) | 15-25    |
| Obtener el ajuste a partir de gráficos de mezclado                                                                             | > 25     |

- Sobre el uso de los gráficos de mezclado, la FHWA ha resaltado que puede tomar mucho tiempo y que supone el uso de solventes peligrosos
- Consecuentemente, cita procedimientos alternativos
- El proceso de adaptación asume una mezcla total de los ligantes virgen y reciclado, pero en realidad esto no ocurre
- En aplicaciones con altos porcentajes de RAP, puede ser necesario incorporar agentes rejuvenecedores.

# Diseño de la mezcla

- Haz clic para agregar texto



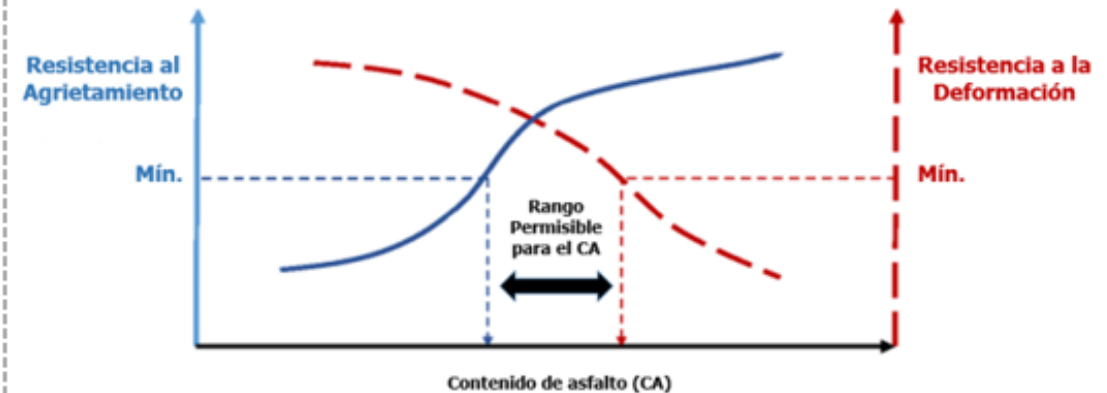
- Aspectos que condicionan el diseño:
  - Contenido de asfalto existente y nivel de envejecimiento
  - Proporción en la que puede mezclarse con ligante virgen
  - Ajuste PG del ligante virgen
  - Influencia del agregado recuperado en la nueva granulometría
- Adicionalmente, se debe dar especial importancia a las pruebas de desempeño



# Diseño balanceado

- Trabajo exploratorio "Enfoque inicial para desarrollar un método balanceado de mezclas en Nuevo México"
- Se compararon dos diseños Superpave con asfalto PG-64-22, una con agregado virgen y la otra con 15 % de RAP
- Contenidos de asfalto: óptimo de 5.2 % y 0.5 % mayor y menor
- Mejor comportamiento de la mezcla con RAP y contenido de asfalto de 5.7 %
- Se concluyó que el RAP incrementó la resistencia a la deformación permanente y el mayor contenido de asfalto al agrietamiento

- Haz clic para agregar texto





# RAP y mezclas tibias

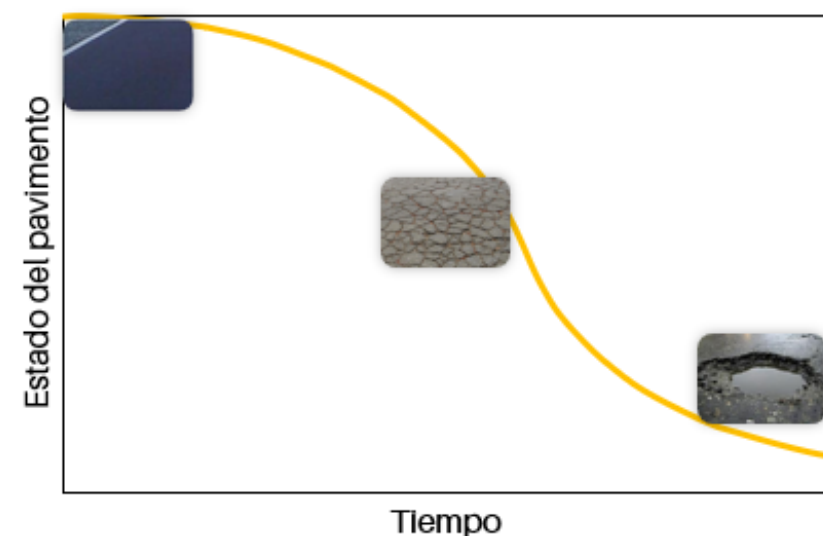


- El uso de RAP con mezclas tibias incrementa sus beneficios ambientales y económicos
- En un estudio en Suiza se empleó un aditivo con base biológica para producir una mezcla tibia con 50 % de RAP para capas superficiales
- Se verificó que el aditivo no modificara las propiedades reológicas del asfalto ni el comportamiento mecánico de la mezcla
- Se obtuvieron mayores valores del Índice de Tolerancia al Agrietamiento para las mezclas tibias que para una mezcla en caliente de referencia, lo que indica una menor susceptibilidad al agrietamiento

Bueche et al. (2024)

# Desempeño en el largo plazo

- Haz clic para agregar texto



En una revisión exhaustiva sobre el comportamiento en el largo plazo de mezclas con RAP se encontró que:

