



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

# INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES EN EL CICLO DE VIDA DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Víctor M. Cincire Romero A.<sup>1</sup>, Eduardo Toxqui Rodríguez<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Ergon Asfaltos México, Puebla, México, victor.cincire@ergon.com

<sup>2</sup> Ergon Asfaltos México, Puebla, México, eduardo.toxqui@ergon.com

## Resumen

Los tratamientos superficiales son aplicaciones que se realizan sobre la superficie de un pavimento, con la finalidad de protegerlo, servir de superficie de desgaste, y proporcionar seguridad y comodidad a los usuarios de la vía.

En este documento se pone de manifiesto como los tratamientos superficiales desempeñan un papel significativo en extender el ciclo de vida de los pavimentos asfálticos, analizando los beneficios económico-ambientales, que influyen significativamente en su eficacia y costo, objeto de un análisis de economía circular y sostenibilidad.

Hoy en día nuestro país enfrenta importantes desafíos en la toma de decisiones para seleccionar el tratamiento más adecuado en cada proyecto y en como optimizar su vida útil y desempeño, con una documentación precisa, que nos permita lograr aplicaciones consistentes.

Los mejores resultados se obtienen cuando los tratamientos superficiales se utilizan como medida preventiva o semicorrectiva en deterioros de baja severidad del pavimento. Su uso como tratamiento correctivo, afecta considerablemente su vida útil y desempeño, ya que se aplican como solución temporal, por lo tanto, es fundamental encontrar un equilibrio entre el costo y beneficio esperados al utilizarlos en estas condiciones.

En esencia, los tratamientos superficiales ofrecen varios beneficios para los pavimentos asfálticos, como la prolongación de su vida útil, la reducción de costos de mantenimiento, la mejora de la seguridad vial y la protección del medio ambiente, que son motivo de estudio en este documento.

**Palabras Clave:** Tratamientos superficiales, Ciclo de vida del pavimento asfáltico (CVPA), Tratamiento preventivo, Economía circular y sostenibilidad.

## 1 Introducción

En México, los principales retos de la conservación del patrimonio vial, consisten en **Mitigar** el deterioro gradual de los pavimentos; Conservar de manera **Preventiva** y no reactiva; **Incrementar** la percepción de mejora del camino; **Gestionar** inversiones suficientes y sostenidas; realizar **Intervenciones** amigables con el medio ambiente y con un costo más efectivo. Conservar nuestro sistema vial se ha vuelto más difícil con la escasez actual de fondos destinados a este importante sector.

El uso de tratamientos superficiales en pavimentos asfálticos, considerando la filosofía de la preservación de pavimentos de “El tratamiento correcto, en el momento correcto, para el pavimento correcto”, contribuye sustancialmente a afrontar y solucionar los retos antes mencionados.

Determinar la estrategia del tratamiento de superficie más rentable para un proyecto determinado, requiere una comprensión profunda de los beneficios, las limitaciones, el desempeño y los costos asociados de cada estrategia de tratamiento viable, e identificar información comprobada que podría ser valiosa en la consideración del análisis costo-beneficio del ciclo de vida futuro.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

### 1.1 El deterioro de las carreteras es normal durante su uso (Ver figura 1)

- En su fase inicial su deterioro es **lento** con defectos poco visibles
- En su segunda fase el deterioro se **acelera** produciendo daños importantes a la estructura del pavimento
- Llegando a su fase crítica con daños **irreparables** que hace necesaria la reconstrucción total



Figura 1. Deterioro del pavimento durante su vida útil

***Las intervenciones oportunas generan ahorros y mayor vida útil, Las intervenciones tardías deterioro acelerado y mayor costo.***

Los tratamientos superficiales de conservación de pavimentos asfálticos extienden su vida útil remanente, reduciendo los efectos perjudiciales del envejecimiento y el deterioro; también contribuyen a proteger la integridad de la estructura del pavimento subyacente.

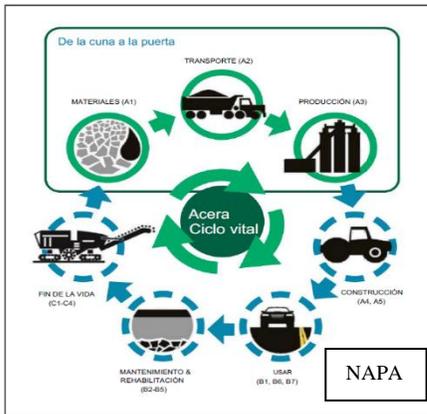


Figura 2. Etapas clave del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos

Si no se utilizan tratamientos superficiales, los pavimentos se deterioran más rápidamente y requieren una rehabilitación estructural importante en menor tiempo. En este entorno, los tratamientos superficiales (técnicas de preservación) representan aplicaciones cruciales en la conservación de los pavimentos asfálticos.

Este documento destaca la importancia que tienen en la extensión del ciclo de vida de los pavimentos, analizando su impacto en aspectos clave como la economía circular y sostenibilidad; se incluyen estudios relevantes sobre sus beneficios, resaltando los mejores resultados que se obtienen cuando se emplean como tratamiento preventivo y semicorrectivo en deterioros de baja severidad; mientras que su uso como tratamiento correctivo, en deterioros de media a alta severidad, afecta considerablemente su eficacia, ya que se aplican como solución temporal cuando no se cuenta con los recursos necesarios para realizar la reparación integral que

requiere el pavimento, por lo que es fundamental encontrar un equilibrio entre el costo y beneficio esperados al utilizarlos en estas condiciones.

