



International Bitumen
Emulsion Federation

LA SOSTENIBILIDAD DE LAS EMULSIONES BITUMINOSAS

LIBRO BLANCO



TERCERA EDICIÓN / FEBRERO 2025

Las emulsiones bituminosas desempeñan un papel fundamental en la construcción y el mantenimiento de las carreteras. Este enfoque de conservación se alinea con los principios del desarrollo sostenible a escala global.

La Federación Internacional de Emulsiones Bituminosas (IBEF) conecta a los productores de emulsiones bituminosas a través de sus socios y asociaciones nacionales. Está compuesta por 35 miembros de todo el mundo. IBEF actúa como autoridad internacional reconocida para mejorar las técnicas y facilitar el intercambio de información relacionado con las emulsiones bituminosas.

Este "position paper" tiene como objetivo describir las acciones y tecnologías de la industria del betún en el contexto de sostenibilidad. Está escrito en memoria de Carl Robertus, ex miembro del comité ejecutivo de IBEF cuyas contribuciones llevaron a la finalización de este documento.



Autores

AEMA	Arlis A Kadrmas
AEMA	Mike Tyree
AEMA	George Mariani
ARKEMA	Abdeltif Belkahia
REPSOL	Lucia Miranda Pérez
ATEB	Patricia Lameda Febles
IBEF	Carl Robertus
IBEF	Xavier Guyot
IBEF	Etienne Leboutteiller
IBEF	Hamidreza Sahebzamani
Ingevity	Stephane Charmot
SFERB	Brice Delaporte
REA	Dennis Day
SABITA	Phil Hendricks

ÍNDICE

Introducción	4
1. Durabilidad del pavimento	6
1.1. Construcción: El papel de los riegos de imprimación y adherencia en la durabilidad del pavimento	8
1.2. Conservación y Mantenimiento: el principal campo de juego de las emulsiones bituminosas	13
1.2.1 Los tratamientos preventivos reducen eficazmente las emisiones de carbono	13
1.2.2 Productos y procesos para tratamientos superficiales	14
1.2.3 Características únicas y específicas de la gravaemulsión y el microaglomerado en frío	18
1.2.4 Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla	20
1.2.5 Análisis del Ciclo de Vida	23
2. Mejoras estructurales	24
2.1. Técnicas y procesos para mejoras estructurales de los pavimentos	26
2.2 Aplicaciones in-situ vs en central	30
2.3 El foco en la energía, emisiones de GEI y ahorro de costes cuando se realiza in-situ en comparación con la distancia de transporte	31
2.4 Aspectos de HSE centrados en la aplicación, incluyendo la ausencia transporte, el ahorro de recursos, etc.	33
3. Impacto medioambiental y social	34
3.1 Ahorro de energía y reducción de la huella de carbono	36
3.2 Opciones para la reutilización que permiten el ahorro de materiales vírgenes (y energía + huella de carbono), y hacen posible la reutilización múltiple	40
3.3 Aspectos de Seguridad, Salud y Medioambiente (HSE)	42
3.4 Impacto social de las tecnologías que emplean emulsiones bituminosas y sus aplicaciones	44
3.5 Economía: Resultado de los temas mencionados: ahorro de material y energía	46
Referencias	47

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta iniciativa es definir y enfatizar cómo las emulsiones bituminosas contribuyen a la sostenibilidad, el desarrollo sostenible y/o la reducción del impacto ambiental para promover su uso en la construcción de carreteras.

Los pilares claves de las emulsiones bituminosas en términos de sostenibilidad son los siguientes:

Pilar 1 – Durabilidad del Pavimento:

- El objetivo principal es optimizar o maximizar la durabilidad y vida útil del pavimento.
- Las aplicaciones y tratamientos de las emulsiones bituminosas desempeñan un papel crucial para lograr este objetivo.
- Los subpilares describen con más detalle las estrategias para mejorar la durabilidad del pavimento.

Pilar 2 – Mejora Estructural del Pavimento:

- La rehabilitación se centra en restaurar la capacidad estructural de los pavimentos deteriorados que van más allá de los esfuerzos de conservación o mantenimiento rutinarios.

Pilar 3 – Impacto Ambiental y Social:

- Este pilar considera el impacto ambiental y social global de las tecnologías de las emulsiones bituminosas y sus aplicaciones.

1

DURABILIDAD DEL PAVIMENTO

1.1 Construcción: La importancia de los riegos de imprimación y de adherencia en la durabilidad del pavimento

1.1.1 Riegos de imprimación

Cuando se trata de la construcción de nuevas carreteras o reconstrucción de las mismas, la impermeabilización y estabilización de la capa granular es fundamental. Una capa de mezcla asfáltica en caliente aplicada sobre un riego de imprimación reduce la probabilidad de que la capa de mezcla asfáltica se agriete y se delamine, lo cual podría generar importantes costes de reparación.

Los riegos de imprimación están diseñados específicamente para mejorar la adhesión entre una capa de mezcla bituminosa y una capa granular, generando una base más fuerte y estructuralmente más sólida.

El riego de imprimación implica la aplicación de un ligante bituminoso sobre una capa granular, como un tratamiento preliminar antes de aplicar una capa de mezcla bituminosa.

Los principales objetivos de una capa de imprimación son:

- Promover la adherencia entre la base y el nuevo tratamiento bituminoso aplicado.
- Impermeabilizar evitando la entrada de agua de las precipitaciones ambientales permitiendo al mismo tiempo la evaporación del agua de la capa de base.
- Minimizar la absorción del ligante por parte de la capa granular durante las operaciones de riegos posteriores.
- Unir las partículas más finas a la superficie de la base para permitir el tráfico ligero temporalmente hasta que se pueda colocar la nueva capa.
- Durante mucho tiempo el betún fluxado fue ampliamente utilizado para los tratamientos de imprimación debido a su eficacia y a su relativamente sencillo proceso de fabricación. Sin embargo, presentan numerosas desventajas como el riesgo de explosión debido a los bajos valores del punto de inflamación, la pérdida de disolvente por calentamiento y los largos tiempos de curado (Ref.1).

Por el contrario, las emulsiones para imprimación presentan varias ventajas:

No existe riesgo de incendio o explosión.

- Minimiza el daño al medio ambiente.
- Mejora la humectación y adherencia.
- Tiempo de curado más rápido.

Debido a estas ventajas prácticas y de seguridad en la aplicación, las emulsiones para imprimación son adecuadas como ligante en las fases de construcción, contribuyendo significativamente a la durabilidad del pavimento. (Ref.2, Ref.3).



Figura 1 – Aplicación de un riego de imprimación.

1.1.2 Riegos de adherencia

El diseño del espesor del pavimento, asume que todas las capas funcionan de forma conjunta, como una única capa, en lugar de una serie de capas independientes apiladas una encima de otra. Los riegos de adherencia sirven como capas de unión entre cada capa del firme asfáltico para crear la estructura de pavimento monolítico deseada.

Si no se establece una unión adecuada entre la superficie del pavimento existente y la nueva capa de pavimento asfáltico, puede ocurrir un deslizamiento, lo que resulta en la separación de las capas. La separación de las capas puede provocar diversos daños estructurales, siendo los principales el agrietamiento por deslizamiento y el agrietamiento por fatiga (Ref. 4).

Estos fallos requieren un mantenimiento de elevado coste, ya sea mediante un refuerzo de la capa o mediante el fresado y reemplazo de las capas mal adheridas. La importancia de la calidad de los riegos de adherencia no deben subestimarse. Las consecuencias de omitir o no aplicar los riegos de adherencia son mucho más significativas que el aparente ahorro de costes inicial (Ref. 5).

Existen varias soluciones probadas para los riegos de adherencia, según el país o las especificaciones locales. Sin embargo, las mejores prácticas para obtener una elevada calidad en las uniones entre capas son las siguientes (Ref.6, Ref.7):

- Para los riegos de adherencia se emplea típicamente una emulsión bituminosa catiónica de rotura rápida, con un contenido de betún entre el 50 y 65%.

Es altamente recomendable el empleo de emulsiones modificadas con polímeros, bien mediante la adición de látex o bien mediante la modificación del betún antes de emulsionar, especialmente para capas de rodaduras de bajo espesor.

- La dotación de los riegos de adherencia debe ser al menos de 0,30 l/m² de ligante residual y debe incrementarse en capas de rodadura delgadas o de granulometría abierta hasta un mínimo de 0,40 l/m² de ligante residual.

- El ligante debe aplicarse preferiblemente mediante una máquina regadora calibrada, de la manera más uniforme posible para lograr una cobertura completa y uniforme de la superficie.

- Antes de aplicar el riego de adherencia, la superficie debe estar limpia y libre de cualquier material adherido, seca y cualquier área húmeda debe estar completamente libre de agua estancada.

Un avance significativo en la tecnología de los riegos de adherencia, es el desarrollo de las emulsiones termoadherentes, especialmente diseñadas para mejorar el desempeño y minimizar los problemas de pegajosidad asociados a los productos tradicionales. Estos materiales son formulados normalmente para endurecerse rápidamente y adherirse mínimamente a los neumáticos (Ref. 8).



Superior: Figura 2 – Aplicación de riego de adherencia

Inferior: Figura 3 – Riego de adherencia termoadherente – La emulsión no se queda adherida a los neumáticos del camión



1.2 Conservación y mantenimiento: el principal campo de juego de las emulsiones bituminosas

1.2.1 Los tratamientos preventivos reducen eficazmente las emisiones de carbono

Los tratamientos preventivos reducen eficazmente las emisiones de carbono y el uso de recursos naturales a través del incremento de la durabilidad.

Los tratamientos de conservación de pavimentos han experimentado un aumento en su uso recientemente, debido a que las administraciones consideran los costes del ciclo de vida a diferentes niveles. Estas administraciones evalúan toda la carga financiera que supone el mantenimiento de una carretera durante un periodo de tiempo más largo, a diferencia del enfoque tradicional de esperar a que la carretera falle antes de retirarla y reemplazarla. Al retrasar las rehabilitaciones importantes, la conservación del pavimento ahorra energía y materiales vírgenes, haciéndolo más sostenible.