- Las roderas no constituyen un motivo de preocupación
- Los comportamientos respecto al agrietamiento impiden un juicio concluyente
- Los agentes rejuvenecedores mejoran la resistencia al agrietamiento térmico de mezclas con altos contenidos de RAP
- El uso óptimo de estos agentes normalmente conduce a una mayor durabilidad de las mezclas
- La aplicación del diseño balanceado permite una mejor comprensión sobre el desempeño de mezclas con altos contenidos de RAP



Yu et al. (2024)

@AMAACmx

<http://www.amaac.org.mx>

18



# Conclusiones y recomendaciones

- El RAP puede generar múltiples beneficios ambientales y económicos pero conlleva el riesgo de provocar deterioros prematuros por el ligante envejecido lo que, a su vez, se vincula con factores como el porcentaje utilizado, el nivel de tránsito y las condiciones medioambientales
- El uso de RAP puede afectar distintos indicadores de capacidad estructural, funcional y estado superficial, pero se manifiesta en mayor medida en el agrietamiento térmico y por fatiga
- Aunque el compendio de buenas prácticas en el uso de RAP acumulado a nivel mundial puede ser muy útil, la gran heterogeneidad de este material obliga a un análisis cuidadoso de las particularidades de cada proyecto



# Conclusiones y recomendaciones

## (cont.)

- Entre las múltiples líneas de investigación relacionadas con el uso de RAP, tres destacan por su alineación con el desempeño de mezclas con este material durante el ciclo de vida: diseño balanceado, RAP y mezclas tibias y seguimiento del desempeño en el largo plazo
- Se recomienda la formación de equipos de trabajo con profesionales de los sectores público y privado para normalizar el desarrollo de proyectos con RAP, de acuerdo con las condiciones del país
- Se recomienda también la construcción y seguimiento de tramos de prueba para acumular evidencias sobre el comportamiento de tramos con este material en el largo plazo

# Referencias

- AASHTO. (2022). *Standard Specification for Superpave Volumetric Mix Design - AASHTO M 323-22*. Washington, DC, EUA: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Bueche, N., Probst, S., Eskandarsefat, S. (2024). "Warm-Mix Asphalt Containing Reclaimed Asphalt Pavement: A Case Study In Switzerland". *Infrastructures*, 9(79). <https://www.mdpi.com/2412-3811/9/5/79/pdf?version=1714383863>.
- Copeland, A. (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement In Asphalt Mixtures: State of the Practice*. McLean, VA, EUA: Federal Highway Administration. <https://highways.dot.gov/media/841>.
- Endale, A., Ghataora, G., Burrow, M. (2022). "Asphalt pavement cold recycling and basic characteristics of RAP materials and their application", *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 16(1). David Publishing. <https://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/623d1d2ae9379.pdf>.
- FHWA (2020). *Asphalt Pavement Recycling with Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. Federal Highway Administration (FHWA). <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/rap/>.
- Fonseca, F. y Slein, J. (2020) "Generalidades de la metodología de diseño balanceado de mezcla asfáltica (BMD)", *Boletín técnico PITRA-LanammeUCR*, 11(7). PITRA-LanammeUCR. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2131/Boletin%207%20Generalidades%20de%20la%20metodolog%C3%ADa%20de%20Dise%C3%B1o%20balanceado%20de%20mezcla%20asf%C3%A1ltica%2028BMD%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Hossain, M. S., Hasan, M. M., Biswas, B. S., Alam, M., Tarefder, R. A. (2025). "Initial Approach to Develop Balanced Mix Design Method in New Mexico". *Geotechnical Frontiers 2025*. Louisville, KY, EUA: American Society of Civil Engineers.
- Sasidharan, D., Toshikhani, A., Gottumukkala, B., Yadav, J. (2023). "Characterization of Recycled Asphalt Pavement Materials for Use in Hot-Mix Asphalt Mixes". *Journal of Testing and Evaluation*, 51(5). ASTM.

# Referencias (cont.)

Tarsi, G., Tartarini, P., Sangiorgi, C. (2020). "The Challenges of Using Reclaimed Asphalt Pavement for New Asphalt Mixtures: A Review". *Materials*, 13(4052). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7560297>.

Tia, M, Han, S., Chung, H.W., Subgranon, T., Zhu, C. (2017). *Development of Mix Designs for RAP Concrete for Florida Concrete Test Road*. Gainesville, FL, EUA: University of Florida. <https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/research/reports/fdot-bdv31-977-80-rpt.pdf>.

Wirtgen (s. f.) *Cold Recycling: Wirtgen Cold Recycling Technology*. Wirtgen Group. [https://www.wirtgen-group.com/media/02\\_wirtgen/05\\_pdfs/praxisratgeber\\_leseproben/manual\\_cold-recycling\\_excerpt\\_en.pdf](https://www.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/05_pdfs/praxisratgeber_leseproben/manual_cold-recycling_excerpt_en.pdf).

Yu, J., Lin, Z., Zou, G., Yu, H., Leng, Z., Zhang, Y. (2024). "Long-term performance of recycled asphalt mixtures containing high RAP and RAS". *Journal of Road Engineering*, 4(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2097049824000040/pdf?md5=cb10c7ef9f81ad18a5cdff5499353071&pid=1-s2.0-S2097049824000040-main.pdf>.

Zhang, J., Sesay, T., You, Q., Jing, H. (2022). "Maximizing the Application of RAP in Asphalt Concrete Pavements and Its Long-Term Performance: A Review". *Polymers*, 14(4736). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9654874/pdf/polymers-14-04736.pdf>.



*¡muchas gracias!*

**Ponente:** Ricardo Solorio Murillo

**Contacto:** 44-21-79-94-27, [rsolorio@imt.mx](mailto:rsolorio@imt.mx)



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