



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

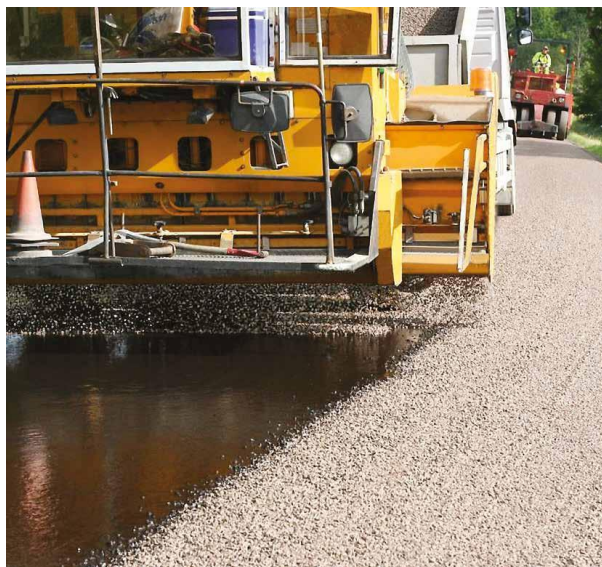
Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Revisión bibliográfica

Emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales



Preparado por:

**Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte
Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)**

Documento generado con base en el Art. 6, inciso b) de la Ley 8114 y lo señalado en el
Capít.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto
DE-37016-MOPT.

San José, Costa Rica
Agosto, 2022



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 2 de 67

1. Informe: EIC-Lanamme-INF-1003-2022		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales		4. Fecha del Informe 11 de agosto de 2022
5. Organización y dirección: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500		
6. Notas complementarias		
7. Resumen <i>El tratamiento superficial es una técnica para la preservación de pavimentos que consiste en la aplicación de un riego uniforme de emulsión asfáltica sobre la cual se coloca una capa de agregados de igual tamaño. Su función principal es impermeabilizar la estructura del pavimento y brindar una superficie de rueda resistente al deslizamiento. La viscosidad de la emulsión asfáltica es un factor importante en el desempeño del tratamiento superficial ya que debe ser lo suficientemente fluida para que permita su bombeo y riego, pero a la vez lo suficientemente viscosa para que los agregados queden firmemente embebidos y la emulsión no se escurra por la pendiente o bombeo de la carretera. Las emulsiones asfálticas que cumplen con estas características son consideradas de alta viscosidad. Sin embargo, en Costa Rica no se cuenta con este tipo de emulsiones y las intervenciones mediante tratamientos superficiales se han colocado con emulsiones de baja viscosidad. La siguiente investigación tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre las emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales y cómo estas se podrían desarrollar en el laboratorio. Esto proporcionará insumos para una propuesta de investigación sobre el desarrollo de emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales, cuyos productos servirán a la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) en la producción de este tipo de emulsiones asfálticas. El tener tratamientos superficiales de alto desempeño implicará caminos más durables y en mejores condiciones para los usuarios.</i>		
8. Palabras clave Tratamiento superficial, emulsión asfáltica, alta viscosidad.	9. Nivel de seguridad: No aplica	10. Núm. de páginas 67



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 3 de 67

11. Elaborado:		
Ing. Juan Carlos Múnera Miranda		
Fecha: 11/08/2022	Fecha: / /	Fecha: / /
12. Revisado por:	13. Revisión Legal:	14. Aprobado por:
Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA		Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M. Sc
Fecha: 11/08/2022	Fecha: / /	Fecha: 11/08/2022



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	7
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
JUSTIFICACIÓN	9
ANTECEDENTES	10
MARCO TEÓRICO.....	12
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	12
VENTAJAS	14
DESVENTAJAS	14
FACTORES QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL.....	15
COMPONENTES DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL.....	15
AGREGADOS	16
EMULSIÓN ASFÁLTICA	18
CONSIDERACIONES EN LA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	20
CARGA ELÉCTRICA.....	20
ROMPIMIENTO	20
GRADO DE VISCOSIDAD.....	21
TASA DE APLICACIÓN	21
EMULSIONES DE ALTA FLOTABILIDAD.....	22
EMULSIONES MODIFICADAS	22
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS NACIONALES	24
PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	29
DETERIOROS EN LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	30
EXUDACIÓN.....	30
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADO	31
FORMULACIÓN, COMPOSICIÓN Y MECÁNICA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS DE ALTA VISCOSIDAD	33
RELACIÓN AGUA-ASFALTO.....	33



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 5 de 67

<i>VISCOSIDAD DEL ASFALTO.....</i>	<i>34</i>
<i>TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS.....</i>	<i>34</i>
<i>TIPO Y CANTIDAD DE AGENTE SURFACTANTE</i>	<i>37</i>
<i>TEMPERATURA DE EMULSIFICACIÓN.....</i>	<i>39</i>
<i>PRESENCIA DE SAL EN EL ASFALTO</i>	<i>40</i>
<i>ADITIVOS</i>	<i>41</i>
ENSAYOS DE DESEMPEÑO DE LABORATORIO PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	42
<i>ENSAYOS DE DESEMPEÑO EN EL SISTEMA AGREGADO-LIGANTE ASFÁLTICO</i>	<i>44</i>
<i>ENSAYOS DE DESEMPEÑO EN LA EMULSIÓN ASFÁLTICA</i>	<i>46</i>
<i>ENSAYOS DE DESEMPEÑO EN EL RESIDUO ASFÁLTICO.....</i>	<i>48</i>
EXPERIENCIA EN LANAMMEUCR EN EL DISEÑO DE EMULSIONES DE ALTA VISCOSIDAD	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tratamiento superficial.....	13
Figura 2. Agregado retenido ensayo de barrido (a) y Vialit (b) para emulsiones asfálticas sin y con látex.....	24
Figura 3. Proceso de construcción de un tratamiento superficial: a) distribución de emulsión, b) distribución de agregado, c) barrido y d) compactación.	29
Figura 4. Deterioros en tratamientos superficiales	30
Figura 5. Deterioros en tratamientos superficiales: a) exudación y b) desprendimiento de agregado	31
Figura 6. Viscosidad de la emulsión como función de la velocidad de flujo a diferentes contenidos de asfalto.....	36
Figura 7. Efecto del uso de diferentes emulsificantes en la viscosidad de la emulsión asfáltica.	38
Figura 8. Efecto de agentes peptizantes en la viscosidad de la emulsión asfáltica	41