En este trabajo se mencionan los tratamientos superficiales que se han utilizado con éxito en México en los últimos 25 años y algunas innovaciones recientes con experiencia incipiente en México, pero que ofrecen amplios beneficios potenciales y mayor rentabilidad para las condiciones ambientales existentes y de nuestros pavimentos.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

La estrategia de selección del tratamiento superficial más rentable para un proyecto específico, requiere un adecuado conocimiento de los beneficios, las limitantes, el desempeño y los costos asociados de cada tratamiento viable, incluyendo su impacto ambiental, **y la consideración de cinco aspectos fundamentales: Financiero, económico, de sostenibilidad, técnico y social.**

## 2 Beneficios de los tratamientos superficiales

Los tratamientos superficiales han sido objeto de innumerables estudios en todo el mundo debido a su capacidad única para ofrecer una serie de beneficios significativos en la conservación vial. Estos estudios han sido motivados por la necesidad de mantener las infraestructuras viales en óptimas condiciones, garantizando la seguridad de los usuarios y maximizando la eficiencia de los recursos destinados a su mantenimiento.

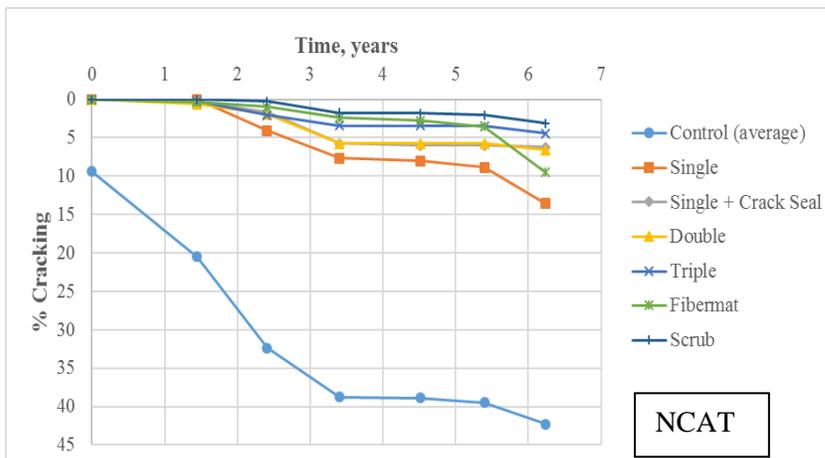
Además, su potencial para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica de las redes viales ha impulsado aún más la realización de investigaciones exhaustivas en busca de soluciones innovadoras y eficaces. En este sentido, se han realizado estudios que han contribuido significativamente al avance del conocimiento en el campo de la conservación vial, proporcionando evidencia sólida sobre los beneficios tangibles que los tratamientos superficiales pueden ofrecer a las infraestructuras viales en todo el mundo; a continuación, exploraremos algunas de las conclusiones más relevantes que han surgido de estos estudios.

### 2.1 Estudios Internacionales

#### 2.1.1 National center for asphalt Technology (NCAT)

Uno de los centros de investigación más importantes del mundo en materia de pavimentos asfálticos es el National Center for Asphalt Technology (NCAT) el cual fue fundado en 1986 como una asociación entre la Universidad de Auburn en Alabama y National Asphalt Pavement Association (NAPA) para proporcionar investigación y desarrollos prácticos para satisfacer las necesidades de mantenimiento de la infraestructura vial de Estados Unidos.

La gráfica 1 resume una de las principales evaluaciones que ha realizado el NCAT, comparando secciones con diferentes tratamientos superficiales, con una sección de control sin tratamiento superficial, se observa como cualquier tratamiento superficial mejora el desempeño del pavimento, prolongado su vida útil y reduciendo el agrietamiento en comparación con el tramo de control; realizar



un sellado de grietas previo a otro tratamiento superficial prolongará más la vida útil y reducirá significativamente la aparición de grietas. El realizar una intervención de conservación con tratamientos superficiales cuando la condición del pavimento es de regular a buena maximizará el rendimiento de estos.

Gráfica 1. Beneficios de los tratamientos superficiales



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

### 2.1.2 Preservación igual a sostenibilidad en pavimentos asfálticos

En el artículo publicado por la Dr. Amma Wakefield quien es ingeniera e investigadora canadiense del Asphalt Institute titulado “Preservation equals sustainability of asphalt pavements” menciona que la preservación adecuada del pavimento es crucial para proteger su superficie y mejorar su sostenibilidad. La preservación del pavimento es la implementación de una estrategia a largo plazo que mejora el desempeño, la vida útil y la seguridad del pavimento; se ocupa principalmente de minimizar el costo del ciclo de vida a nivel de proyecto para una agencia (U.S Department of Transportation, 2016). También se destaca que la Preservación Sostenible del Pavimento se centra en el uso de una variedad de tratamientos, como riego de sello (chip seal), micro capas en frío (slurry seal, microsurfacing), macrocalafateo inducido (scrub seal), riegos de sellos más microaglomerado (cape seal), riegos de protección (fog seal), sellado de grietas (crack seal), microcapas en caliente (ultra-thin overlays).