La fase de producción de materiales es la que presenta mayor contribución a las emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de la carretera. Esta fase incluye la extracción de las materias primas, la fabricación de las mezclas y el transporte de ambos materiales a obra. La segunda mayor contribución a las emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de la carretera es la fase de uso. El consumo de combustible de los vehículos aumenta ligeramente por la rugosidad del pavimento, medida por el Índice de Regularidad Internacional (IRI) (Ref. 9)

Aunque el efecto es bajo por vehículo, tiene un impacto significativo en el ciclo de vida cuando se aplica a carreteras de gran volumen. En un estudio, los autores fueron capaces de crear un factor de consumo de combustible para diferentes valores de IRI (Ref. 10). Algunas prácticas actuales utilizan el enfoque de "lo peor, primero" lo que significa que sólo mantienen las carreteras cuando se requiere una rehabilitación importante. Sin embargo, durante el primer 75% de la vida de una carretera, su calidad disminuye un 40%, seguida de otro 40% en sólo un 12% adicional de su vida (fuente: roadresource.org). Este enfoque de "lo peor, primero" no logra maximizar la fase inicial de producción de materiales o la fase de uso. De forma adicional, cuando una carretera se deteriora considerablemente, el consumo de combustible de los vehículos que circulan por ella, aumenta progresivamente. Para disminuir las emisiones de CO₂ de los vehículos que circulan por las carreteras y mantener las carreteras en buenas condiciones, es necesario incluir estrategias de conservación del pavimento.

Los tratamientos de conservación del pavimento utilizan dos materiales que ayudan a reducir los gases de efecto invernadero: emulsión bituminosa y el pavimento asfáltico recuperado.

El empleo de estos materiales reduce el consumo de betún virgen y, en algunos casos, de áridos vírgenes.

Muchos tratamientos de conservación del pavimento no requieren el empleo de una planta de mezclado. Además de reducir el uso de materiales vírgenes y las operaciones de la planta, la conservación del pavimento mantiene las carreteras en buen estado, maximizando la inversión inicial tanto en coste económico como en emisiones de CO₂

El tiempo necesario para el tratamiento, los años de servicio y la contribución de CO₂ varían para cada situación.

Roadresource.org proporciona una calculadora para determinar los valores económicos y de sostenibilidad de varios tratamientos, que se puede encontrar en: <https://roadresource.org/preservativon/calculator>.

Por ejemplo, un estudio comparó tres tratamientos de conservación (sellado de grietas, una capa delgada y tratamientos superficiales con gravilla), todos los cuales resultaron en reducciones en las emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de la carretera (Ref 11).

Muchos de estos tratamientos también ofrecen tiempos cortos de apertura al tráfico en comparación con técnicas de fresado y aplicación de capas de mezcla nuevas.

1.2.2 Productos y procesos para tratamientos superficiales

Los pavimentos de las carreteras a nivel mundial se ven afectados por varios factores; principalmente el climal local y los niveles de tráfico. Estos factores contribuyen a los mecanismos de deterioro que incluyen; el desgaste o pulido de la superficie, que reduce la fricción, así como el envejecimiento causado por el exceso de luz solar que conduce a la formación de grietas superficiales. Otros mecanismos de deterioro incluyen fallos en la adhesión entre capas y debilidad estructural debido a la entrada de agua y al movimiento del suelo, lo que resulta en la formación de grietas más profundas. Además, la tensión del tráfico puede provocar pérdida de áridos y deformaciones, envejeciendo también el ligante con el tiempo.

Si estos mecanismos de deterioro no se tratan, el pavimento puede fallar prematuramente, lo que lleva a una reparación costosa y que requiere muchos recursos. Sin embargo, existen varios tratamientos de conservación disponibles que utilizan emulsiones bituminosas. Cuando se aplican en el momento adecuado, estos tratamientos pueden ayudar a detener la velocidad del agrietamiento de la superficie, restaurar la resistencia al deslizamiento, sellar la superficie para protegerla contra la luz solar y la entrada de agua y soportar el tráfico pesado. La implementación de estos tratamientos no sólo ayuda a prolongar la vida útil del pavimento sino que también reduce el consumo de recursos y los costes.

Los tratamientos superficiales con riego tales como riego de humeo y riegos rejuvenecedores, se pueden aplicar de manera temprana para proteger la superficie del pavimento existente contra la oxidación de la superficie y la formación de grietas. Este tipo de riegos normalmente no incluyen la incorporación de áridos adicionales ni productos minerales. Estos tratamientos se aplican sobre las superficies para evitar la pérdida de áridos. Esto puede incluir la eliminación de polvo y la retención de los áridos en los recubrimientos superficiales recién aplicados (Ref. 12).

Los riegos superficiales que no incluyen áridos no mejoran la fricción y no son adecuados en superficies muy cerradas o que han perdido textura. Se ha demostrado que el uso de los riegos de humeo reduce la aparición temprana de grietas en la superficie, lo que prolonga la vida útil del pavimento y reduce la pérdida temprana de árido en el revestimiento de superficie recién colocado.

Un estudio reciente publicado en 2023 (Ref. 13), concluyó que el uso del riego de humeo previene la formación del 20% de las grietas superficiales hasta un mínimo de ocho años.

En otro estudio (Ref. 14), el uso del riego de humeo detuvo la oxidación de la superficie, el ingreso de agua en superficies envejecidas y redujo la pérdida temprana de material en el revestimiento superficial recién colocado.



Figura 5 - Riego de humeo en superficie en un tramo rural

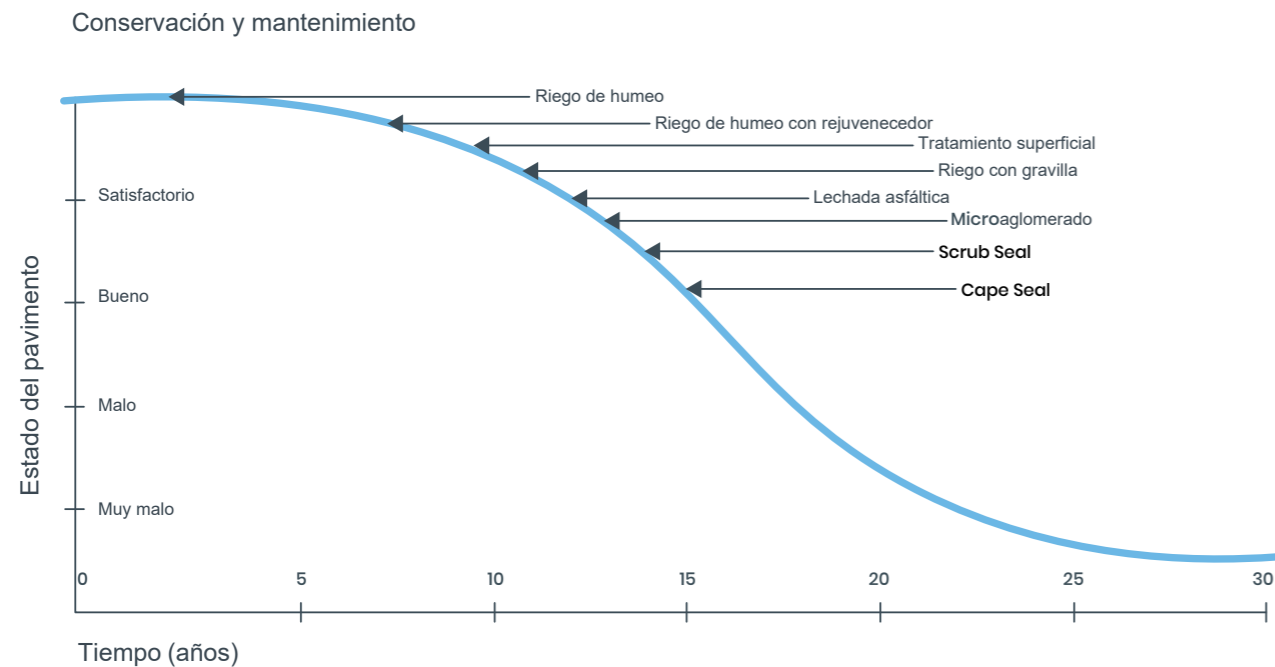


Figura 4- Matriz del tratamiento, estado del pavimento a lo largo del tiempo

Los riegos superficiales que incluyen áridos o minerales adicionales serían el riego con gravilla, sellado de grietas y scrub seals. El método y el momento de la aplicación dependerán de las características del soporte, la categoría de la carretera y el tipo de deterioro. Las tres técnicas de mantenimiento mejorarán la resistencia al deslizamiento entre otros beneficios de sostenibilidad. El uso de scrub seal rejuvenecedor ha demostrado ahorrar costes al reducir la necesidad de fresar y realizar un tratamiento de grietas, al tiempo que añade fricción a una carretera con mucho tránsito de vehículos (Ref. 15). El diseño y la aplicación del riego con gravilla están determinados por las propiedades de la capa subyacente, el clima local y los niveles de tráfico (Ref. 16, 17). El tratamiento superficial mediante riego con gravilla puede prevenir la formación de baches al sellar las superficies, impidiendo la entrada de agua y prolongando la vida útil de la carretera de manera sostenible y rentable (Ref. 18). El uso de riegos con gravilla como parte de un programa de mantenimiento planificado y utilizado en el momento adecuado puede extender la vida útil de la carretera hasta los 60 años. Esto supone un ahorro de costes del 70% y una reducción del 69% en CO₂

en comparación con la no realización de ningún tratamiento (Ref. 18).



Superior: Figura 6 - Aplicación de un tratamiento superficial de riego con gravilla
Inferior: Figura 7 - Scrub seal

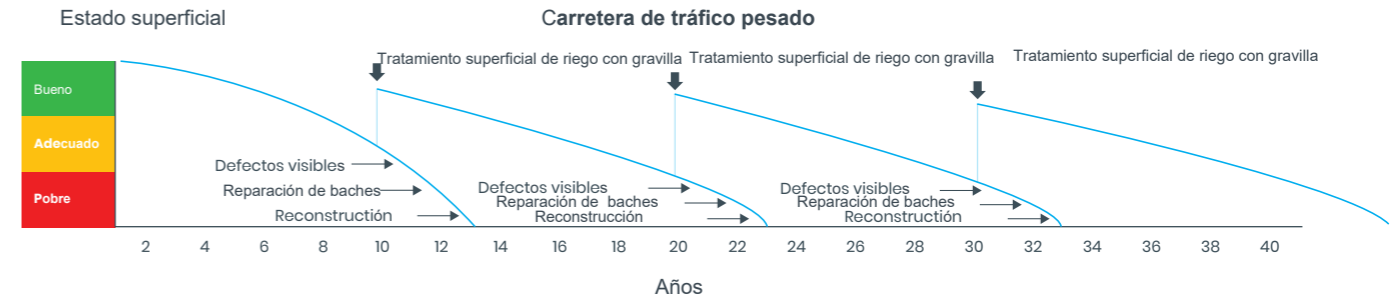


Figura 8 - Rutina de mantenimiento del pavimento - Imagen procedente de RSTA

Las mezclas de emulsión con áridos a menudo pueden ofrecer una mejor durabilidad en comparación con los riegos superficiales, como "mezclas asfálticas en frío". Los microaglomerados en frío se pueden aplicar a mano o con maquinaria. Un estudio (Ref. 19) ha demostrado cómo el microaglomerado puede prolongar la vida útil durante más de 15 años en una única aplicación y ha permitido a la autoridad vial local reasignar fondos sustanciales a otros proyectos a partir de los ahorros logrados.

