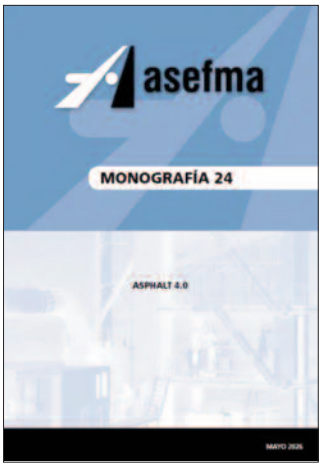
Lecturas recomendadas

La transformación digital está modificando de forma profunda la manera de producir, ejecutar, controlar y conservar los pavimentos. La incorporación de sensores, sistemas de posicionamiento, plataformas de gestión, modelos predictivos, inteligencia artificial o gemelos digitales abre nuevas posibilidades para conocer mejor los procesos, mejorar su eficiencia y tomar decisiones apoyadas en una información cada vez más completa.



Recycled Asphalt Materials: Binder Availability and Its Impact on Mix Performance
Fan Yin et al.

NCHRP Web-Only Document 450. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Transportation Research Board. 2026. 99 páginas.
DOI: 10.17226/29391

El incremento de la utilización de asfalto recuperado (*RA o RAP, Reclaimed Asphalt Pavement*) en la fabricación de nuevas mezclas bituminosas plantea cuestiones que adquieren mayor importancia a medida que aumenta la tasa de reutilización. Una de ellas es conocer qué parte del ligante envejecido contenido en el material recuperado llega realmente a activarse y a participar en la nueva mezcla.

Esta es la cuestión central de *Recycled Asphalt Materials: Binder Availability and Its Impact on Mix* Performance, publicado en 2026 por el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). El documento recoge los resultados del proyecto NCHRP 09-68, desarrollado conjuntamente por investigadores del National Center for Asphalt Technology (NCAT) de Auburn University y del Texas A&M Transportation Institute.

El estudio utiliza el concepto de **Recycled Binder Availability (RBA)** para expresar la proporción del ligante presente en los materiales asfálticos recuperados que se activa durante la fabricación y contribuye efectivamente al contenido de ligante de la nueva mezcla. Esta distinción resulta relevante porque considerar que todo el ligante contenido en el RA está disponible equivale a asumir una disponibilidad del 100 %, mientras que parte de ese ligante puede permanecer asociado a partículas o aglomerados de material recuperado y participar solo parcialmente en la mezcla.

El trabajo parte de una revisión de los métodos existentes para estudiar la disponibilidad y el grado de combinación del ligante reciclado y de una encuesta realizada a distintas administraciones de carreteras. En enero de 2023, nueve de las administraciones consultadas ya utilizaban valores de disponibilidad inferiores al 100 % en el diseño de determinadas mezclas con RAP o RAS (Reclaimed Asphalt Shingles), con valores adoptados generalmente comprendidos entre el 60 y el 90 %. Sin

embargo, una parte importante de las administraciones continuaba suponiendo la disponibilidad completa del ligante reciclado.

Uno de los principales objetivos de la investigación fue disponer de un procedimiento que permitiera cuantificar experimentalmente esta disponibilidad. Tras analizar diferentes alternativas, los investigadores desarrollaron y perfeccionaron el denominado **Glass Beads method**, basado en la incorporación de pequeñas esferas de vidrio de borosilicato como trazadores del árido virgen. Tras la fabricación de la mezcla, las esferas se recuperan y se extrae el ligante que las recubre. Las propiedades de este ligante se comparan con las del ligante virgen y con las correspondientes a una mezcla completa del ligante virgen y reciclado, permitiendo estimar el grado de participación efectiva del ligante procedente del material recuperado.

La aplicación del procedimiento a diferentes combinaciones de materiales proporcionó valores de RBA comprendidos entre el **48 y el 100 %**, lo que refleja una variabilidad considerable. Los resultados indican además que la disponibilidad no depende únicamente del contenido o del envejecimiento del RA, sino también de diferentes características de los materiales y del proceso de fabricación. En general, para las mezclas estudiadas, la disponibilidad disminuyó al aumentar la proporción de material recuperado y al emplear materiales con un ligante más envejecido.

El estudio analiza también la sensibilidad del RBA a distintas variables de diseño y producción. Entre ellas se encuentran el tipo y procedencia del ligante de aportación, la naturaleza del árido virgen, la utilización de agentes rejuvenecedores, la temperatura de fabricación y el almacenamiento en silo. Por ejemplo, un aumento de 16,7 °C de la temperatura de mezclado produjo incrementos apreciables de la disponibilidad del ligante reciclado en las dos mezclas seleccionadas para este análisis. La incorporación de un rejuvenecedor de origen biológico también incrementó los valores obtenidos. No obstante, algunos factores, como el almacenamiento en silo o la reducción de temperatura mediante tecnologías de mezcla semicaliente, produjeron resultados diferentes dependiendo de la composición estudiada.