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 6 de 67

Figura 9. Estrategias para aumentar la viscosidad de la emulsión asfáltica	42
Figura 10. Ensayos para especificación por grado de desempeño de emulsiones asfálticas	44
Figura 11. Resultados típicos de ensayo de corte a tres pasos con viscosímetro rotacional	47
Figura 12. Equipos para ensayos de desempeño en tratamientos superficiales: (a) BBS, (b) Vialit, (c) barrido (c), viscosímetro rotacional (d), probetas de estabilidad (e) y reómetro de corte dinámico (f)	49
Figura 13. Resultados de ensayo de barrido para tratamientos superficial de doble capa	56
Figura 14. Resultados de ensayo de Vialit	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos granulométricos para tratamientos superficiales	17
Tabla 2. Requisitos de fractura y abrasión para tratamientos superficiales	18
Tabla 3. Emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales.....	19
Tabla 4. Especificaciones granulométricas para tratamientos superficiales simples y multicapa (Tabla 702.15 CR-2020)	25
Tabla 5. Especificaciones para los agregados de tratamientos superficiales (Tabla 703-14 CR-2020)	26
Tabla 6. Especificaciones para emulsión asfáltica catiónica (Tabla 702-08 CR-2020)	27
Tabla 7. Especificaciones para la emulsión modificada con polímero para tratamientos superficiales (Tabla 702.09 CR-2020).....	28
Tabla 8. Deterioros y malas prácticas en tratamientos superficiales de Costa Rica	32
Tabla 9. Emulsificantes para emulsiones de alta viscosidad	37
Tabla 10. Temperatura de equiviscosidad para asfaltos comunes	39
Tabla 11. Métodos de ensayo para evaluar el desempeño de tratamientos superficiales	50
Tabla 12. Especificaciones por grado de desempeño para tratamientos superficiales	51
Tabla 13. Formulación de emulsión CRS-2.....	55
Tabla 14. Caracterización de emulsión CRS-2.....	55



RESUMEN EJECUTIVO

El tratamiento superficial es una técnica para la preservación de pavimentos que consiste en la aplicación de un riego uniforme de emulsión asfáltica sobre la cual se coloca una capa de agregados de igual tamaño. Su función principal es impermeabilizar la estructura del pavimento y brindar una superficie de ruedo resistente al deslizamiento. La viscosidad de la emulsión asfáltica es un factor importante en el desempeño del tratamiento superficial ya que debe ser lo suficientemente fluida para que permita su bombeo y riego, pero a la vez lo suficientemente viscosa para que los agregados queden firmemente embebidos y la emulsión no se escurra por la pendiente o bombeo de la carretera. Las emulsiones asfálticas que cumplen con estas características son consideradas de alta viscosidad. Sin embargo, en Costa Rica no se cuenta con este tipo de emulsiones y las intervenciones mediante tratamientos superficiales se han colocado con emulsiones de baja viscosidad.

La siguiente investigación tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre las emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales y cómo estas se podrían desarrollar en el laboratorio. Esto proporcionará insumos para una propuesta de investigación sobre el desarrollo de emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales, cuyos productos servirán de insumo a Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) en la producción de este tipo de emulsiones asfálticas. Tener tratamientos superficiales de alto desempeño implicará caminos más durables y mejores condiciones de rodadura para los usuarios.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento superficial es una solución para la preservación de pavimentos que tiene como objetivo principal proveer una superficie de ruedo impermeable con características antideslizantes. Este tipo de sello asfáltico consiste en la aplicación de una capa uniforme emulsión asfáltica sobre la superficie a tratar, que luego es cubierta por una capa de agregados de tamaño uniforme. El tratamiento puede ser de una o hasta tres capas de emulsión asfáltica y agregado. La técnica tiene como principales beneficios proteger la



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 8 de 67

superficie el pavimento de los agentes climáticos, impermeabilizar la superficie de ruedo, proceso y uso de equipo de construcción básicos, intervenciones de menor costo y ambientalmente más sostenibles (consumo de energía y gases efecto invernadero).

Para que el tratamiento superficial tenga el desempeño esperado, aparte de las buenas prácticas constructivas, los materiales deben cumplir con ciertas características, por ejemplo, los agregados deben tener una granulometría uniforme, estar limpios, ser resistentes y ser afines a la emulsión asfáltica, entre otros aspectos. A su vez la emulsión asfáltica debe ser lo suficientemente fluida para el bombeo y riego sobre la superficie a tratar durante la construcción y, por otro, tener una viscosidad elevada donde el agregado quede embebido y adherido, ayudando con ello, a evitar el escurrimiento por la pendiente longitudinal y transversal de la superficie. Además, debe brindar una elevada impermeabilidad a la superficie sobre la que se aplica, romper rápido para la pronta apertura al tráfico vehicular y ser durable. Por estas razones, las emulsiones asfálticas que se recomiendan para los tratamientos superficiales son de rompimiento rápido de alta viscosidad. Sin embargo, en Costa Rica por muchos años, por la falta de disponibilidad en el mercado nacional, se han utilizado las emulsiones asfálticas catiónicas de rompimiento rápido de baja viscosidad, lo que se considera afecta el desempeño y durabilidad de los tratamientos superficiales debido principalmente a la dificultad de que las partículas de agregado se recubran 2/3 partes dentro de la emulsión por fluidas y de poco espesor.