Si bien las técnicas mencionadas anteriormente funcionan bien para prolongar la vida útil del pavimento y ofrecen diversos beneficios de sostenibilidad como tratamientos individuales, algunos tratamientos que implican combinaciones de uno o dos de los procesos pueden ser más ventajosos.

Por ejemplo, la técnica **cape seal** es una combinación de tratamiento superficial de riego con gravilla y microaglomerado, que ofrece mayor durabilidad y menor sonoridad en la carretera. Adicionalmente, la aplicación de un riego de humeo sobre un riego con gravilla puede reducir la pérdida de material en etapas tempranas y aumentar la durabilidad del tratamiento superficial.

Un informe (Ref. 20) sobre el uso del **cape seal** como parte de un programa de mantenimiento concluyó que el tratamiento tuvo un resultado positivo neto o que permitió aumentar la vida útil de las carreteras.



Figura 9 - Aplicación de un microaglomerado en frío

1.2.3 Características únicas y específicas de la grava-emulsión y el microaglomerado.

“La grava-emulsión es la técnica más adecuada para la regularización”. Se trata de una declaración de un ejecutivo de la administración de carreteras francesa.

Las razones de esta calidad especial residen en el hecho de que la grava-emulsión es un material bifásico: un esqueleto de elementos grandes (de 10 a 20 mm) en un mortero rico en betún residual. La alta fricción interna de los elementos de gran tamaño permite que los materiales resistan la formación de roderas, incluso con valores de espesor variables. Por otra parte, el mortero permite que los materiales se adhieran directamente a la capa de regularización, lo que supone un ahorro añadido en materiales cuando la regularización es el objetivo principal.



Figura 10 - Aplicación de grava-emulsión

La grava-emulsión es un material antifisuras, por lo que su utilización con un espesor suficiente puede permitir evitar un sistema de “anti-reflexión de grietas” (SAMI, fibras geotextiles, etc.).

En zonas remotas, las largas distancias de transporte pueden dificultar el control de la temperatura de la mezcla en caliente, a menudo por la falta de plantas de asfalto cercanas. Cuando los desvíos de la carretera son difíciles de colocar, la grava-emulsión puede ser transitada incluso durante su colocación, gracias a su cohesión. Este es el caso de las carreteras en zonas montañosas. En estas regiones, un pavimento ideal consiste en una aplicación de grava-emulsión como capa de base, recubierta con un microaglomerado en frío. Los datos demuestran que un sistema de este tipo es muy resistente a las cuchillas de las máquinas quitanieves cuando es necesario garantizar el acceso, por ejemplo en las estaciones de esquí.

Para obras en zonas alejadas de plantas asfálticas, utilizar una planta móvil para la fabricación de grava-emulsión puede ser una opción económica. Esto es muy frecuente en el caso de zonas montañosas y en general en regiones que tienen baja densidad de población.

El microaglomerado en frío proporciona al pavimento una apariencia similar a la de una mezcla asfáltica convencional (fría, semicaliente o caliente). Sin embargo, su espesor lo hace mucho más rentable que muchas otras técnicas. El microaglomerado es una técnica rentable cuando se utiliza adecuadamente. A modo de ejemplo, en el barrio de Versailles (Francia) la utilización de técnicas basadas en emulsiones (microaglomerado y tratamientos superficiales de riego con gravilla) ha permitido un ahorro del 25% en el presupuesto de mantenimiento (Ref. 21).

El microaglomerado en frío permite realizar obras sin nivelación previa (cuando la base es satisfactoria). Dicha técnica también permite realizar obras sin modificar las marcas viales, y señales superficiales.

Además, para pavimentos ligeramente deformados, la regularización puede realizarse mediante el mismo equipo de microaglomerado en frío. Por último, una de las principales ventajas de las técnicas de mantenimiento en vías transitables es el hecho de que la vía puede reabrirse al tráfico rápidamente después de la colocación del microaglomerado (menos de 30 minutos).



Superior: Figura 11 - Grava-emulsión

Inferior: Figura 12 - Textura del microaglomerado sobre la grava-emulsión

1.2.4 Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla

Las emulsiones bituminosas ofrecen un amplio rango de tratamientos superficiales tales como scrub seal, riego de humeo, riegos con gravilla, y microaglomerados.

Cada uno de estos tratamientos superficiales se puede utilizar en combinación con otro, como por ejemplo:

- Riego con gravilla bicapa
- Cape Seal
- Microaglomerado de doble capa

La selección del tratamiento más adecuado, o combinación de tratamientos, dependerá de factores como:

- Condiciones del pavimento
- Tráfico
- Presupuesto de mantenimiento

Es importante tener en cuenta que un tratamiento superficial es una capa delgada y no debe considerarse un proceso de refuerzo.

Sin embargo, la aplicación de un tratamiento superficial mejora la estanqueidad del pavimento y reduce la sensibilidad al agua de la subrasante, preservando así su capacidad portante.

La condición del pavimento está determinada principalmente por la condición de la superficie, incluidos factores como la resistencia al deslizamiento, la deformación y si la superficie es pobre o rica en betún.

La amplia gama de tratamientos superficiales permite seleccionar el más adecuado. Muchos países, incluido EE. UU., han elaborado manuales y directrices para los tratamientos superficiales (Ref. 22).

La resistencia de cualquier tratamiento superficial está estrechamente relacionada con el tráfico previsto que tendrá que soportar. El uso de un ligante modificado puede mejorar su resistencia al esfuerzo, y la incorporación de fibra al sistema también puede mejorar dicha resistencia.

El uso de un sistema con mayor espesor o la aplicación de una capa más gruesa de tratamiento superficial puede aumentar la vida útil del tratamiento.



Figura 13 - Cape seal, Sudáfrica

Al considerar la vida útil de cualquier capa de superficie, se debe tener en cuenta un rango típico de 10 a 15 años. (Ref. 23).

El presupuesto es siempre un factor clave para las administraciones de carreteras a la hora de seleccionar el tratamiento adecuado.

Generalmente, elegir un sistema con un menor espesor que sea menos costoso que un sistema con mayor espesor resultará en una durabilidad más corta. El proceso de selección debe priorizar la búsqueda de la solución más efectiva.

El microaglomerado en frío es especialmente adecuado para zonas rurales. Por otro lado, los tratamientos superficiales son útiles cuando la superficie del pavimento está ligeramente deformada sin ningún problema estructural.

Comparativamente, se ha demostrado que el riesgo de fallo es significativamente menor con un tratamiento superficial a base de emulsión bituminosa en comparación con un tratamiento superficial a base de betunes fluidificados (Ref. 24).

El microaglomerado en frío es un sistema muy versátil que se puede aplicar sobre asfalto poroso que presenta fallos prematuros, como desprendimiento de áridos. El asfalto poroso puede volverse frágil en condiciones de mucho tráfico.

En tales casos, la aplicación de microaglomerados sobre el asfalto poroso dañado mejora la cohesión de la superficie, lo que permite retrasar un posible reemplazo en función de los recursos financieros de la administración de carreteras (Ref. 25).

Las emulsiones bituminosas se utilizan cada vez más en todo el mundo, sustituyendo a los sistemas en caliente. Las principales razones de este cambio son los riesgos asociados a las técnicas en caliente y los problemas de adherencia. El desarrollo de emulsiones modificadas, que presentan una alta cohesión del ligante residual (hasta 1,2 J/cm²) y un rápido desarrollo de cohesión, facilita la rápida reapertura de la vía pública.

Cuando se trata de un tratamiento superficial de riego con gravilla monocapa, se considera que el sistema de "racked-in" es la mejor opción (Ref. 26-29). "Racked-in" se refiere a un tipo de riego de sello donde se aplica una primera capa de árido grueso, seguida de una segunda capa de árido de menor tamaño para llenar los huecos que deja el árido de mayor tamaño



Superior: Figura 14 - Tratamiento superficial de riego con gravilla que emplea emulsión modificada con polímero.

Inferior: Figura 15 - Microaglomerado en frío de rotura rápida



1.2.5 Análisis del Ciclo de Vida

El análisis del ciclo de vida debe ser realizado para determinar cuando es el momento óptimo para los tratamientos de conservación y mantenimiento, y evaluar su eficacia.

El momento en que son aplicados los tratamientos de conservación puede tener un impacto significativo en el valor que aportan al pavimento. Algunas administraciones prefieren esperar a que se produzca un ligero deterioro antes de aplicar un tratamiento de superficie, mientras que otras optan por aplicar poco después, una capa superficial delgada o una aplicación de mantenimiento más gruesa. Un ensayo realizado en Minnesota, Estados Unidos, demostró el beneficio de una aplicación más temprana (Ref. 30,31).

Los tratamientos de rehabilitación como la reutilización en frío in situ (RFE) y la rehabilitación total del pavimento (FDR), se realizan normalmente cuando un pavimento se ha deteriorado más allá del punto en el que un tratamiento superficial por sí solo sería efectivo. El momento de estas aplicaciones generalmente se determina en función de la calidad de la carretera, el aumento del tráfico y los requisitos de capacidad estructural del pavimento.

La implementación de un programa de mantenimiento de pavimento bien planificado, con aplicaciones oportunas dirigidas a abordar problemas específicos, puede conducir a ahorros de costes y a una mejora general del sistema vial (Ref. 33).

La comparación del ciclo de vida y los aspectos de sostenibilidad del uso de materiales reutilizados es un enfoque relevante (Ref. 32).



MEJORA ESTRUCTURAL

2

2.1. Técnicas y procesos para mejoras estructurales de los pavimentos

La rehabilitación tiene como objetivo restaurar la integridad estructural de los pavimentos deteriorados que requieren más que métodos rutinarios de mantenimiento o conservación. Las técnicas efectivas que se pueden utilizar dependen de las condiciones y necesidades del proyecto.

Estas técnicas incluyen:

- Reutilización en frío in-situ (RFE)
- Reutilización en frío en central (CCPR)
- Estabilización de suelos
- Rehabilitación total o Full Depth Reclamation (FDR)
- Reutilización en frío y templado
- Bacheo en frío (riego y mezclado manual)

La reutilización en frío se refiere a la rehabilitación de pavimentos asfálticos sin el uso de calor durante el proceso de construcción. Las alternativas de reutilización pueden incluir métodos de profundidad total o de profundidad parcial (Ref. 34-37). La técnica de reutilización en frío in-situ (RFE) de profundidad total es conocida como rehabilitación total (FDR).