Los tratamientos superficiales están diseñados para mejorar específicamente la funcionalidad del pavimento, como la fricción, la macrotextura y el ruido, mientras que minimizan el costo y el impacto ambiental. Al emplear los tratamientos, se prolonga la vida útil del pavimento y se retrasan las actividades de rehabilitación significativas, lo que a su vez conserva energía, materiales vírgenes y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida del pavimento. Este enfoque integral busca garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las infraestructuras viales mediante prácticas de preservación innovadoras y respetuosas con el medio ambiente.

### 2.1.3 Análisis probabilístico del costo del ciclo de vida de técnicas de preservación de pavimentos

En la revista especializada “Asfalto y pavimentación” No. 30 de la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas asfálticas (ASEFMA) dos investigadores de la Universidad de Texas en Austin, Natalia Zúñiga García y Jorge A. Prozzi, publicaron un artículo titulado “Análisis probabilístico del costo del ciclo de vida de técnicas de preservación de pavimentos”. Este trabajo desarrolla e implementa una metodología probabilística (simulación de Monte Carlo) para el análisis del costo del ciclo de vida de las principales técnicas de preservación de pavimentos utilizadas en Texas: riegos de sello, microsurfacing (micro-aglomerados) y sobrecapas delgadas de mezcla asfáltica en caliente, en el que se recopiló información histórica de 14,000 proyectos de mantenimiento y rehabilitación construidos entre 1994 y 2015, obtenidos de las bases de datos del Departamento de Transportes de Texas (TxDOT).

Esta información analizada sobre la vida efectiva y el costo de los proyectos de mantenimiento preventivo muestran que el costo de los riegos de sello y los microsurfacing (micro-aglomerados) es significativamente menor que el costo de las sobrecapas delgadas, y presentan una menor variación, también se muestra que los tratamientos superficiales presentaron el costo de vida útil económicamente más eficiente y las sobrecapas delgadas presentaron el costo menos eficiente, con un valor cinco veces superior a los tratamientos superficiales y dos veces mayor a los micro-aglomerados, aproximadamente. Los tratamientos superficiales representan la técnica más económicamente eficiente, a pesar de que la vida efectiva de las tres técnicas es similar.

### 2.1.4 Efectividad de los tratamientos superficiales

En la tercera edición de la “International Conference on Transportation Information and Safety” con sede en Wuhan, China el PhD. Luis Amador-Jiménez y el estudiante a PhD. Amir Pooyan Afghari presentaron los datos de su investigación que revelan la efectividad de los tratamientos superficiales,



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

los cuales cuando se aplican en carreteras con un índice de regularidad internacional (IRI) menor a 1.7 m/Km obtienen entre 6 y 10 diez años de vida adicional.

#### 2.1.5 Una carretera bien mantenida es una vialidad resiliente

La Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) a través del informe técnico “Conservar las carreteras de su país para fomentar el desarrollo” destaca que una carretera con buen mantenimiento es una vialidad resiliente. El mantenimiento efectivo protege las carreteras y su infraestructura, lo que garantiza que la carretera puede estar en condiciones de ser utilizada aún después de sucesos climatológicos extremos. Agrega que, el buen mantenimiento de las carreteras reducirá la huella de carbono en relación con las actividades de rehabilitación y reconstrucción.

### 2.2 Estudios en México

Los estudios detallados de los beneficios de los tratamientos superficiales en nuestro país, aún son incipientes, la iniciativa privada y algunas dependencias oficiales, están iniciando esfuerzos, para realizar evaluaciones metódicas como las siguientes, que arrojen mayor luz en este tema.

#### 2.2.1 Evaluación de diferentes tratamientos superficiales, a través del desempeño presentado en la carretera Santa rosa-La Barca

Este proyecto realizado en la carretera mencionada, en el estado de Jalisco, fue una iniciativa de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) para evaluar el comportamiento y desempeño de diferentes tratamientos superficiales para la preservación de pavimentos, y en el artículo que presentó la DGST en el XXI CILA de Uruguay en 2022, mencionan lo siguiente:

“La SICT no cuenta con un análisis documentado sobre el desempeño presentado por los diferentes tratamientos de preservación aplicados en el país. Una vez aplicados los tratamientos difícilmente se realiza un registro y evaluación de su desempeño, es común que nuevamente se visite el sitio donde se efectuaron los trabajos hasta que llegaron al final de su vida útil. En ocasiones cuando presentan una duración inferior a la proyectada, se estima que esa reducción se debe a la calidad del tipo de tratamiento superficial empleado, despreciando los factores que pueden afectar su desempeño. Por tal motivo, en mayo de 2019 la SICT inició la planeación del programa para la evaluación de técnicas de conservación periódica, por medio de la aplicación y evaluación del desempeño de 8 tramos de prueba en la RFC, a través de la DGCC y la DGST, con la finalidad de evaluar los tratamientos para diferentes condiciones presentes en el país. Por lo que, se realizó la invitación a empresas que estuvieran interesadas en presentar a la SICT los diferentes productos y sistemas de aplicación que ofertan, a través de su evaluación en el primer tramo de prueba que se aplicó en la carretera Santa Rosa – La Barca, del km 37+000 al km 39+000...”

Una de las principales conclusiones de este estudio fue los grandes beneficios que presenta realizar sellado de grietas cuando se requiere, previo a la aplicación de cualquier otro tratamiento superficial, que coincide con los resultados reportados por el NCAT.