La siguiente investigación tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre las emulsiones asfálticas de alta viscosidad y cómo estas deben de ser formuladas y fabricadas en el laboratorio. Esto servirá como insumo en una propuesta de investigación sobre el desarrollo de emulsiones de alta viscosidad para tratamientos superficiales y la posterior valoración de su desempeño, cuyos productos proporcionarán información valiosa para que, de ser factible, RECOPE produzca este tipo de emulsiones asfálticas que vendrían a mejorar sustancialmente la aplicación de los tratamientos superficiales en el país. Una mejor implementación de los tratamientos superficiales impacta la eficiencia en la inversión de los recursos, aumentando la vida útil de las inversiones al utilizar técnicas duraderas y



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 9 de 67

de menor costo, mejores condiciones de ruedo durante todo el año, menores costos de mantenimiento y reducción de costos de operación, así como un impacto en la salud de las poblaciones al reducir la emisión de polvo cuando son utilizadas como capas de ruedo en rutas no pavimentadas en condiciones adecuadas para su uso.

OBJETIVO GENERAL

Describir mediante una revisión bibliográfica en qué consisten las emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales y cómo se podrían desarrollar en el laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Señalar las principales características y especificaciones técnicas de las emulsiones asfálticas de alta viscosidad, así como los agregados para tratamientos superficiales.
2. Reconocer los principales factores que afectan la formulación, composición y mecánica de las emulsiones asfálticas de alta viscosidad.
3. Describir los ensayos para evaluar el desempeño de las emulsiones de alta viscosidad y tratamientos superficiales que contemplen sus principales modos de falla o deterioros.

JUSTIFICACIÓN

En Costa Rica el tratamiento superficial es una técnica para la preservación de pavimentos que se ha venido implementando en caminos de bajo a mediano tráfico vehicular para proveer una superficie de ruedo impermeable que proteja el pavimento y sea resistente al deslizamiento. Para que el tratamiento superficial tenga un adecuado desempeño, es decir, que el agregado no se desprenda por el paso de vehículos y el riego de emulsión asfáltica no se escurra por la pendiente longitudinal ni transversal del camino, se requiere que la emulsión sea de rompimiento rápido de alta viscosidad. Con este tipo de emulsión asfáltica el agregado va a quedar embebido firmemente, generando una mayor adhesión. Si bien la aplicación se ha implementado, la emulsión asfáltica que se utiliza actualmente para los



tratamientos superficiales es de baja viscosidad, lo cual deriva en las implicaciones antes mencionadas que afectan la durabilidad y economía de la técnica.

A nivel de normativa nacional, el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2020) en su Sección 411 “Tratamientos superficiales asfálticos” señala que para los tratamientos superficiales la emulsión asfáltica deberá ser de rompimiento rápido, de alta viscosidad (MOPT, 2022). Sin embargo, en el país únicamente se cuenta con emulsiones asfálticas: catiónicas de rompimiento lento y rápido, ambas de baja viscosidad. Tomando en cuenta que el uso de tratamientos superficiales ha demostrado ser un tipo de intervención eficiente, se considera necesario optimizar el tipo de emulsiones para su uso en tratamientos superficiales, valorar y cuantificar los beneficios obtenidos en los tratamientos superficiales con el objetivo de mejorar el desempeño y durabilidad de los pavimentos.

El propósito de la investigación es generar el marco teórico necesario para entender qué son las emulsiones asfálticas de alta viscosidad y cómo se podrían implementar a escala de laboratorio. La información recabada servirá de insumo para una propuesta de investigación para el desarrollo de emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales. Los productos que se generen con la propuesta de investigación proporcionarán información valiosa, para la producción de este tipo de emulsiones en el país y poder potenciar esta técnica mediante la mejora en el desempeño, la eficiencia en la inversión de los recursos, el uso de técnicas ambientalmente más amigables, acceso a más proveedores del servicio (pequeñas y medianas empresas), impacto en la salud de la población y mitigación de los deterioros.

ANTECEDENTES

Sittenfeld (1979) determinó que las cantidades de agregado y emulsión asfáltica que debían utilizarse de acuerdo con el manual CR-77 eran más elevadas en comparación con las obtenidas por el Método Australiano. Por otra parte, observó que la dosificación de emulsión



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 11 de 67

asfáltica en un mismo proyecto era variable, lo cual era un factor que incidía en el mal desempeño de los tratamientos superficiales en ese momento en el país.

Pintor (1985) analizó las emulsiones asfálticas que se empleaban en ese periodo de tiempo para los tratamientos superficiales en Costa Rica, en su investigación cuestiona la calidad de emulsiones asfálticas disponibles y señala que la razón por la cual los tratamientos superficiales no tienen un buen desempeño radica en las características reológicas y fisicoquímicas que tienen las emulsiones empleadas. Se reportó que un 23 % de las emulsiones muestreadas tenían una viscosidad muy baja, afuera de los límites de especificación. En ese entonces se producían en el mercado nacional emulsiones asfálticas CRS-1, RS-1, SS-1 y SS-1h.

A raíz del mal desempeño que se ha observado en las rutas con superficie expuesta (rutas de lastre), el PITRA (2017) planteó el uso de tratamientos superficiales como alternativa en el mantenimiento de rutas secundarias y terciarias del país.