Las técnicas de profundidad parcial como la reutilización in situ y en central generalmente implican el tratamiento y reemplazo de las capas viejas del pavimento asfáltico deterioradas. Por otro lado, la técnica FDR implica un reemplazo completo del firme asfáltico incluyendo parte de los materiales de la base o subbase.

Reutilización en frío in-situ (RFE) – Profundidad parcial

RFE es el proceso de reutilización in-situ de pavimento asfáltico empleando trenes de una o varias unidades.

En la técnica RFE generalmente se reutilizan los 5-12 cm superiores del firme asfáltico mediante una operación de tren continuo, que realiza desde el procesamiento hasta la compactación. El RFE reduce en gran medida el transporte, el tiempo, el uso de recursos naturales y los costes, principalmente al reutilizar in-situ el material existente.

Reutilización en frío en central (CCPR)

La técnica CCPR (Reutilización en frío en central) es un proceso en el que la reutilización del asfalto se lleva a cabo en una central, utilizando una planta de mezcla en frío estacionaria y una reserva existente de material fresado RAP (pavimento asfáltico recuperado) que se puede fraccionar aún más en diferentes tamaños.

La planta se puede diseñar específicamente con tolvas en frío de RAP y una mezcladora,

donde se mezclan el RAP, agua, el filler, la emulsión bituminosa y otros aditivos. También puede emplearse un tren como en la reutilización en frío in -situ pero sin fresadora, estableciendo una configuración estacionaria.

Por lo general, la CCPR supone la colocación de capas con un espesor que varía de 75 a 150 mm, y se puede aplicar en múltiples capas.

El CCPR es una opción adecuada cuando un pavimento existente no se puede reciclar en el lugar debido a razones logísticas, o cuando es necesario retirar el pavimento asfáltico existente para el tratamiento de los materiales fresados.

Además, a medida que se acumulan reservas de RAP provenientes del fresado de pavimentos, la técnica CCPR puede utilizar eficazmente este RAP disponible para producir un material de pavimentación de alta calidad, rentable y respetuoso con el medio ambiente.



Figura 16 - Reutilización en frío in-situ, de profundidad parcial utilizando un tren multi-unidad

Rehabilitación total (FDR)

FDR es una técnica de rehabilitación que implica fresar todo el espesor del pavimento asfáltico y una porción determinada de los materiales de las capas inferiores.

Este proceso genera un material homogéneo y mejorado.

Las propiedades de los materiales recuperados se pueden mejorar aún más mediante la estabilización bituminosa.

FDR es una alternativa viable para carreteras que se encuentran en mal estado o requieren un aumento en la capacidad estructural.

Hay varios equipos o configuraciones disponibles para realizar los trabajos de FDR.

Entre ellas se encuentra una recicladora con o sin regla de extendido, así como la opción de utilizar o no una recicladora que alimenta directamente a una pavimentadora

Estabilización de Suelos

La estabilización de suelos es una técnica de rehabilitación que implica fresar y mezclar el material que hay debajo de la mezcla asfáltica, que puede consistir en una base de árido, subbase o subrasante.

Este proceso genera una capa homogénea y mejorada.

Las propiedades de los materiales recuperados se pueden mejorar aún más mediante la estabilización bituminosa.

La estabilización de bases es una alternativa atractiva para aumentar el valor estructural de la capa base, evitar alteraciones debajo de la capa base y reducir el espesor requerido de la capa de hormigón asfáltico.

Reutilización en frío y templado

El uso de RAP (pavimento asfáltico recuperado) en nuevas mezclas, aporta un valor significativo ya que los áridos ya están cubiertos con ligante, lo que reduce la demanda de ligante virgen, cuando se produce una mezcla final que contiene cantidades relativamente grandes de RAP.

Otra opción, además de mezclar RAP a temperatura ambiente o “en frío”, es utilizar un proceso de reutilización templada con emulsión (Ref. 38). Una mezcla de emulsión bituminosa templada se fabrica a una temperatura moderada, normalmente alrededor de 80 a 90°C, con propiedades similares a las de una mezcla caliente. Este proceso consume menos energía y reduce el envejecimiento.

La emulsión suele contener fluidificante y permite alcanzar cierto nivel de mezcla con el ligante procedente del RAP. Hay principalmente dos procesos de fabricación involucrados. El primer proceso consiste en fabricar la mezcla con emulsión bituminosa, previamente en una planta de mezclas en frío y después calentarla hasta la temperatura de mezcla templada. En estos casos, el contenido de RAP normalmente puede variar entre el 50 y el 100%. El segundo proceso supone la mezcla en caliente de los áridos gruesos y/o finos con el RAP y la emulsión, donde algunos o todos los áridos empleados se calientan. Estas mezclas templadas pueden contener hasta un 60% de RAP.



Superior: Figura 17 - Planta de Reutilización en frío en central
Inferior: Figura 18 - Full depth reclamation

Bacheo en frío

Los baches en el pavimento asfáltico se forman debido a la acción del tráfico, la penetración de la humedad y a los ciclos repetitivos de congelación y descongelación.

Estos baches deben repararse para mantener una calidad aceptable del pavimento, garantizar la seguridad de los conductores y minimizar los daños al vehículo. Los materiales para reparar baches se pueden aplicar manualmente o utilizando un equipo de inyección por riego (Ref. 39).

El bacheo por inyección por riego es un proceso en el que se utiliza equipo especializado para premezclar simultáneamente el árido con la emulsión bituminosa calentada.

Luego, la mezcla se rocía a través de una manguera y una boquilla directamente en el bache. Se pueden producir mezclas para bacheo en frío basadas en emulsión utilizando áridos vírgenes o RAP (pavimento asfáltico recuperado) (Ref. 40).



Superior: Figura 19 - Establización de suelos con emulsión
Inferior: Figura 20 - Bacheo por inyección

2.2 Aplicaciones in-situ vs en central

Es importante comprender y cuantificar las diferencias entre las aplicaciones in-situ y en central, en términos de selección de proyectos, rendimiento, velocidad de construcción y sostenibilidad.

Una ventaja notable de la aplicación en central es el control sobre la consistencia y la calidad de la mezcla.

El fraccionamiento del pavimento asfáltico recuperado (RAP) aporta consistencia, y factores como el contenido de humedad y la granulometría se pueden medir y calcular fácilmente para la mezcla, como parte del proceso de control de calidad (Ref. 41). La rehabilitación total (FDR) ha demostrado una menor dependencia de la temperatura, y una mayor rigidez a bajas frecuencias o temperaturas más altas debido a la inclusión de RAP y materiales granulares.

Por el contrario, la reutilización en frío en central (CCPR) y la reutilización in-situ en frío (RFE) se componen principalmente de RAP, que desempeña un papel importante en la relación rigidez-temperatura del RFE y el CCPR. En algunos casos, los tramos por FDR han exhibido deformaciones permanentes menores que los obtenidos por CCPR y CIR (Ref. 42).

Las aplicaciones in-situ ofrecen beneficios significativos en términos de consumo de energía y emisiones de CO₂ en comparación con las aplicaciones en central, principalmente debido al menor impacto del transporte. La magnitud de la diferencia depende de la distancia entre la ubicación de la planta y la obra.

Los datos de la evaluación del ciclo de vida muestran que las tecnologías de reutilización en frío pueden reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en más del 50% y el 40% respectivamente, en comparación con los métodos tradicionales.

La técnica RFE tiene un consumo de energía y emisiones de GEI ligeramente menores en comparación con el CCPR, debido principalmente a los impactos del transporte (Ref. 43). Otro beneficio de una aplicación in-situ es el menor tiempo de construcción, lo que minimiza el impacto en el usuario de la carretera. Esto se traduce en menores demoras y menos interrupciones para los usuarios de la carretera debido a cortes de tráfico más cortos.

La estabilización de bases granulares con emulsión bituminosa es un método eficaz para rehabilitar calles concurridas de la ciudad. Un proyecto en Las Vegas demostró que el tiempo de construcción podría reducirse de 120 días a 40 días, en comparación con los enfoques de reconstrucción tradicionales.

Esta reducción de tiempo tuvo un impacto positivo en los residentes, empresas y usuarios de las carreteras cercanas al proyecto. La Administración estimó un ahorro de aproximadamente \$322.661, lo que representa una reducción de costes del 30% (Ref. 44).

2.3 El foco en la energía, emisiones de GEI y ahorro de costes, cuando se realiza in-situ en comparación con la distancia del transporte

La reutilización en frío in-situ (RFE) y en particular la recuperación a profundidad total (FDR), se comparan con las técnicas tradicionales de fresado y reposición, que implican la eliminación y el reemplazo completo de las capas de asfalto dañadas.

Entre las técnicas de rehabilitación, la reutilización en frío in-situ sigue siendo la solución más respetuosa con el medio ambiente. Varios proyectos de mantenimiento de pavimentos han demostrado que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el consumo de energía del proceso (relacionado con la extracción de materiales, la producción de mezcla asfáltica, el transporte y la aplicación) se pueden reducir a la mitad cuando se utiliza la reutilización en frío con emulsión, en comparación con los métodos estándar de fresado y pavimentación.

Según roadresources.org, las técnicas de reutilización en frío son entre un 20% y un 50% más económicas que las técnicas tradicionales de rehabilitación o reconstrucción. Estos ahorros de costes se logran mediante:



Superior: Figura 21 - Reutilización en frío in-situ, Francia

Inferior: Figura 22 - Reutilización en frío in-situ, Arabia Saudí

- Una reducción significativa en el consumo de materiales (con tasas de reutilización superiores al 98%) y en las operaciones de transporte (ahorro de más de 300 movimientos de camiones por proyecto).

Los gastos principales están asociados a los materiales empleados como emulsión, cemento y/o áridos de corrección, cuando sean necesarios.

- Mayor velocidad de construcción (entre un 20% y un 40% más rápido que las técnicas tradicionales).

- Reducción de la movilización de equipos y personal en los lugares de trabajo.

Considerando todos los aspectos, las técnicas de reutilización en frío in-situ con emulsión ofrecen la mejor opción ya que minimiza el impacto ambiental, haciendo una gestión eficiente del proyecto y obteniendo una mayor rentabilidad (Ref. 45-47).



2.4 Aspectos de HSE centrados en la aplicación, incluyendo la reducción de transporte, el ahorro de recursos etc.

La reutilización en frío in-situ (RFE) también ofrece importantes beneficios para la salud, la seguridad y el medio ambiente (HSE). De hecho, los riesgos de posibles incidentes operativos en la obra se reducen drásticamente ya que el fresado, la trituración y la mezcla de los materiales de la carretera se realizan con la misma máquina. Los incidentes relacionados con el transporte y el tráfico en la obra también se minimizan debido a la ausencia de transporte de materiales de origen.