#### 2.2.2 Estudio de indicadores de desempeño de tratamientos superficiales

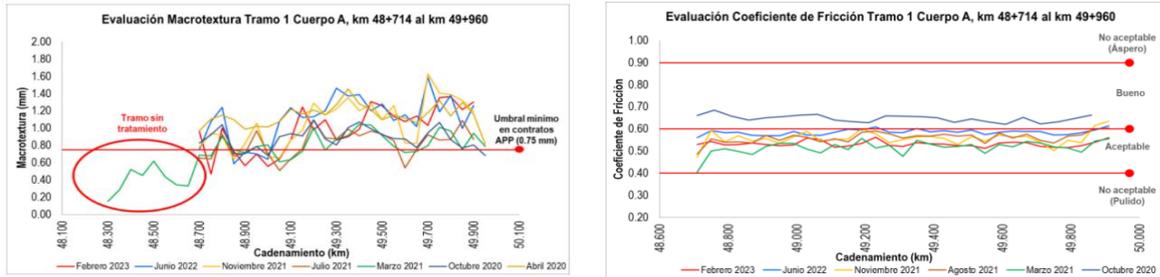
Estudios como el publicado en la revista Asfáltica de la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC) “Evaluación de Capas de Rodadura en Frío en Caminos y Carreteras de Altas Especificaciones en México con Distintas Condiciones de Tránsito y Clima” ha documentado el



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

desempeño en el tiempo, con el objetivo de poder medir la durabilidad en términos de estándares de desempeño como el coeficiente de fricción (CF) y macrotextura Superficial (MTX).

Las capas de rodadura (CR) que se evaluaron en esa investigación corresponden a los sistemas de macrocalafateo inducido con capa friccionante (MCI-F), CASAA en frío (CASAA-F) y riego de sello (RS). A continuación, se muestran algunas gráficas publicadas en dicho artículo que corresponden al monitoreo de coeficiente de fricción y macrotextura con equipo de fricción de rueda oblicua y perfilógrafo laser respectivamente.



Gráfica 1. Histórico de mediciones de un tramo en estudio con CASAA en frío

#### Comentario

*Estudios como los anteriores proporcionan información valiosa para comprender mejor el desempeño y la durabilidad de los tratamientos superficiales en México, y pueden servir de base o punto de partida para futuras investigaciones.*

### 3 Tratamientos superficiales utilizados en México

#### 3.1 Tipos de tratamientos superficiales utilizados en México y vidas útiles

En la tabla 1 se indican los tratamientos superficiales más utilizados en México, con sus vidas útiles de referencia.

TRATAMIENTO	VIDA ESPERADA (años)
• Riego de protección	1 a 3
• Sellado de grietas con emulsión	1 a 3
• Sellado de grietas con PMA	3 a 8
• Riego de arena	2 a 4
• Riego de sello sincronizado	3 a 7
• Riego de sello reforzado con fibras	3 a 7
• Microaglomerado en frío	3 a 7
• Sección mixta (Cape seal)	4 a 8
• CASAA (Capa Asfáltica superficial altamente adherida)	4 a 7
• SMA (Stone mastic asphalt)	5 a 9
• Open Graded (Graduación abierta)	7 a 10
• Open Graded (Graduación abierta)	4 a 8

Tabla 1. Tratamientos superficiales utilizados en México y vidas útiles de referencia



Riego de protección



Riego de sello sincronizado

Figura 3. Dos de los tratamientos superficiales utilizados en México

La experiencia en nuestro país nos muestra que la vida útil de un porcentaje considerable de los tratamientos superficiales se aproxima a la menor vidas esperada, principalmente por deficiencias en



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

la construcción, como equipos inadecuados, aplicaciones en condiciones ambientales adversas, deterioros severos del pavimento que afectan su desempeño y vida útil, falta de capacitación de los constructores, y deficiencias en las propiedades de los materiales asfálticos y pétreos.

Por lo anterior, debemos optimizar su desempeño y vida útil de manera consistente, transitando hacia la economía circular y sostenibilidad de los pavimentos, para desafiar con éxito los retos de: **Mitigar** el deterioro gradual de los pavimentos; Conservar de manera **Preventiva** y no reactiva; **Incrementar** la percepción de mejora del camino; **Gestionar** inversiones suficientes y sostenidas; realizar **Intervenciones** amigables con el medio ambiente; con un costo más efectivo de la conservación de nuestro sistema vial, que actualmente se ha complicado por la escasez actual de fondos destinados a este sector que es la columna vertebral del desarrollo del país.

### 3.2 Innovaciones en tratamientos superficiales en México

En pavimentos asfálticos el uso tecnologías de mayor ciclo de vida y menor impacto ambiental, con materiales reciclados, de mayor durabilidad y menor consumo energético, está contribuyendo a la economía circular y al beneficio ambiental. La sostenibilidad ambiental en pavimentos asfálticos se refiere a diseñar, construir y mantener carreteras de manera que minimicen su impacto ambiental y maximicen su durabilidad y eficiencia.

A continuación se muestran algunas innovaciones de uso reciente en México, que presentan un alto potencial de sostenibilidad y economía para los pavimentos por su beneficio-costo. En el caso del microaglomerado de granulometría discontinua (CASAA en frío) se pueden utilizar tasas de reciclado de hasta el 100%) con una excelente durabilidad de la fricción y macrotextura.