En los últimos años se ha dado un aumento en la construcción de obras viales nacionales y cantonales, lo cual ha representado un aumento en la producción de emulsiones asfálticas. Entre los años 2013 y 2018 se duplicó la producción de 45 758 barriles a 92 878 barriles (RECOPE, 2019). En esta coyuntura RECOPE decide instalar una nueva planta de emulsiones asfálticas con capacidad ampliada, en el Plantel de El Alto en Ochomogo, la cual inaugura y pone en operación en el año 2020. La nueva planta, aparte de ampliar su capacidad de producción y almacenamiento, está diseñada para fabricar emulsiones modificadas con polímero, lo cual abre un abanico amplio de tipos de emulsiones asfálticas que se podrían aplicar en el país. De ahí que RECOPE, en los últimos dos años, ha mostrado interés en diseñar y fabricar nuevos tipos emulsiones asfálticas, en especial las modificadas con polímero para mejorar su desempeño.

La red vial nacional de Costa Rica está compuesta por 8 091 km entre rutas pavimentadas, con capas de protección superficial y no pavimentadas. El 14,31 % de estas rutas tienen como superficie de ruedo un tratamiento superficial múltiple y el 0,25 % un tratamiento



superficial simple. Este tipo de superficie está dentro de la nueva clasificación que implementa Planificación Sectorial de MOPT. No obstante, su construcción y mantenimiento se encuentra contemplado dentro de los contratos de mantenimiento de la red vial nacional pavimentada. Los tratamientos superficiales brindan una condición de ruedo superior a una ruta de lastre, pero son superficies de poca durabilidad, que corren el riesgo de ser atendidos con actividades inapropiadas de mantenimiento (LanammeUCR, 2022).

En marzo del 2022 se oficializa la actualización del “Manual de Especificaciones General para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR 2020” y en su Sección 411 “Tratamientos superficiales asfálticos” se da un cambio muy importante en cuanto el tipo de emulsiones asfálticas que se pueden aplicar en los tratamientos superficiales, se exige que sea de rompimiento rápido de alta viscosidad sin o con polímero (MOPT, 2022).

MARCO TEÓRICO

Tratamientos superficiales

Un tratamiento superficial (TS) simple es esencialmente el riego de una capa emulsión asfáltica sobre la superficie a tratar, que inmediatamente es cubierta por una capa de agregado de tamaño uniforme, con el objetivo principal de impermeabilizar el pavimento y brindar una superficie resistente al deslizamiento (Figura 1) (Kroger & Kroger, 2020). Cuando más de una capa de emulsión asfáltica y agregado se aplican, se utiliza el término de tratamiento superficial doble o triple. Los tratamientos superficiales se originaron en la década de 1920 (Hinkle, 1928). Estos primeros usos fueron predominantemente como capas de rodadura en la construcción de caminos de lastre de bajo volumen vehicular. En los últimos 75 años, los tratamientos superficiales se han convertido en tratamientos de mantenimiento y preservación capaces de tener un buen desempeño en pavimentos de bajo a alto volumen vehicular. La popularidad de los tratamientos superficiales radica en sus bajos costos iniciales en comparación con capas de mezcla asfáltica delgada y otros factores que influyen en la selección del tratamiento, donde la capacidad estructural del pavimento es suficiente para soportar las cargas existentes (NCHRP, 2005).



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 13 de 67

Las funciones específicas de un TS son (Asphalt Institute, 2008):

- Proveer de una superficie de ruedo duradera y económica para bases granulares con volúmenes de bajo a mediano tráfico vehicular. Cuando se utilizan emulsiones asfálticas modificadas con polímero y agregados de alta calidad, los tratamientos superficiales se pueden utilizar en aplicaciones de alto volumen de tráfico vehicular.
- Prevenir que el agua superficial penetre la base granular o pavimentos asfálticos que se encuentre con un grado de desgaste o agrietamiento leve.
- Sellar vacíos, recubrir y adherir partículas sueltas de agregado en la superficie del pavimento.
- Renovar y recuperar la resistencia al deslizamiento de superficies de ruedo donde el agregado ha sufrido pulimento por el desgaste provocado por paso de vehículos.
- Restaurar superficies desgastadas y proteger superficies de pavimento oxidadas.
- Proveer una superficie de ruedo temporal en casos donde se retrase la colocación de una capa de mezcla asfáltica.
- Controlar el polvo en caminos de bajo volumen de tráfico vehicular.

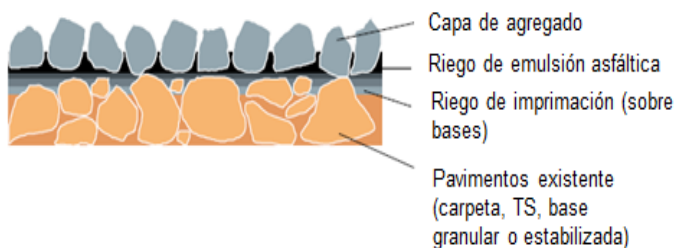
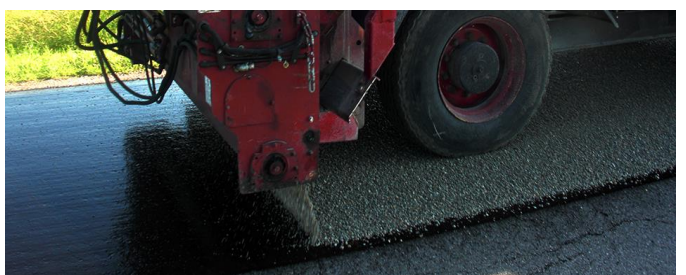


Figura 1. Tratamiento superficial



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 14 de 67

Los tratamientos superficiales tienen una serie de ventajas y desventajas con respecto a otros tratamientos para mantenimiento o preservación de pavimentos como (TXDOT, 2010; PPRA, 2022):

Ventajas

- Reduce los costos de mantenimiento en un 48 % en comparación con métodos tradicionales como capas delgadas de mezcla asfáltica, siendo un tratamiento costo-efectivo.
- Reduce el consumo de energía en 50 % y los gases de efecto invernadero en 51 % en comparación con métodos tradicionales como capas delgadas de mezcla asfáltica.
- Reduce el consumo de materiales vírgenes en 49 %.
- Retorno al paso de vehículos con velocidad controlada en 1 hora.
- Extiende la vida útil de un camino hasta 7 años.
- Construcción sencilla, con equipos económicos.