Además, como la emulsión no se calienta durante la operación de reutilización, no genera humos ni compuestos orgánicos volátiles (COV), lo que contribuye a un entorno de trabajo más seguro para el personal de la obra (Ref. 48).



Figura 23 -Reutilización en frío in-situ. Vietnam

3

IMPACTO
MEDIOAMBIENTAL
Y SOCIAL



3.1 Ahorro de energía y reducción de la huella de carbono

Las mezclas asfálticas en frío se producen combinando áridos, que pueden incluir pavimento asfáltico recuperado (RAP), con una emulsión bituminosa. A diferencia de la mezcla asfáltica en caliente convencional, las mezclas asfálticas en frío no requieren una etapa de secado o calentamiento de los áridos. Esto se traduce en un ahorro energético, ya que no es necesario calentar los áridos ni evaporar el agua. Desde un punto de vista medioambiental, las mezclas asfálticas en frío resultan especialmente atractivas (Ref. 49-53).

Mezcla asfáltica en frío fabricada en central
La huella ambiental de la mezcla asfáltica en frío se ha cuantificado en numerosos estudios. Al comparar el consumo de energía para la producción de mezclas asfálticas en frío y en caliente, se pueden observar las siguientes tendencias:
• Hay un ligero incremento en la “materia prima”, que se atribuye a la fabricación de la emulsión.

• Durante la fase de producción en la planta se produce una reducción significativa del consumo de energía, ya que las mezclas con emulsión no requieren calentamiento.

• En general, si se considera el ciclo de vida completo desde la cuna hasta la puerta o la aplicación, hay una reducción notable en el consumo de energía en el caso de las mezclas con emulsión.

En el caso que se muestra en la Figura 24, la diferencia en el consumo de energía es -33% (desde la cuna hasta la instalación). Puede llegar al -50% en algunos casos, dependiendo de los componentes y las distancias de transporte consideradas.

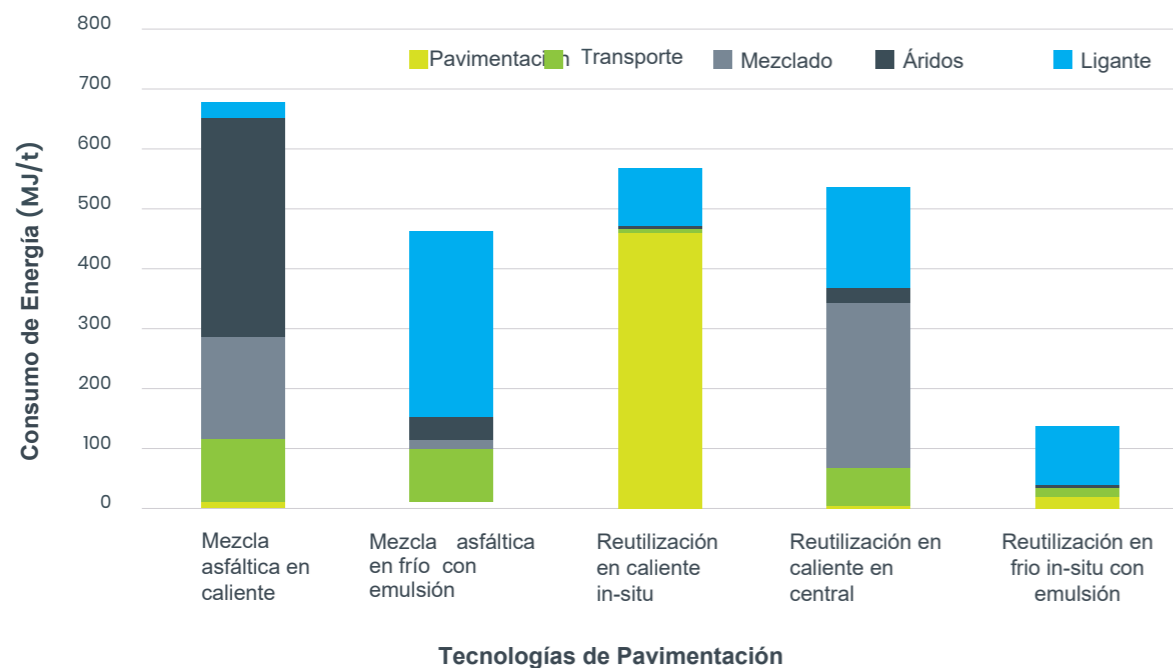


Figura 24 - Consumo de energía de diferentes técnicas de pavimentación

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) también se ven significativamente afectadas por el proceso de producción de mezclas en frío. Jain y col., por ejemplo, han estimado que la diferencia entre las emisiones de GEI de una mezcla con emulsión y las de una mezcla en caliente es de -32% en términos de “materias primas, fabricación, transporte y aplicación” (Figura 25). En algunos estudios la diferencia llega a ser del -60%.

En Francia, un estudio de análisis del ciclo de vida realizado por Routes de France ha dado lugar a la publicación en 2022 de una DAP (Declaración Ambiental de Producto) para “Pavimentos asfálticos en frío para vehículos ligeros”.

En términos de “la cuna a la puerta”, en comparación con la mezcla asfáltica en caliente convencional, la reducción del impacto por tonelada de asfalto es de alrededor del 21% en términos de consumo de energía (energía de proceso) y del 31% en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.

La guía francesa titulada “Mezcla asfáltica en frío en central” publicada por el IDRRIM en 2020 presenta varias comparaciones de impactos ambientales a escala de materiales y obras utilizando el ecomparador SEVE.

El ejemplo que se muestra en la Tabla 1 se refiere a un proyecto de pavimento nuevo de 1000 m² que compara una estructura de grava-emulsión de 13 cm, con una variante en la distancia de transporte, y una estructura de grava-emulsión de 12 cm, ambas con un tratamiento superficial bicapa. La diferencia en emisiones de GEI fue de alrededor del -37%.

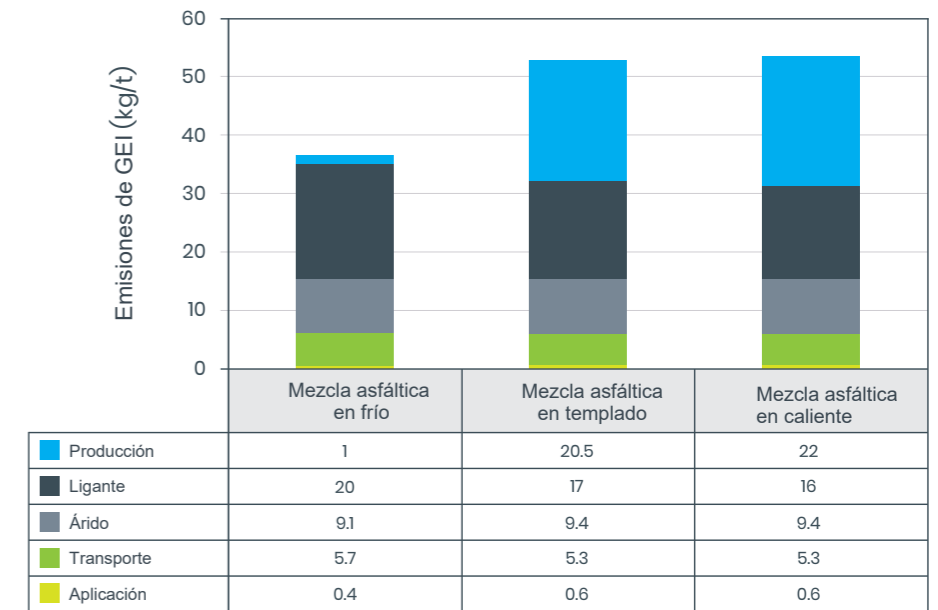


Figura 25 - Emisiones de gases de efecto invernadero de varias mezclas asfálticas

Solution	Matériaux	Transport en amont	Fabrication des mélanges	Transport chantier	Mise en oeuvre	Total	Comparaison/Base
12GB3+ESU bicouche	4,3	1,7	4,8	0,7	0,0	11,5	
13GE3 (40km emulsion)+ESU bicouche	4,6	1,5	0,4	0,8	0,0	7,3	-36,8%
13GE3 (0km emulsion)+ESU bicouche	4,6	1,4	0,4	0,8	0,0	7,2	-37,4%

Tabla 1 - Comparativa de emisiones de GEI (in tCO₂e) de una obra de 1000 m con diferentes estructuras del pavimento

Estudio de casos según el tipo de estructura

El SFERB realizó un estudio comparativo del impacto ambiental de diferentes tipos de estructuras en función de la clase de tráfico. Se ha comprobado, por ejemplo, que las técnicas de emulsión (BBE/GE) reducen las emisiones de GEI asociadas a la construcción de pavimentos en más de un 50% en comparación con las técnicas de mezcla en caliente del tipo BB/GB3 (Figura 26). La reducción es de alrededor del 30% en comparación con un pavimento asfáltico de alto módulo.

Los resultados también están disponibles utilizando el consumo de energía como indicador.