Microaglomerado de granulometría discontinua.- Consiste en una mezcla asfáltica de granulometría discontinua, compuesta por agregado fino, emulsión asfáltica de rompimiento controlado modificada con alta concentración de polímero (>6%), filler mineral, aditivos y agua, con alto coeficiente de fricción y macrotextura.

Macrocalafateo inducido (scrub seal).- Es aplicación de una capa de sellador asfáltico especial, que se escobilla con un dispositivo y posteriormente se cubre con una capa de material pétreo, para obtener una superficie con alta fricción y macrotextura. Se utiliza para corregir daños en el pavimento tales como; agrietamiento, desgranamiento, envejecimiento y pérdida de fricción.

Sellado de grietas.- El sellado de grietas extiende la vida útil del pavimento con el mejor costo-beneficio, reduciendo el desarrollo de baches y los costos asociados de repararlos. Sin sellado de grietas, el 75% de las grietas se transforman en baches en menos de 3 años, con el sellado de grietas el 1% de las grietas selladas se convierten en baches en menos de 3 años.



Microaglomerado de  
granulometría  
discontinua



Macrocalafateo inducido  
(Scrub Seal)



Sellado de grietas

Figura 4. Innovaciones recientes de tratamientos superficiales en México



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

#### 4 Influencia de los tratamientos superficiales en el ciclo de vida de los pavimentos asfálticos

El ciclo de vida del pavimento asfáltico (CVPA) incluye el diseño, construcción, operación, mantenimiento, y eventual rehabilitación o reconstrucción.

El análisis del ciclo de vida del pavimento asfáltico (ACVPA) es un método para evaluar los impactos ambientales asociados con todas las etapas de la vida del pavimento, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final y eventual reciclado. El ACVPA ayuda a entender y reducir el impacto ambiental total del pavimento.

El análisis del costo del ciclo de vida del pavimento (ACCVP) es el proceso que se utiliza para evaluar el costo total de un pavimento a lo largo de su vida útil y entre diferentes alternativas. Esto incluye los costos iniciales de construcción, así como los costos futuros de operación, mantenimiento, reparación y rehabilitación. Su objetivo es identificar la opción más rentable a largo plazo (mayor beneficio a menor costo) teniendo en cuenta no solo los costos directos sino también los indirectos, como los retrasos en el tráfico (costos del usuario) y el impacto ambiental.

##### 4.1 Comparativa de consumo energético y emisión de gases de efecto invernadero (EGEI)

Para entender mejor el impacto del consumo energético y la EGEI, de las intervenciones de conservación comparadas con el impacto del tránsito vehicular, a continuación ponemos un ejemplo práctico, con los datos del corredor de transporte México-Nuevo Laredo del estudio realizado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) indicados en la Tabla 2.

De las tablas 3 y 4 se tomaron los valores de los tratamientos de conservación que se utilizaron en la tabla 5. Los valores de estas tablas incluyen las etapas de producción de los materiales asfálticos y materiales pétreos, la producción de la mezcla, el transporte y la colocación.

En la Tabla 5 se puede observar que el consumo energético y la EGEI debidos a los tratamientos de conservación son sustancialmente menores que los del tránsito vehicular, y a su vez los de los tratamientos superficiales son sensiblemente menores que los de una carpeta asfáltica. Por lo que para lograr el objetivo de disminución del impacto ambiental por estos conceptos, se debe realizar un enfoque de solución integral, utilizando vehículos de transporte y tratamientos de conservación más eficientes.

Variable	Corredor de Transporte				
	México-Nuevo Laredo	México-Cd. Juárez	México-Nogales	Manzanillo-Guadalajara	México-Veracruz
Longitud (Km)	1155.61	2003.14	2437.46	276.24	389.16
Longitud Analizada (Ambos Sentidos Km)	2279.02	3656.52	4484.07	552.48	778.32
Emissiones de CO <sub>2</sub> (Tons x día)	11562.65	9261.34	7819.74	1097.54	2851.22
Gramos x Veh. / Kilómetro	1119.4	950.4	996.7	1068.9	1047.4

Tabla 4.1 Emisiones de CO<sub>2</sub> Toneladas/kilómetro (diarias)

Variable	Corredor de Transporte				
	México-Nuevo Laredo	México-Cd. Juárez	México-Nogales	Manzanillo-Guadalajara	México-Veracruz
Ton / Kilómetro	10.01	4.62	3.21	3.97	7.33

Tabla 4.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> Gramos x Vehículo / Kilómetro

Variable	Corredor de Transporte				
	México-Nuevo Laredo	México-Cd. Juárez	México-Nogales	Manzanillo-Guadalajara	México-Veracruz
Gramos x Veh. / Kilómetro	1119.4	950.4	996.7	1068.9	1047.4

Tabla 2. Emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en corredores carreteros de México