Desventajas

- Son dependientes de las condiciones ambientales, en condiciones de humedad o lluvia el curado se puede prolongar.
- En algunos casos queda piedra suelta que puede ser riesgosa sobre rutas con pendiente o curvas pronunciadas.
- Ruidoso en comparación con otros sellos asfálticos.
- No tiene aporte estructural.
- Si un pavimento muestra evidencia de agrietamiento asociado a carga (agrietamiento tipo cuero de cocodrilo, longitudinal o transversal), un TS es solo una solución temporal.
- La calidad o el confort del viaje no se puede mejorar significativamente con la aplicación de un TS si la superficie a tratar tiene muchas irregularidades.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 15 de 67

Factores que afectan el desempeño de un tratamiento superficial

El desempeño de un tratamiento superficial depende de muchos factores entre los cuales están (TXDOT, 2010; NCHRP, 2011):

- Técnicas constructivas utilizadas.
- Propiedades de la emulsión asfáltica y el agregado.
- Tasa de emulsión y agregado utilizada y uniformidad de la aplicación.
- Desarrollo de una buena adhesión inicial, la cual se debe mantener durante la vida del tratamiento.
- Desarrollo de entrabamiento entre agregados.
- Capacidad estructural y condición de la superficie tratada sobre la cual se coloca el TS.
- Cantidad y tipo de tráfico vehicular.
- Condiciones ambientales y de drenaje.
- Geometría del camino.

Componentes de un tratamiento superficial

La selección de los materiales para un TS dependerá, generalmente, de las condiciones climáticas, la calidad de la emulsión asfáltica y del agregado, la disponibilidad de materiales y la experiencia. La emulsión asfáltica y el agregado de cobertura constituyen un producto terminado. Las funciones de emulsión asfáltica son: sellar la superficie existente contra la intrusión de agua, proporcionar una unión interfacial con el agregado y proporcionar adherencia con la superficie tratada existente. Por su lado, el agregado de cobertura debe: proporcionar una buena superficie antideslizante y al mismo tiempo resistente al pulido, ser duradero contra los efectos de la abrasión por el tránsito de vehículos y resistente a la desintegración causada por la intemperie. La selección de materiales se ha ido desarrollando al ir incorporando nuevos tipos de materiales como promotores de adherencia, polímeros para modificación y geotextiles (NCHRP, 2005).



Agregados

La calidad del agregado es importante para que el TS tenga un adecuado desempeño. Está relacionada con que sean limpios, duraderos y resistentes a la abrasión. A continuación, se explican las características que debe presentar el agregado (NCHRP, 2011; AASHTO, 2021):

- **Graduación.** En general, cuanto más uniforme sea el tamaño del agregado, mejor será su potencial de desempeño. Un tamaño uniforme de agregado provee máxima fricción, es menos sensitivo a las variaciones en las tasas de aplicación de emulsión asfáltica y favorece el rápido drenaje del agua.
- **Forma.** Los agregados de forma plana y alargada se orientarán por efecto del tráfico vehicular sobre su lado más plano quedando sumergidos dentro de la emulsión asfáltica por lo que estos agregados son más susceptibles a la exudación. Con agregados de forma cúbica, el tráfico no afectará la orientación del agregado reduciendo la exudación, ya que la altura del TS y el embebido del agregado serán uniformes.
- **Limpieza.** La presencia de suciedad, polvo o partículas orgánicas influye negativamente en la adhesión agregado-asfalto, manifestándose en el desprendimiento del agregado. Adicionalmente, la suciedad en el agregado propicia el rompimiento rápido de la emulsión, lo que genera malos acabados.
- **Tenacidad.** Los agregados deben ser suficientemente resistentes al aplastamiento durante la construcción y en condiciones de servicio, de no ser así se genera una mayor cantidad de partículas de polvo, las cuales disminuyen la adherencia agregado-asfalto y además se reduce su rugosidad del TS.
- **Angularidad.** El nivel de entramamiento en una superficie del TS está directamente relacionado con la cantidad de angularidad de las partículas de agregado individuales. Cuanto mayor sea el entramamiento, mayor será la resistencia al desprendimiento del agregado y a la exudación de la superficie.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 17 de 67

- **Resistencia al pulimento.** Debido a que el tráfico vehicular puede hacer que los agregados se pulan y reduzcan la fricción, se debe medir la susceptibilidad al pulimento de los agregados para TS.
- **Humedad del agregado.** Se ha demostrado que los agregados en la condición saturada superficie seca brindan una mejor adhesión que los agregados completamente secos. Se prefiere esto ya que los agregados de construcción generalmente están húmedos (NCHRP, 2011).
- **Porosidad.** Los agregados porosos absorben más asfalto que los agregados no porosos. Esto no crea problemas de desempeño a menos que la cantidad absorbida sea alta y no se tenga en cuenta esta situación para la etapa de diseño, lo cual deja menos asfalto residual disponible para mantener el agregado en su lugar.

En la Tabla 1 se muestran requisitos granulométricos para capas de agregados para TS. Los requisitos de fractura y abrasión de agregados para TS según el tráfico vehicular de diseño se indican en la Tabla 2.