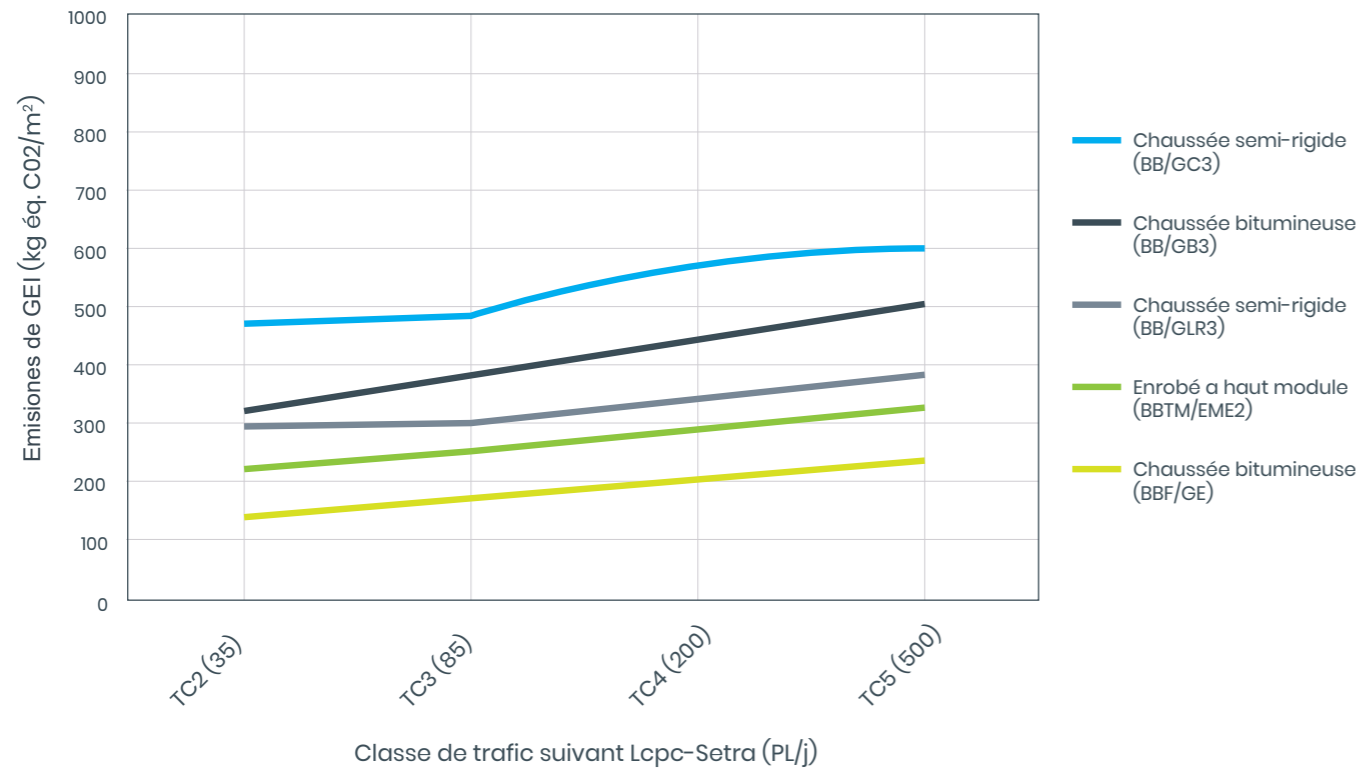


Figura 26- Emisiones de GEI por construcción de pavimentos, según clase de tráfico, por m² de estructura de pavimento, sobre plataforma PF2 (ref)

Reutilización en frío in-situ

En comparación con las mezclas con emulsión producidas en central, la técnica de reutilización en frío ofrece dos ventajas complementarias en términos de impacto ambiental:

- Ayuda a preservar nuevos recursos materiales.
- Elimina la necesidad de transporte de material, a excepción de una pequeña proporción de materiales "correctivos" como ligante y áridos.

Como resultado, la reducción del impacto ambiental en comparación con las técnicas de mezcla en caliente es aún mayor.

Xiao y col. han demostrado que la reutilización en frío in-situ puede reducir el consumo de energía en más del 75%.

En Francia, el comparador ecológico SEVE permite estimar una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que oscila entre el -55% y el -70%, según el caso específico y las condiciones de reprocesamiento.

Realizar un estudio paramétrico ayudaría a evaluar la diferencia en el beneficio ambiental entre estas dos prácticas.



3.2 Opciones para la reutilización que permiten el ahorro de materiales vírgenes (y energía + huella de carbono) y hacen posible la reutilización múltiple

Un elemento clave de la sostenibilidad, que se ha enfatizado en las políticas de sostenibilidad durante décadas, es la conservación de los recursos para las generaciones futuras.

Reciclar más y reducir el uso de recursos naturales son factores cruciales para lograr este objetivo. El uso de tratamientos y procesos que involucran emulsiones bituminosas permite a las administraciones y constructores de carreteras reciclar las mismas in-situ o utilizar materiales de carreteras al final de su vida útil, incluidos áridos secundarios de procesos industriales, en proyectos de rehabilitación o mantenimiento.

Estos proyectos tienen el beneficio adicional de reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono que de otro modo estarían asociadas con la extracción y el transporte de materiales.

Tratamientos superficiales

- Áridos

Históricamente, los residuos de las carreteras provenientes de aplicaciones de recubrimiento de superficies o riegos con gravilla generalmente se eliminaban en vertederos o se utilizaban para otros fines. Sin embargo, el desarrollo de plantas móviles de reutilización y lavado permite ahora almacenar y lavar los residuos de las carreteras, haciéndolos adecuados para futuros tratamientos. En 2023, una autoridad local del Reino Unido (Ref. 54) utilizó 21.000 toneladas de áridos en su programa de tratamientos superficiales, de las cuales se reutilizaron 12.000 toneladas. Esto representa una reducción significativa del 57% en el uso de materiales vírgenes para el programa de recubrimiento de superficies, cubriendo un total de 137 millas de carretera. Además, cualquier exceso de áridos utilizados durante la aplicación se puede recuperar por barrido de las carreteras, lo que contribuye aún más a la reutilización múltiple. Este enfoque acumulativo conduce a ahorros a largo plazo en el uso de materias primas.

La escoria de acería, que es un árido secundario producido durante el proceso de fabricación de acero, se ha utilizado con éxito en tratamientos superficiales durante varias décadas. Su uso no sólo ofrece beneficios de sostenibilidad en términos de mayor resistencia al deslizamiento, sino que también reduce la necesidad de áridos extraídos de canteras, ahorrando así energía y preservando recursos naturales.

- RA

La utilización de asfalto recuperado (RA) y áridos de pavimento asfáltico recuperado (RAGG) en tratamientos superficiales se ha examinado en un informe (Ref. 55), en el cual se revisa el beneficio de incorporar RA o RAGG en varios tratamientos tales como scrub seal, riegos con gravilla, microaglomerado en frío y microaglomerado sobre RFE (reutilización en frío in-situ).

El condado de Los Ángeles ha establecido objetivos de sostenibilidad para sus carreteras, centrándose en tres áreas clave: conservación, reutilización y protección.

En 2018, aproximadamente el 35 % del presupuesto del programa de pavimentación del condado de Los Ángeles se asignó a tratamientos de conservación de pavimento basados en el uso de RA.

El informe concluyó que la incorporación de RA en su programa de sostenibilidad resultó en un ahorro de costes de 52 millones de dólares, una reducción del 84% en las emisiones de gases de efecto invernadero, una reducción del 80% en el consumo de energía y una reducción de la deposición en vertederos de 418.000 yardas cúbicas en comparación con los enfoques convencionales.

Reutilización

- CCPR

La reutilización en frío en central (CCPR) es un proceso que ha sido utilizado durante décadas. Este proceso implica la mezcla de partículas asfálticas y otros materiales reutilizados usando emulsión bituminosa. En 2008, un contrato para una importante autopista en Escocia (Ref. 56) incluyó el empleo de mezcla asfáltica en frío en un tramo de 800 metros de carretera.



Figura 27 - Fabricación empleando CCPR

Este enfoque supuso un ahorro de 43 toneladas de CO₂, y el uso de la mezcla fría reciclada en Tayset ahorró 25 kilogramos de CO₂ por tonelada en comparación con los materiales convencionales (Ref. 57).

Un estudio llevado a cabo en Suecia (Ref. 58), comparó la producción y el transporte, en una distancia de 48 km, empleando la técnica CCPR respecto al empleo de materiales estándar usando los mismos parámetros.

Lundberg y col. encontraron que



Figura 28 - Aplicación empleando CCPR

el empleo de la técnica CCPR redujo las emisiones de CO₂ por tonelada de asfalto en un 68% y el consumo de energía en un 50%. Tras la instalación del pavimento, las emisiones de CO₂ por metro cuadrado de asfalto se redujeron en un 64% y el consumo de energía en un 48%.

Además, en ambos ejemplos, los materiales CCPR mostraron un buen desempeño in-situ incluso después de diez o más años de servicio.



Figura 29 - Acabado final del pavimento tras emplear la técnica de CCPR

- RFE

La reutilización en frío in-situ con emulsiones implica el riego de la misma y la nivelación de una carretera existente in-situ.

El proceso incluye mezclar el material con una emulsión bituminosa y compactarlo sin retirar ningún material de la obra.

En algunos casos, se pueden agregar pequeñas cantidades de áridos para lograr la nivelación deseada durante la instalación.

La reutilización de todos los materiales in-situ reduce significativamente la necesidad de áridos vírgenes, así como el consumo de energía y las emisiones asociadas a la entrega de materiales nuevos.

Según Lysenko (Ref. 59), la reutilización en frío in-situ reduce la energía total necesaria para construir un pavimento en un 84,3% y las emisiones de CO₂ en un 85%.

3.3 Aspectos de HSE

Las emulsiones brindan diversos beneficios en materia de HSE, entre ellos, la reducción de humos y vapores durante la aplicación y mejores condiciones de trabajo. Su impacto ambiental puede cuantificarse a través de ACV y comunicarse a través de las DAPs, lo que garantiza la transparencia y promueve prácticas sostenibles en la industria de la construcción de carreteras.

Menores emisiones de VOC, menos vapores, humos y polvo.

Las emulsiones bituminosas se aplican a temperaturas más bajas en comparación con el betún convencional, lo que resulta en menores emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y potencialmente reduce la producción de polvo durante su aplicación.

Mejora de las condiciones de La reducción en las temperaturas de

La reducción de los requerimientos de temperatura contribuye a un ambiente de trabajo más seguro; las emulsiones bituminosas son a menudo más fáciles de manejar y aplicar, lo que aumenta la eficiencia y reduce el esfuerzo físico de los trabajadores. En su estado líquido las emulsiones bituminosas no son inflamables, lo cual mejora las condiciones de seguridad durante el almacenamiento. Las emulsiones también pueden ser aplicadas en una variedad de condiciones ambientales, brindando mayor flexibilidad en los calendarios de ejecución de obra, y reduciendo el tiempo de inactividad de los trabajadores. De todas maneras, esto depende de diferentes factores; incluyendo la aplicación específica, el tipo de emulsión usada, y de forma general de las medidas de seguridad implementadas en el sitio de trabajo.

Cuantificación del impacto ambiental

La cuantificación del impacto ambiental de las emulsiones bituminosas a través del análisis del ciclo de vida (ACV) implica evaluar las cargas ambientales asociadas con todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción y producción de la materia prima hasta su uso y eliminación. Los ACV proporcionan un enfoque integral para comprender el impacto ambiental de un producto o proceso.

Es importante tener en cuenta que los ACV específicos pueden variar dependiendo de factores como el tipo de emulsión bituminosa, los métodos de producción y consideraciones regionales. Los investigadores y profesionales pueden realizar análisis del ciclo de vida adaptados a su contexto específico para obtener resultados precisos y relevantes. La disponibilidad de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para emulsiones bituminosas puede variar, y el contenido específico de una DAP dependerá del fabricante o la organización que produzca las emulsiones. Las DAP son documentos estandarizados que proporcionan información sobre el desempeño ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no todos los productos pueden tener DAP asociadas y su disponibilidad puede variar según la región.