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

TREATMENT	DETAILS	ENERGY USE		GHG EMISSIONS	
NT		BTU/yd <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	lb/yd <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
Hot Mix Asphalt	Thickness 1.5" (3.8 cm)	46,300	59	9.0	4.9
	Thickness 2.0" (5.0 cm)	61,500	77	12.3	6.7
Hot In-place Recycling (HIR)	Thickness 1.5" (3.8 cm) 50/50 Recycle/New	38,700	49	7.0	3.8
	Thickness 2.0" (5.0 cm) 50/50 Recycle/New	51,300	65	9.0	4.9
Chip Seal	Emulsion 0.44 g/yd <sup>2</sup> (2.0 L/m <sup>2</sup> ) Aggregate 38 lb/yd <sup>2</sup> (21 kg/m <sup>2</sup> )	7,030	8.9	0.9	0.5
	Emulsion 0.35 g/yd <sup>2</sup> (1.6 L/m <sup>2</sup> ) Aggregate 28 lb/yd <sup>2</sup> (15 kg/m <sup>2</sup> )	5,130	6.5	0.7	0.4
Slurry Seal / Micro-surfacing	Type III, 12% Emulsion, 24 lb/yd <sup>2</sup> (13 kg/m <sup>2</sup> )	5,130	6.5	0.6	0.3
	Type II, 14% Emulsion, 16 lb/yd <sup>2</sup> (8.7 kg/m <sup>2</sup> )	3,870	4.9	0.4	0.2
Crack Seal	1 lin.ft./yd <sup>2</sup> (0.37m/m <sup>2</sup> ), 0.25 lb/ft (0.37 kg/m)	870	1.1	0.14	0.08
Crack Fill	2 lin.ft./yd <sup>2</sup> (0.74 m/m <sup>2</sup> ), 0.50 lb/ft (0.74 kg/m)	1,860	2.0	0.25	0.14
Fog Seal	0.05 gal/yd <sup>2</sup> (0.23 L/m <sup>2</sup> ), 50/50 Diluted Emulsion	250	0.4	0.04	0.02
	0.10 gal/yd <sup>2</sup> (0.46 L/m <sup>2</sup> ), 50/50 Diluted Emulsion	500	0.8	0.07	0.04
	0.15 gal/yd <sup>2</sup> (0.69 L/m <sup>2</sup> ), 50/50 Diluted Emulsion	750	1.2	0.12	0.07

Tabla 3. Energía total utilizada y EGEl para Tratamientos de preservación de pavimentos

Treatment	Details	Pavement Life Extension (years)	Energy Use per Year		GHG Emissions per Year	
			BTU/yd <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	lb/yd <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
Hot Mix Asphalt	Thickness .5" (3.8 cm)	5 - 10	4,660 - 9,320	5.9 - 11.8	0.9 - 1.8	0.5 - 1.0
	Thickness 2.0" (5.0 cm)	5 - 10	6,080 - 12,160	7.7 - 15.4	1.2 - 2.4	0.7 - 1.3
Hot In-place Recycling	Thickness 1.5" (3.8 cm) 50/50 Recycle/New	5 - 10	3,870 - 7,740	4.9 - 9.8	0.7 - 1.4	0.4 - 0.8
	Thickness 2.0" (5.0 cm) 50/50 Recycle/New	5 - 10	5,130 - 10,260	6.5 - 13.0	0.9 - 1.5	0.5 - 1.0
Chip Seal	Emulsion 0.44 g/yd <sup>2</sup> (2.0 L/m <sup>2</sup> ) Aggregate 38 lb/yd <sup>2</sup> (21 kg/m <sup>2</sup> )	3 - 6	1,170 - 2,340	1.5 - 3.0	0.15 - 0.3	0.08 - 0.10
	Emulsion 0.35 g/yd <sup>2</sup> (1.6 L/m <sup>2</sup> ) Aggregate 28 lb/yd <sup>2</sup> (15 kg/m <sup>2</sup> )	2 - 5	1,026 - 2,565	1.3 - 3.3	0.14 - 0.35	0.08 - 0.2
Slurry Seal / Micro-surfacing	Type III, 12% Emulsion, 24 lb/yd <sup>2</sup> (13 kg/m <sup>2</sup> )	3 - 5	1,026 - 1,710	1.3 - 2.2	0.12 - 0.2	0.06 - 0.10
	Type II, 14% Emulsion, 16 lb/yd <sup>2</sup> (8.7 kg/m <sup>2</sup> )	2 - 4	968 - 1,935	1.2 - 2.4	0.10 - 0.20	0.05 - 0.10
Crack Seal	1 lin.ft./yd <sup>2</sup> (0.37m/m <sup>2</sup> ), 0.25 lb/ft (0.37 kg/m)	1 - 3	290 - 870	0.4 - 1.1	0.05 - 0.14	0.03 - 0.08
Crack Fill	2 lin.ft./yd <sup>2</sup> (0.74 m/m <sup>2</sup> ), 0.50 lb/ft (0.74 kg/m)	1 - 2	930 - 1,860	1.0 - 2.0	0.13 - 0.25	0.07 - 0.14

Tabla 4. Energía total utilizada y EGEl, por año, para Tratamientos de preservación

Corredor México-EJEMPLO: Laredo										
Ancho de la carretera										
CONSIDERACIONES: (m/sentido):		10.5	Emisiones CO2 (transporte de carga) t/km/día:		10.01					
Longitud analizada (m):		1000	Emisiones CO2 (transporte total) t/km/día:		13.35					
VARIABLE	LONGITUD ANALIZADA (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m2)	VIDA UTIL (años)	CONSUMO DE ENERGIA (Mj/m2)	EMISIONES CO2 (kg/m2)	CONSUMO DE ENERGIA (Mj/km/año)	EMISIONES CO2 (t/km/año)	% DEL CONSUMO DE ENERGIA	% DE LAS EMISIONES VEHICULARES
Emisiones vehiculares	(1)	1000					26,280,000	4871.5	100.00	100.00
Carpeta asfáltica e=5cm	(2)	1000	10.5	10500	5	77	161700	14.1	0.62	0.29
Sellado de grietas	(2)	1000	10.5	10500	5	1.9	3990	0.3	0.02	0.01
Riego de sello (1.6 l/m2)	(2)	1000	10.5	10500	3	6.5	22750	1.4	0.09	0.03
Microaglomerado (2.0 l/m2)	(2)	1000	10.5	10500	3	6.5	22750	1.1	0.09	0.02
NOTAS:										
(1) IMT Publicación técnica Núm. 400 (2014). Se estimó que las emisiones del transporte de carga son un 75% del total del transporte (vehículos) que circulan por el corredor.										
Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete Pavements										
(2) (paper 65)										
26,280,000 Valor estimado VC										