Tabla 1. Requisitos granulométricos para tratamientos superficiales

Tamiz	Porcentaje pasando (%)			
	A	B	C	D
19,0 mm	100	-	-	-
12,5 mm	90-100	100	-	-
9,5 mm	5-30	90-100	100	100
4,75 mm	0-10	5-30	90-100	0-65
2,36 mm	-	0-10	5-30	0-15
1,18 mm	0-2	-	0-10	0-10
0,600 mm	-	0-2	-	-
0,300 mm	-	-	0-2	0-6
75 µm	0-1	0-1	0-1	0-3

Nota. Limitar su uso a TS Clase I como se define en la Tabla 2.

Fuente: AASHTO (2020).



Tabla 2. Requisitos de fractura y abrasión para tratamientos superficiales

Propiedad	Norma	Clase de tratamiento superficial		
		I	II	III
Caras fracturadas, 1 cara	AASHTO T 335	70 % mín.	85 % mín.	95 % mín.
Caras fracturadas, 2 caras	AASHTO T 335	60 % mín.	80 % mín.	90 % mín.
Abrasión los Ángeles, pérdida	AASHTO T 96	40 % máx.	35 % máx.	30 % máx.
Índice de fractura	FLH T 508	35 % máx.	30 % máx.	25 % máx.

Nota: Clase I tráfico ≤ 500 TPDA, Clase II tráfico 501- 5000 TPDA y Clase III tráfico > 5000 TPDA.

Fuente: AASHTO (2020).

Emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales deben cumplir con los requisitos de las especificaciones de materiales AASHTO M 140 (2020), AASHTO M 208 (2018) o AASHTO M 316 (2018) o su equivalente INTE C 381 (2020), INTE C 382 (2020) o INTE C 383 (2020) respectivamente, según el tipo de emulsión asfáltica que se seleccione. Los tipos de emulsión asfáltica que utilizan para los tratamientos superficiales se indican en la Tabla 3.

La selección del de la emulsión asfáltica para un TS debería basarse en las siguientes consideraciones (Asphalt Institute, 2008):

- Temperatura de la superficie a tratar.
- Temperatura del aire.
- Tipo y cantidad de tráfico vehicular.
- Condición de la superficie.
- Tipo y condición del agregado a ser aplicado.

Uno de los factores ambientales más importante que incide en el desempeño del TS es la temperatura ambiente en el sitio. En clima caliente, la exudación se puede prevenir con la selección de residuos asfálticos duros (NCHRP, 2005).



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 19 de 67

Tabla 3. Emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales

Autor	Sin modificar	Modificadas con polímero
Asphalt Institute (2008)	RS-1, CRS-2, CRS-2h, RS-2, HFRS-2, HFRS-2h	CRS-2P, CRS-2L
ASTM (2021)	RS-1, RS-2, HFRS-2, CRS-1, CRS-2, MS-1, HFMS-1, HFMS-2s	-
AASHTO (2017)	RS-1, RS-2, HFRS-2, CRS-1, CRS-2	CRS-2hP, CRS-2P, CRS-2sP, CHFRS-2hP, CHFRS-2P, CHFRS-2sP
AASHTO (2018)	-	CRS-2hP, CRS-2P, CRS-2sP, CHFRS-2P, HFMS-2P
(ISSA, 2012)	RS-2, RS-2h, HFRS-2, CRS-2, CRS-2h	CHFRS-2P, CRS-2P, CRS-2L
MOPT (2022)	CRS-2h, CRS-2, CRS-2s	CRS-2hP, CRS-2P, CRS-2sP, CHFRS-2P

La cantidad, tipo y grado de emulsión asfáltica para un TS debe ser (Asphalt Institute, 2008) tal que:

- Sea suficientemente fluida para que el riego de la superficie se genere de forma homogénea pero viscosa, de tal manera que la capa de emulsión permanezca uniforme sin que se formen empozamientos en las depresiones o se escurra por la pendiente longitudinal ni transversal de la superficie
- Después del riego de la capa de emulsión asfáltica conserve su consistencia para mojar y embeber el agregado.
- Curar y desarrollar adherencia rápidamente.
- Después de la compactación y el curado, sostener el agregado firmemente a la superficie del camino para prevenir el desprendimiento por el tráfico de vehículos.
- No se dé exudación.



Consideraciones en la emulsión asfáltica para tratamientos superficiales

Carga eléctrica

Para tratamientos superficiales se prefieren las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas porque son menos sensibles al clima, son promotoras de adherencia y son eléctricamente compatibles con la mayoría de los agregados (McHattie, 2001). Los agregados calizos presentan mayor afinidad con emulsiones aniónicas, sin embargo, es frecuente que estos agregados presenten alta susceptibilidad al pulimento, generando superficies de riego con baja fricción y problemas de seguridad.

Rompimiento

Las emulsiones asfálticas para TS deben ser de rompimiento rápido (RS) o de rompimiento medio (MS). Se prefieren las emulsiones asfálticas de rompimiento rápido, ya que permiten un curado más rápido y una apertura rápida del tráfico vehicular. Aunque normalmente se deben usar las emulsiones asfálticas de rompimiento rápido para los TS, cuando hay presencia de agregados sucios o ciertas condiciones climáticas, el uso de emulsiones asfálticas de rompimiento medio puede ser más favorable. Sin embargo, no se recomienda el uso de estos materiales debido al mayor tiempo de curado requerido. En climas extremadamente cálidos (temperaturas mayores a 43 °C) se ha observado que en las emulsiones asfálticas se forma una especie de piel en la superficie después de la aplicación, creando una barrera para la liberación de humedad y retrasando así el tiempo de curado del TS (AASHTO, 2021). Una de las principales preocupaciones con el uso de emulsiones asfálticas es el tiempo de aplicación del agregado luego del riego de la capa emulsión asfáltica, ya que el agregado debe ser colocado y compactado antes de que la emulsión rompa (Jackson et al. , 1990). Si el tiempo de espera es muy prolongado, la capacidad de los compactadores de rodillo para asentar adecuadamente el agregado se reduce considerablemente.