A continuación se presentan algunos referencias sugeridas para encontrar las DAPs o información sobre el desempeño ambiental de las emulsiones bituminosas:

- *Sitios Webs de los productores.*
- *Asociaciones industriales.*
- *Programas de certificación de sostenibilidad*
- *Administraciones gubernamentales o ambientales*
- *Organización de certificación de terceros.*
- *Estudios de investigación.*



Figure 30 - Estabilización de bases con emulsión

3.4 Impacto social de las tecnologías que emplean emulsiones bituminosas y sus aplicaciones

La emulsión bituminosa utilizada en la construcción de carreteras no sólo mejora la eficacia y la sostenibilidad del proceso de construcción, sino que también genera diversos impactos sociales para los usuarios de las carreteras y la comunidad (Ref. 62, 63). Los principales impactos sociales incluyen:

Reducción en olor

El olor de la emulsión bituminosa es generalmente menos intenso que el del betún caliente. La reducción en olor en las obras de construcción de carreteras contribuye a un entorno de trabajo más favorable para los trabajadores de la construcción y a una mejor calidad de vida para las comunidades cercanas.

Hay varios motivos por los que se reduce el olor. La emulsión bituminosa se aplica a temperatura ambiente o a una temperatura ligeramente superior, lo que permite una menor generación de humos.

Mejora la resistencia al deslizamiento

En los pavimentos bituminosos, la resistencia al deslizamiento depende de factores como el tipo de árido, la granulometría de la mezcla y la microtextura y macrotextura de la superficie. Las emulsiones bituminosas son usadas en diversas aplicaciones de mantenimiento para mejorar o restaurar la resistencia al deslizamiento al influir en las características de la superficie del pavimento que son cruciales para la fricción.

Algunos ejemplos típicos de aplicaciones de mantenimiento que utilizan emulsión bituminosa son:

- **Tratamientos superficiales:** Estos incluyen riegos con gravilla, lechadas y microaglomerado, donde las partículas de áridos de la superficie proporcionan una microtextura mejorada y mejoran potencialmente la resistencia al deslizamiento.

- La emulsión bituminosa también se puede utilizar como rejuvenecedor en tratamientos de superficies, restaurando las propiedades del betún envejecido en la capa superficial y manteniendo la textura del pavimento.

Incremento en la temporada de trabajo

Extensión en los tiempos de construcción: las emulsiones bituminosas se pueden aplicar a temperaturas más bajas en comparación con la mezcla asfáltica caliente. Esto permite la construcción durante temperaturas más frías, cuando la pavimentación con mezcla caliente no sería factible, lo que proporciona más flexibilidad al cronograma de trabajo.

Equipamiento no especializado / Menor mano de obra: Las emulsiones bituminosas no requieren equipos de calentamiento especializados ni grandes cantidades de mano de obra, lo que facilita el transporte y la logística.

Mejora de la seguridad

Hay muchas formas en las que el uso de las emulsiones bituminosas contribuye a mejorar la seguridad durante la construcción y el mantenimiento:

- La emulsión bituminosa no requiere calentamiento y genera menos humos durante su aplicación.
- Las temperaturas de aplicación más bajas y la reducida volatilidad de los componentes de las emulsiones, reducen significativamente los riesgos asociados con el transporte y la manipulación. Esto también disminuye el peligro de derrames o salpicaduras, mejorando la seguridad.
- Los riesgos ambientales también se reducen durante las operaciones de transporte y construcción.

3.5 Economía: Resultado de los temas mencionados ahorro de material energía

Las emulsiones bituminosas se utilizan en diversos tratamientos superficiales y en técnicas de reutilización, que han demostrado ahorrar costes al reducir el uso de material y energía.

Los tratamientos superficiales se pueden utilizar solos o combinados para aumentar la vida útil del pavimento existente y reducir el consumo de energía.

Aplicaciones como la reutilización en frío in situ (RFE), la estabilización de bases y la reutilización en frío en central (CCPR), utilizan materiales ya existentes en la carretera.

La estabilización de bases y el RFE ayudan a reducir los costes de transporte al fresar, mezclar y colocar los materiales reutilizados directamente en la carretera.

Se han realizado trabajos que definen el rendimiento y el ahorro de costes de estas aplicaciones para ayudar a los usuarios a comprender sus beneficios (Ref. 65, 66).

Al reducir las temperaturas de mezclado, las emulsiones bituminosas contribuyen al ahorro energético en la producción de las mezclas. Esto es especialmente notable en aplicaciones de mezclas en frío, RFE y CCPR. El ahorro energético que se consigue con estas mezclas no compromete el rendimiento del producto final. La menor temperatura de aplicación cuando se utilizan



Figura 31 : Proyecto de reciclado

TABLA DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	DEFINICIÓN	ACRÓNIMO ESPAÑA	ACRÓNIMO LATINOAMÉRICA
GHG	GreenHouse Gases Gases de efecto invernadero	GEI	GHG
HSE	Health Safety Environment Seguridad, Salud y Medioambiente	SyS y MA	HSE
CIR /CIPR	Cold In place Recycling Reutilización en frío in situ	RFE	CIR/CIPR
FDR	Full-Depth Reclamation Rehabilitación total de Pavimentos	No tiene acrónimo	FDR
CCPR	Cold Central Plant Recycling Reutilización en frío en central	No tiene acrónimo	CCPR
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement Pavimento asfáltico recuperado	RA	RAP
EPD	Environmental Product Declaration Declaración ambiental de producto	DAP	DAP
BBE	Béton Bitumineux à l'Émulsion Emulsion Cold Mix Mezcla en frío con emulsión	No tiene acrónimo	No tiene acrónimo
GC3	Grave Ciment 3 Cement Treated Base Class 3 Base tratada Grava-Cemento Clase 3	No tiene acrónimo	No tiene acrónimo
GLR3	Grave au Liant Hydraulique Routier Hydraulic Binder Treated Base Class 3 Base tratada con cal	No tiene acrónimo	No tiene acrónimo
BBTM	Béton Bitumineux Très Mince Very Thin layer asphalt Capa asfáltica delgada	BBTM	BBTM
EME2	Enrobé à Module Élevé High Modulus Asphalt Class 2 Mezcla asfáltica de alto módulo	MAM	CAM
BBF	Béton Bitumineux à Froid Cold Mix Asphalt Hormigón bituminoso en frío	No tiene acrónimo	No tiene acrónimo
RAGG	Reclaimed Asphalt Pavement Aggregate Áridos de pavimento asfáltico recuperado	No tiene acrónimo	No tiene acrónimo
LCA	Life Cycle Assessment	ACV	ACV
BSM	Bitumen Stabilized Material Material estabilizado con emulsión	No tiene acrónimo	No tiene acrónimo
VOC	Volatile organic compounds Compuestos Orgánicos Volátiles	COV	COV



Figure 32 – Reutilización en frío in situ

Referencias

1	Congres Mundial Emulsion	CEPSA / María del Mar Colas	2006	Spain	New Impregnating Emulsions With Ecologics Fluxes
2	Newsletter Issue 23	Texas Pavement Preservation Center	2011	USA	Evaluation of the Curing Time and Other Characteristics of Prime Coats applied to a granular base
3	Thesis University of Texas	Osman Okuyucu	2014	USA	Comparing Various Characteristics of Oven Cured and Field Cured Prime Coat Materials applied to Granular Bases
4	South African Pavement Engineering Manual	SANRAL	2013	South Africa	Chapter 9 Extract – Materials Utilisation and Design
5	Annexe au Bulletin CRR n 90	Centre de Recherches routieres	2012	Belgique	Les emulsions cationiques bitumineuses en tant que couche de collage
6	National Cooperative Highway Research Program	Danny Gierhart and David R. Johnson	2018	USA	Tack Coat Specifications, Materials and Construction Practices
7	Technical Data Sheet n 5	Road Emulsion Association Limited	2023	United Kingdom	Bond Coating
8	Japan Emulsified Asphalt Emulsion	JEAA	2007	Japan	Trackless Asphalt Emulsion
9	International Journal of Sustainable Transportation	Department of Civil and Environmental Engineering Rutgers University	2020	USA	Quantifying greenhouse gas emission of asphalt pavement preservation at construction and use stages using life-cycle assessment
10	Transportation Research Part D: Transport and Environment	University of South Florida	2012	USA	Life cycle assessment of pavement: Methodology and case study
11	Materials and Structures Journal	LUNAM Université, IFSTTAR	2012	France	Evaluation of the structure-induced rolling resistance (SRR) for pavements including viscoelastic material layers
12	MTAG Volume I Flexible Pavement Preservation 2nd Edition	Caltrans division of maintenance	2007	USA	Chapter 6 – Fog and Rejuvenating Seals
13	NPPC 2023	NCAT – Adriana Vargas	2023	USA	NCAT Preservation Findings
14	Web article	Bituchem	2012	United Kingdom	Fortseal Carriageway Preservation System
15	Web article	Ergon	2015	USA	Scrub seal cuts costs, seals mass cracking
16	TRL	Bateman	2016	United Kingdom	Design Guide for Road Surface Dressing
17	Technical report	Oregon DOT & FHWA	2016	USA	Chip Seal Design and Specification Final Report
18	RSTA Website	RSTA/REA	2023	United Kingdom	The case for surface dressing
19	Road resource.org	Mississippi DOT	2020	USA	Microsurfacing success story
20	Road resource.org	PPRA	2021	USA	cape seal success story
21	Le Moniteur Magazine	Conseil General Yvelines	2012	France	Route – Les defis de l'entretien
22	National Cooperative Highway Research Program	Colorado State University / Texas A&M University	2011	USA	Report 680 – Manual for Emulsion Based Chip Seals for Pavement Preservation
23	Publication	ADEPT / RSTA	2017	United Kingdom	The Service Life of Road Surface Treatments for Asset Management Purposes