Estos resultados llevan a los autores a considerar la disponibilidad del ligante reciclado no únicamente como una propiedad del propio RA, sino como una característica de la **mezcla y de las condiciones en las que ésta se diseña y fabrica**. El tipo y contenido de material recuperado, su envejecimiento, el ligante de aportación y las condiciones de producción intervienen en el grado de activación y movilización alcanzado.

Una segunda parte del trabajo estudia qué consecuencias tendría incorporar este concepto al diseño de las mezclas. Para ello se evaluaron cuatro mezclas con elevados contenidos de materiales recuperados. Cuando se consideró que una parte del ligante reciclado no estaba disponible, fue necesario incrementar la cantidad de ligante virgen para compensarla. Esta modificación redujo la rigidez de las mezclas y, en términos generales, **mejoró su resistencia a la fisuración**, aunque simultáneamente produjo una reducción de la resistencia a las deformaciones permanentes. En tres de las cuatro mezclas estudiadas, el ajuste permitió alcanzar un mejor equilibrio entre ambas prestaciones de acuerdo con los criterios utilizados en el estudio.

Los autores analizaron asimismo las implicaciones económicas de este planteamiento. El incremento de ligante virgen asociado al ajuste por disponibilidad produjo aumentos del coste de materiales de aproximadamente el **9 al 15 %** en las mezclas estudiadas. Aun así, estas mezclas continuaron resultando menos costosas que sus correspondientes mezclas fabricadas exclusivamente con materiales vírgenes. El análisis de ciclo de vida realizado para un caso hipotético mostró que serían necesarios incrementos relativamente reducidos de la vida de servicio para com-

pensar ese mayor coste inicial, aunque los autores señalan que estos resultados proceden de un número limitado de mezclas y requieren una validación más amplia.

El informe no plantea, por tanto, un valor único de disponibilidad que pueda aplicarse con carácter general. Entre las líneas de trabajo que identifica se encuentran la mejora de la repetibilidad y reproducibilidad del método propuesto, la realización de estudios interlaboratorios, su adaptación a diferentes tipos de ligantes modificados y la validación de los valores de disponibilidad con materiales y condiciones de producción locales. También se incluyen propuestas para integrar este concepto en los procedimientos estadounidenses de diseño de mezclas y en las especificaciones AASHTO.

Interés para el sector español

La cuestión analizada presenta un interés evidente en un contexto de utilización creciente de asfalto recuperado y de desarrollo de mezclas con tasas de reutilización cada vez mayores. En España, la **Orden Circular OC 2/2023 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos** establece el marco actual para estas técnicas. En las reutilizaciones en caliente y semicaliente en central, la selección del ligante de aportación debe realizarse teniendo en cuenta tanto la proporción de RA como la cantidad y las características del ligante contenido en éste, de forma que su combinación proporcione las propiedades requeridas para el ligante resultante. La Orden Circular establece asimismo requisitos sobre el contenido total de ligante y sobre las prestaciones de las mezclas reutilizadas.

El problema de la participación efectiva del ligante del RAP tampoco es ajeno a la literatura técnica española. En el número 36 de *Asfalto y Pavimentación*, publicado en 2020, Jacinto Luis García Santiago planteaba ya esta cuestión en el artículo ***¿Sabemos cuál es, realmente, el ligante que gobierna el comportamiento de una mezcla reciclada y en qué proporción lo hace?***, analizando, entre otros aspectos, la presencia de partículas de RAP insuficientemente disgregadas, el denominado black rock o "árido negro" y la posibilidad de que la combinación entre los ligantes envejecido y de aportación sea solo parcial.

Más recientemente, el CEDEX mantiene trabajos destinados a analizar el comportamiento y la durabilidad de mezclas con diferentes tasas de asfalto recuperado, como apoyo al desarrollo futuro de las especificaciones españolas sobre reutilización.

El **NCHRP Web-Only Document 450** aporta a este debate una investigación específica sobre la cuantificación de la disponibilidad del ligante reciclado y, especialmente, sobre su relación con las prestaciones de la mezcla. La amplitud de materiales y variables consideradas, el desarrollo de un procedimiento experimental específico y la evaluación conjunta de comportamiento y costes hacen de este documento una referencia de interés para quienes trabajan en el diseño, fabricación y caracterización de mezclas bituminosas con altas tasas de material recuperado.

Descarga gratuita: National Academies Press.
https://www.nationalacademies.org/publications/29391