Tabla 5. Consumo energético y EGEl, de tratamientos de conservación vs Tránsito vehicular

Para poner en perspectiva la intensidad de emisiones de referencia de **53,7 kg CO2e/tonelada** emitidas en la producción de una mezcla asfáltica, un vehículo de pasajeros típico emite alrededor de **4.3 toneladas métricas de gases de efecto invernadero (EGEl)** por año. Recomendado aproximadamente **20,000**

km/año. Eso significa que la producción de aproximadamente **85 toneladas** (alrededor de 4 camiones de 14m<sup>3</sup> de mezcla Asfáltica) produce emisiones anuales equivalentes a un vehículo de pasajeros en alternativas de conservación de pavimentos asfálticos, para el corredor México - Nuevo Laredo.



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

estudio, con dos de los más importantes conceptos que son el costo de las intervenciones de conservación y el impacto ambiental, sin dejar de reiterar la importancia de incluir en los análisis completos todos los costos involucrados, como operación y retrasos del usuario.

Se hace la comparativa de costos, vida útil, consumo energético y EGEI (emisiones de dióxido de carbono) entre dos diferentes planes de conservación de pavimento asfáltico, Plan 1: Fresado y carpeta asfáltica, en tres intervenciones: Plan 2: Fresado y carpeta, en una intervención + tres intervenciones de tratamientos superficiales.

Se observa que durante el total del periodo considerado de ciclo de vida, el plan de conservación más favorable en economía, con menor desperdicio energético y menor impacto ambiental, es el de fresado y carpeta + tratamientos superficiales; poniéndose de manifiesto los beneficios de los tratamientos superficiales. Las vidas útiles consideradas corresponden a condiciones críticas estimadas por los autores en base a su experiencia, considerando lo mencionado en el apartado 3.1

#### 4.3.1 Calculadora del costo del ciclo de vida

En este análisis mostrado en la tabla 5, la comparativa de costos muestra como el plan 2 con el uso de tratamientos superficiales es el que proporciona la mejor economía en el ciclo de vida analizado, representando un ahorro de 24% con respecto al plan 1 y una mayor calidad funcional, con alto coeficiente de fricción y macrotextura (ver figura 2) que no se obtienen con las carpetas asfálticas, lo que se traduce en mayor economía (menores costos de operación) y seguridad para los usuarios de la vía.

Plan 1.- Convencional con carpeta asfáltica				Plan 2.- Con tratamientos superficiales					
Año de la intervención	Tipo de Tratamiento	Costo en Pesos Constante/m2	Costo Futuro/m2	Valor Presente/m2	Año de la intervención	Tipo de Tratamiento	Costo en Pesos Constante/m2	Costo Futuro/m2	Valor Presente/m2
0	Fresado y Carpeta (5cm HMA Incluye liga)	\$270.00	\$270.00	\$270.00	0	Fresado y Carpeta (5cm HMA Incluye liga)	\$270.00	\$270.00	\$270.00
5	Fresado y Carpeta (5cm HMA Incluye liga)	\$270.00	\$338.89	\$201.12	3	Sellado de grietas	\$15.00	\$17.19	\$12.57
10	Fresado y Carpeta (5cm HMA Incluye liga)	\$270.00	\$425.36	\$149.80	3	Microaglomerado - Capa Sencilla	\$80.00	\$91.69	\$67.04
					7	Sellado de grietas	\$20.00	\$27.49	\$13.24
					7	Microaglomerado - Capa Sencilla	\$80.00	\$109.97	\$52.97
					10	Sellado de grietas	\$20.00	\$31.51	\$11.10
					10	Microaglomerado - Capa Sencilla	\$80.00	\$126.03	\$44.39
		\$810.00	\$1,034.25	\$620.92			\$565.00	\$673.88	\$471.30
Valor Presente Neto:		\$620.92 / m2			Valor Presente CTCVPA/km:		\$471.30 / m2		
Costo Total del Ciclo de Vida/km:		\$6,519,662.75					\$4,948,678		
Ahorro Total (Estrategia con tratamientos superficiales)/km:		\$1,570,984		24%					

Tabla 5. Calculadora de costo de ciclo de vida

#### 4.3.2 Calculadora de consumo energético y EGEI

En el análisis de la tabla 6 se aprecia una disminución sustancial del impacto ambiental utilizando la estrategia de conservación del plan 2 (carpeta asfáltica+tratamientos superficiales) con un 57% de ahorro en consumo energético y 61% en EGEI, respecto al plan 1 con carpetas asfálticas. Colateralmente se suma un ahorro de entre 8 y 13% por vehículo de transporte, debido a una buena regularidad superficial, comparado con una mala regularidad, como se indica en el apartado 2.1.4



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

**Calculadora de EGEI y consumo energético**

Dependencia:	
Longitud Total (m)	1,000
Ancho (m)	10.50

Nota: Los valores incluyen las etapas de producción de los materiales (ligante asfáltico y agregados), la producción de la mezcla, el transporte y la colocación.