Referencias

24	SaferRoads Internation Conference	Sean Bearsley - Darcy Rogers	2017	New Zealand	Emulsion Chipsealing: Generating Conscious Capital
25	ISSA 50th Annual Convention	Abdeltif Belkahia	2012	France	High performance laboratory tests for microsurfacing
26	European Roads Review	Colas	2013	France	New High Performance emulsions for surface dressings aimed at heavy traffic with heavy constraints
27	ISSA 51th Annual Convention	Abdeltif Belkahia - Christine Deneuvillers	2013	France	French High Traffic Chip Seal
28	RSTA	Paul Boss	2021	United Kingdom	Whole lifecycle cost planning for sustainability
29	RSTA Virtual conference	Roy O'Connor	2021	United Kingdom	Future Con-cerns and Positives for the Road Surface Treatment Industry
30	Asphalt Institute Presentation	Minnesota DOT Zeinali . Blankenship Mahboub	2016	USA	Quantifying the Pavement Preservation Value of Chip Seals
31	Road Materials and Pavement Design	Minnesota DOT Zeinali . Blankenship Mahboub	2016	USA	Evaluation of the DC(T) test in discerning the variations in cracking properties of asphalt mixtures
32	Resources, Conservation and Recycling Journal	Giani and al	2015	Italy	Com-parative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling
33	Brochure	SABITA	2005	South Africa	Why you need to maintain surfaced roads
34	FHWA-HIF-17-042, Federal Highway Administration	Wagner, C.	2018	USA	Over- view of Project Selection Guidelines for Cold In-place and Cold Central Plant Pavement Recycling
35	National Cooperative Highway Research Program	Stroup-Gardiner, M.	2011	USA	NCHRP Synthesis of Highway Practice 421: Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods.
36	Comite Francais pour les Techniques Routieres (CFTR)	Service d'Etude Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA)	2004	France	Guide technique Retraitement en place à froid des anciennes chaussées.
37	FHWA-HIF-14-001	Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA)	2015	USA	Basic Asphalt Recycling Manual (BARM)
38	Sustainability	Ana R. Pasandín, Ignacio Pérez and Breixo Gómez-Mejide.	2020	USA	Performance of High RAP Half-Warm Mix Asphalt
39	National Cooperative Highway Research Program 463	McDaniel, RS., Olek, J., Magee, B. J., Behnood, A., & Pollock, R.	2014	USA	Pavement Patching Practices - A Synthesis of Highway Practice.
40	Construction and Building Materials	Bong Ju Kwon, Dahae Kim, Suk-Keun Rhee, Y. Richard Kim.	2018	USA	Spray injection patching for pothole repair using 100 percent reclaimed asphalt pavement.
41	National Cooperative Highway Research Program 569	M. Stroup-Gardiner	2021	USA	Practice and Performance of Cold In Place Recycling abd Cold Central Plant Recycling
42	National Cooperative Highway Research Program 863	Schwartz, C. W., B. K. Die-fenderfer, and B. F. Bowers.	2017	USA	Material Properties of Cold In-Place Recycled and Full-Depth Reclamation Asphalt Concrete.
43	Journal of Cleaner Production	Fan Gu a, Wangyu Ma a, Randy C. West a, Adam J. Taylor a, Yuqing Zhang	2018	USA	"Structural performance and sustainability assessment of cold central-plant and in-place recycled asphalt pavements: A case study"

Referencias

44	Transportation Research Board Annual Meeting	Finberg, Quire, and Thomas	2008	USA	Granular Base Stabilization with Emulsion in Las Vegas, Nevada
45	European Roads Review	S. Bemanian - Optimum Pavement	2007	France	Cold In Place Recycling in Nevada
46	Transportation Research Record 2179	Robinette and Epps	2010	United States	Energy, Emissions, Material Conservation, and Prices Associated with Construction, Reha-bilitation, and Material Alternatives for Flexible Pavement
47	Recycled Materials Resource Center	Dr. Arpad Horvath University of California at Berke-ley	2004	United States	Report Project 23 A Life-Cycle Analysis Model and Decision-Support Tool for Selecting Recycled Versus Virgin Materials for Highway Applications
48	ISAP Conference 2008	Uhlmeyer et al	2008	United States	Case study : Cold In-Place Recycling In Washington State
49	Construction and Building Materials	Xiao et al.	2018	China	A literature review on cold recycling technology of asphalt pavement
50	ISAP Conference 2012	Goyer et al.	2012	France	Environmental data of cold mix using emulsified bitumen for a better selection of road materials
51	SFERB	SFERB	2008	France	Bitumen Emulsions handbook
52	E&E Congress 2016	Lundberg et al.	2016	Sweden	Production and durability of cold mix asphalt
53	Journal of Cleaner Production	Jain et al.	2021	India	Cold mix asphalt: An overview
54	Web	Lincolnshire county council	2023	United Kingdom	Dressing up the roads network
55	FHWA	Gregory Duncan et al	2020	USA	Using reclaimed asphalt pavement in Pavement-Preservation Treatments
56	JTTE 2019; 6 (4): 359-365	Day et al	2019	United Kingdom	Emulsion cold mix in the UK : a decade of site and laboratory experience
57	ISSA world congress 2010	Day D et al	2010	United Kingdom	Developing a Strategy for Sustainable Development and Carbon Management
58	NCC Roads	Lundberg et al.	2016	Sweden	Production and durability of cold mix asphalt
59	World of Emulsion Lyon 2010	Lysenko J et al	2010	Australia	Sustainable Development
60	SABITA	SABITA	2020	South Africa	Technical Guideline TG2 3rd edition Bitumen Stabilised Materials
61	WSP - OPUS Report	Kate Mora, Jeremy Wu, Phil Herrington	2019	New Zealand	Implications of the substitution of Cut-Back Bitumens with bitumen emulsions for chip sealing
62	EDC-4 Pavement Preservation: How Implementation Plan	US Department of Transpor-tation - FHWA	2017	USA	Pavement Preservation: How
63	Best Practices for EMULSION TACK COATS	NAPA - Author Dale S. Decker, P.E.	2020	USA	Quality Improvement Publication 128
64	E&E Congress 2020	Marimar Colás, Vicente Pérez, Antonio García CEPESA	2020	Spain	High Performance Recycling with Bituminous Emulsions
65	National Pavement Preservation Conference	Adriana Vargas-Nordcbeck - NCAT	2023	USA	NCAT Preservation Findings
66	National Pavement Preservation Conference	Jerry Geib - MnROAD	2023	USA	MnROAD NCAT Preservation Study

Full Members



Aema
USA



AfPA
Australia



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.
Amaac
Mexico



Ateb
Spain



Fbk e.V.
Germany



Jeaa
Japan



PSWNA
Poland



Rea
United Kingdom



Sabita
South Africa



Sferb
France



Siteb
Italy

Associated Members



Arkema
France



BASF SE – Asphalt
Performance
Germany



BitChem Asphalt
Technologies
Limited
India



Buckau-Wolf
Germany



Chemoran
Ireland



China Emulsified
Asphalt Association
China



Enfalt
Turkey



Hincol
India



Ingevity
USA



Insung
Korea



Kandovan Pars
Iran



Nouryan
Sweden



NTRO
Australia



Ooms Products
Netherlands



Paragon
Technical Services
USA



Prasol
India



Patpribor Ltd
Bulgaria



Quimi Kao
Mexico



Rad Group
Russia



SAE Fayat Group
France



SurfactGreen SAS
France



Tipco Asphalt
Thailand



Total BTM
France



VALOCHEM
France



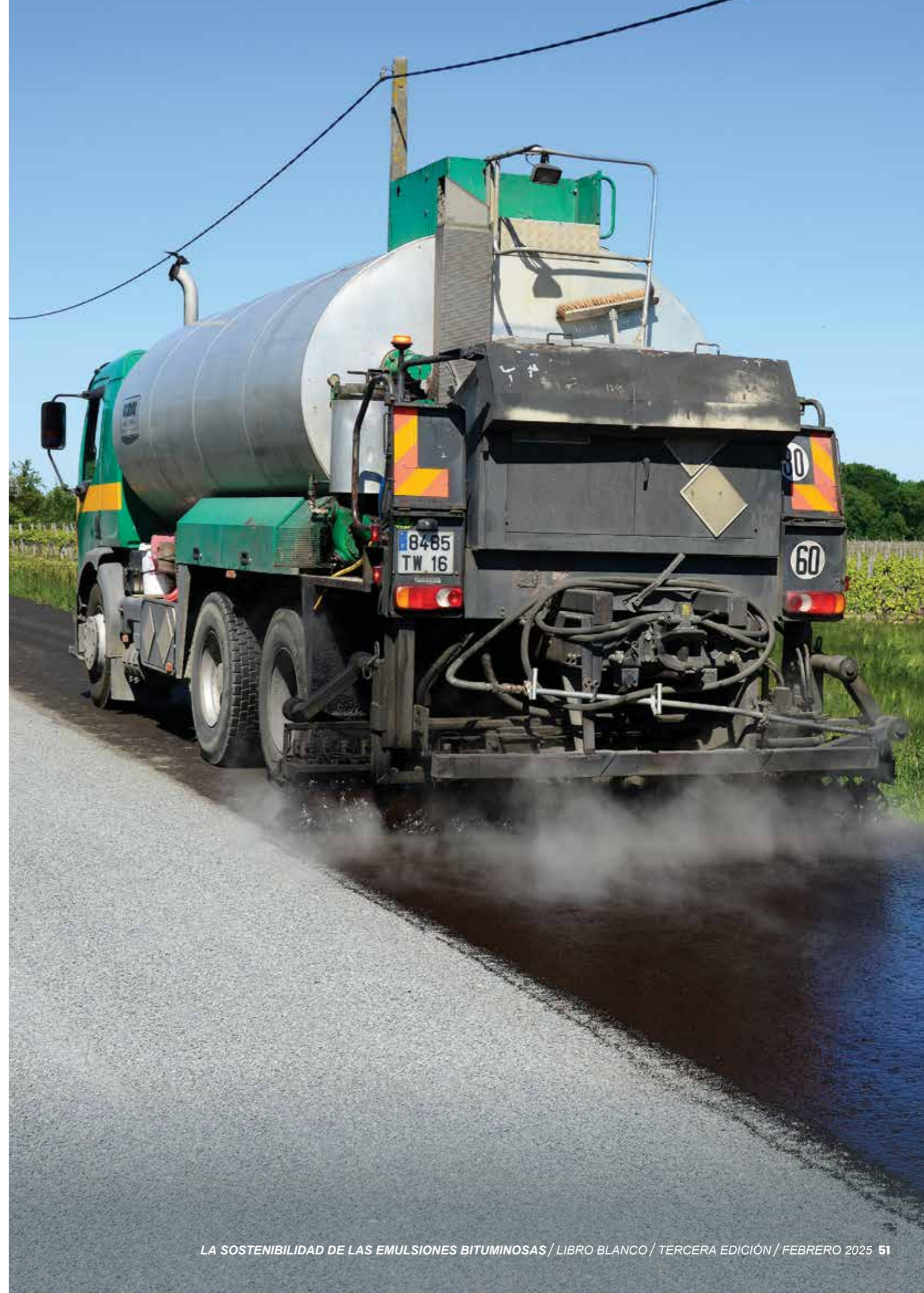
Vialab



VIALIT
Austria



Xi Yuefa Group
China





International Bitumen Emulsion Federation

9 rue de Berri – 75008 Paris – France

Tél. +33 1 44 13 32 81

contact@ibef.net