Grado de viscosidad

Las emulsiones asfálticas se producen en dos categorías de viscosidad. Las de baja viscosidad se designa con un “-1” y las de alta viscosidad con un “-2”. Dos ejemplos serían CRS-1 o CRS-2. Debido a que en las aplicaciones de tratamientos superficiales los agregados requieren aproximadamente un 40 % de embebido inicial durante la construcción y entre 50 % y 70 % de embebido final, el uso de emulsiones asfálticas de alta viscosidad es el más recomendado. Las emulsiones asfálticas de baja viscosidad podrían escurrirse del pavimento existente antes de que se coloque el agregado (AASHTO, 2021). La viscosidad de la emulsión asfáltica durante la construcción es importante por varias razones, ya que podría afectar el rociado en abanico y las tasas de aplicación. Si la viscosidad es demasiado baja, la emulsión asfáltica podría escurrirse del pavimento antes de que los agregados queden embebidos o generar películas sobre el pavimento de poco espesor que no permitan que el agregado quede embebido, lo que provocaría una pérdida de agregados debido al efecto del paso vehicular y posibles problemas ambientales. Sin embargo, para TS simples con granulometrías finas de tamaño máximo nominal de 4,75 a 2,38 mm y arenas, se han utilizado emulsiones de baja viscosidad (CRS-1) con tasas de aplicación más bajas en comparación con agregados de granulometrías más gruesas, en los cuales se prefieren las emulsiones de alta viscosidad por las razones antes mencionadas (Asphalt Institute, 2008; Asphalt Institute, 2009).

En contra parte, si la viscosidad de la emulsión asfáltica es extremadamente alta, es posible que no se produzca una adecuada adherencia del agregado por la dificultad para que queden embebidos, lo que resulta en el desprendimiento del agregado. Algunas emulsiones (por ejemplo, de alta flotabilidad) se puede aplicar en los rangos de viscosidad más altos.

Tasa de aplicación

Para que el TS tenga un desempeño óptimo, la tasa de aplicación de emulsión asfáltica debe ser la correcta durante la construcción. Muy poca emulsión asfáltica favorece la pérdida de agregados bajo la acción del tráfico vehicular, mientras que demasiado emulsión



asfáltica provocará exudación y pérdida de fricción. La tasa de aplicación óptima es una función de: tamaño y forma del agregado dado que afecta el volumen de vacíos en la capa de agregado compactado, el volumen y tipo de tráfico vehicular, la pendiente del pavimento y, la condición de la superficie del pavimento. En el diseño del TS se determina la tasa óptima de emulsión asfáltica considerando todos estos aspectos (AASHTO, 2021).

Emulsiones de alta flotabilidad

Las emulsiones de alta flotabilidad son aquellas emulsiones que pasan la prueba de flotabilidad según la norma ASTM D139 (2016). Las emulsiones de alta flotabilidad permiten una película asfáltica residual más gruesa sobre el agregado y esto evita que el asfalto se escurra de la superficie de la carretera (TXDOT, 2003). El agente emulsificante de las emulsiones de alta flotabilidad crea una estructura tipo gel en el residuo asfáltico. La estructura tipo gel hace que el asfalto residual no fluya a temperaturas altas o bajas tasas de corte, sea menos sensible a la temperatura, desarrolle una película de asfalto más gruesa sobre el agregado y permita que se utilicen asfaltos más blandos, que no son tan frágiles a bajas temperaturas. Las emulsiones de alta flotabilidad se utilizan comúnmente en climas áridos o muy fríos. Las agencias que usan emulsiones de alta flotabilidad comúnmente afirman que las utilizan en situaciones donde el agregado local está excesivamente sucio o polvoriento y el costo de lavarlos para cumplir con la especificación de menos del 1 % pasando el tamiz de 75 μm sería demasiado elevado. Este tipo de emulsión asfáltica se puede utilizar con agregados con porcentajes pasando hasta 5 % en el tamiz de 75 μm (Janisch & Gaillard, 1998).

Emulsiones modificadas

Se ha demostrado que la modificación con polímeros reduce la susceptibilidad a la temperatura, proporciona una mayor adhesión a la superficie existente, aumenta la retención y flexibilidad de los tratamientos y permite que la carretera se abra antes al tráfico vehicular (Jackson et al. , 1990; Zaniewski & Mamlouk, 1996; Johnson & King, 2008). Se considera que los polímeros son beneficiosos para minimizar la exudación, ayudar a la



retención del agregado y mejorar la durabilidad del TS y, se recomiendan para carreteras de alto volumen vehicular (Shuler, 1991; Wegman, 1991). La mejora en el desempeño con el uso de emulsiones modificadas con polímero se ha investigado mediante el ensayo de barrido ASTM D 7000 (2019) y el ensayo de Vialit UNE-EN 12272-3 (2003). El ensayo de barrido consiste en aplicar una especie de “cepillo” con un movimiento planetario sobre la superficie de un TS preparado en el laboratorio y medir la cantidad de agregados perdidos después de la abrasión. El ensayo de Vialit consiste en someter a una muestra invertida de TS dentro de una placa al impacto de una bola de acero que se deja caer desde una altura fija, se mide la retención de agregado luego del impacto. La retención de agregados mejoró significativamente para una emulsión modificada con respecto a una sin modificar (Figura 2) (Takamura k. , 2003; Adams et al., 2017).

Las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros elastoméricos brindan mayor adherencia con el agregado tanto, durante la construcción como durante la vida útil del TS. A volúmenes altos de tráfico de más de 7 500 vehículos por día por carril se requieren emulsiones asfálticas modificadas con polímero para mantener el agregado en su lugar debido a la aplicación de menores tasas emulsión para reducir el potencial de sobreembebido y exudación (Shuler, 1991).