Plan 1.- convencional con carpeta asfáltica				Plan 2.- con tratamientos superficiales			
Año de la	Tipo de Tratamiento	Consumo de	Emisiones	Año de la	Tipo de Tratamiento	Consumo de	Emisiones
0	Fresado y Carpeta (5cm HMA Incluye liga)	77.00	6.70	0	Fresado y Carpeta (5cm HMA Incluye liga)	77.00	6.70
5	Fresado y Carpeta (5cm HMA Incluye liga)	77.00	6.70	3	Sellado de grietas	1.70	0.12
10	Fresado y Carpeta (5cm HMA Incluye liga)	77.00	6.70	7	Microglomerado - Capa Sencilla	6.50	0.30
				10	Sellado de grietas	1.90	0.14
				7	Microglomerado - Capa Sencilla	6.50	0.30
				10	Microglomerado - Capa Sencilla	6.50	0.30
231.00				20.10			
100.10				7.86			

		Porcentaje de ahorro con plan 2:	
Ahorro en consumo energético (MJ/m <sup>2</sup> /km):	1374450		57%
Ahorro en emisiones de GEI (Kg/m <sup>2</sup> /km)	128520		61%

Tabla 6. Calculadora de consumo energético y EGEI

## 5 Conclusiones

Queda claro que la preservación adecuada del pavimento es esencial para garantizar su durabilidad y sostenibilidad a largo plazo. Los tratamientos superficiales se han identificado como herramientas clave en este proceso, ya que proporcionan una estrategia rentable para extender el ciclo de vida del pavimento con menor costo y menor impacto ambiental. Lo anterior se logra por el uso de materiales reciclados (RAP), menor consumo energético, disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, intervenciones de conservación más eficientes, procedimientos y equipos de construcción adecuados.

Los estudios demuestran consistentemente que la aplicación oportuna de estos tratamientos puede ofrecer una serie de beneficios significativos, incluyendo la reducción de costos de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del pavimento, la mejora de la seguridad vial al aumentar la fricción y la resistencia al deslizamiento, y la protección del medio ambiente al minimizar el uso de materiales y energía.

Destaca la importancia de seleccionar el tratamiento adecuado en función del tipo y grado de deterioro del pavimento, así como de implementarlo en el momento óptimo para maximizar su efectividad y rentabilidad. Esto subraya la necesidad de una gestión integral del pavimento que incluya la recopilación y análisis de datos precisos para informar decisiones de preservación basadas en evidencia.

Los tratamientos superficiales ofrecen una solución versátil y efectiva para la conservación de carreteras, que no solo mejora la infraestructura vial, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y económica a largo plazo. Estos hallazgos resaltan la importancia de continuar investigando y promoviendo el uso de tratamientos superficiales como parte integral de la gestión de pavimentos en todo el mundo.

Determinar la estrategia del tratamiento de superficie más rentable para un proyecto determinado, requiere una comprensión profunda de los beneficios, las limitaciones, el desempeño y los costos asociados de cada estrategia de tratamiento viable, e identificar información comprobada que podría ser valiosa en la consideración del análisis costo-beneficio del ciclo de vida futuro.



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

## 6. Referencias

- [1] Presentación AMAAC para SICT (2020). Desempeño de técnicas de conservación en tramos de prueba NCAT, Vargas, A.
- [2] NCAT. Technology, N. C. (s.f.). [eng.auburn.edu/research/centers/ncat/testtrack/preservation/index.html](http://eng.auburn.edu/research/centers/ncat/testtrack/preservation/index.html). Obtenido de [eng.auburn.edu/research/centers/ncat/](http://eng.auburn.edu/research/centers/ncat/).
- [3] Wakefield, A. (2023). Preservation equals sustainability of asphalt pavements. *Asphalt the magazine of Asphalt Institute* 38(1), págs. 34-37.
- [4] Natalia Zúñiga García y Jorge A. Prozzi Universidad de Texas en Austin, E. U. (Tercer trimestre de 2018). Análisis probabilístico del costo del ciclo. *Asfalto y Pavimentación*, VIII(30).
- [5] Amador-Jiménez, L (2015). Pavement Management: Capturing Surface. *The 3rd International Conference on Transportation Information and Safety*, 10-19.
- [6] Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) (2016). *Conservar las carreteras de su país para fomentar el desarrollo*
- [7] Ramos, F., Serment, V., Fernández, S., Mares, M., Lopez, B., Campos, E., Ruiz, A. (2022) Evaluación de diferentes tratamientos superficiales a través del desempeño presentado en la carretera Santa Rosa-La Barca.
- [8] Martínez, R., Ávila, E. (2023). Evaluación de capas de rodadura en frío en caminos y carreteras de altas especificaciones en México con distintas condiciones de tránsito y clima. *XII Congreso Mexicano al Asfalto AMAAC*.
- [9] Mendoza, J., Cortez, A. (2014). Inventario de emisiones en los principales corredores de transporte carretero en México. Publicación técnica 400.
- [10] Energy Usage and greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete Pavements (paper 65)
- [11] PPRA.- Pavement life cycle cost analysis calculator.