La integración de caucho triturado en el asfalto (vía húmeda) de las emulsiones asfálticas para TS ha demostrado ser efectivo para mitigar el reflejo de grietas, mejorar la retención de agregados y reducir las emisiones de ruido (NCHRP, 2005).

También se han incorporado promotores de adherencia para mejorar la adhesión entre el asfalto y el agregado (NCHRP, 2005). La película de asfalto que se forma después del curado de algunas emulsiones aniónicas y ocasionalmente emulsiones catiónicas, puede no tener suficiente adherencia con los agregados, en cuyo caso se pueden agregar promotores de adherencia al asfalto o a la emulsión terminada. Generalmente, los promotores de adhesión son compuestos de amina de superficie activa (James, 2006). En



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 24 de 67

algunos casos se ha observado un efecto negativo en la estabilidad de almacenaje con la incorporación de promotores de adherencia (Ignatavicius et al., 2021).

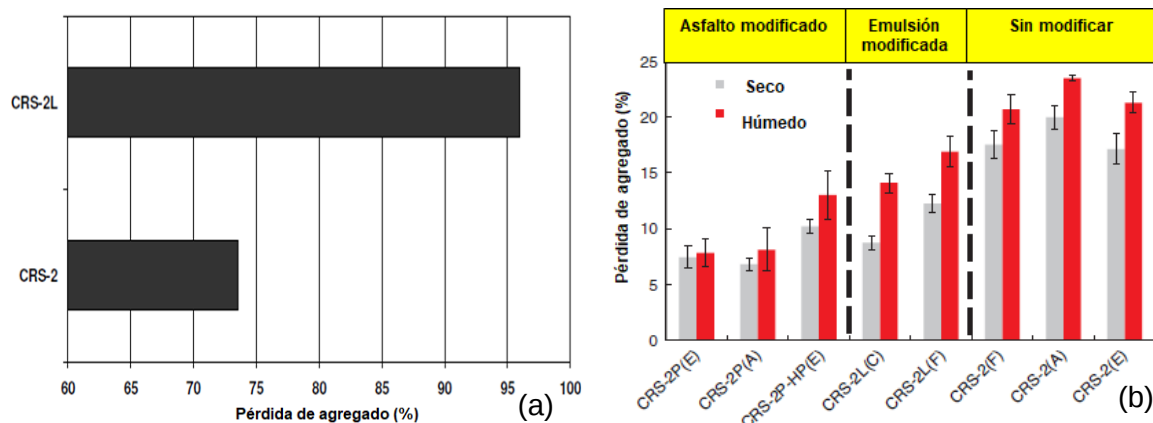


Figura 2. Agregado retenido ensayo de barrido (a) y Vialit (b) para emulsiones asfálticas sin y con látex

Fuente: Takamura (2003) y Adams (2017)

Especificaciones técnicas nacionales

El manual CR-2020 señala que para TS simples o múltiples se utilizarán emulsiones asfálticas de alta viscosidad CRS-2h, CRS-2, CRS-2s, CRS-2hP, CRS-2P, CRS-2sP, CHFRS-2P), y agregados graduados limpios (MOPT, 2022). En la Tabla 4 se muestran las graduaciones que el CR-2020 establece para conformar los tratamientos superficiales simples, dobles o triples. Las granulometrías de los agregados para TS que se indican en el manual CR-2020 se vienen implementando desde la versión del 2010 del mismo manual (MOPT, 2010), y se derivan del Manual de Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes del Departamento de Transportes de Estados Unidos (FHWA, 2003). La granulometría F, es una granulometría fina de uso muy frecuente para el sellado del tratamiento, como material de secado. Al ser un material con presencia de finos de alta superficie específica, rompe casi al instante de hacer contacto con la emulsión asfáltica, provocando una pobre adherencia con los agregados y su desprendimiento. El material suelto generado, que se coloca generalmente en exceso, origina problemas de seguridad



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 25 de 67

vial y tiende a acumularse en los bordes de la calzada, obstruyendo los drenajes (LanammeUCR, 2008; LanammeUCR, 2011). El Manual de Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes del Departamento de Transportes de Estados Unidos en su versión del 2014 ya no incluye la granulometría F ni la A (que era la más gruesa) (FHWA, 2014). Las especificaciones de AASHTO (Tabla 1) tampoco incluyen una granulometría como la F y la A (AASHTO, 2020). Los agregados además deberán cumplir con los requisitos de calidad de la Tabla 5.

En las Tablas 6 y 7 se indican las especificaciones técnicas de las emulsiones asfálticas sin modificar y modificadas con polímero. En el CR-2020 se recomiendan tasas de aplicación tanto para la emulsión asfáltica como para el agregado.

A nivel nacional, las emulsiones asfálticas que se han utilizado en los últimos 40 años para tratamientos superficiales han sido principalmente catiónicas de rompimiento rápido de baja viscosidad (CRS-1) por la disponibilidad en el mercado local, a pesar de que no son las más recomendables para las granulometrías gruesas que se utilizan convencionalmente.

Tabla 4. Especificaciones granulométricas para tratamientos superficiales simples y multicapa (Tabla 702.15 CR-2020)

Tamiz	Porcentaje por peso que pasa el tamiz estándar					
	A	B	C	D	E	F
37,5 mm	100	-	-	-	-	-
25,0 mm	90 - 100	100	-	-	-	-
19,0 mm	0 - 35	90 - 100	100	-	-	-
12,5 mm	0 - 8	0 - 35	90 - 100	100	-	-
9,5 mm	-	0 - 12	0 - 35	85 - 100	100	100
4,75 mm	-	-	0 - 12	0 - 35	85 - 100	85 - 100
2,36 mm	-	-	-	0 - 8	0 - 23	-
75 µm	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 10

Fuente: MOPT (2022)



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 26 de 67

Tabla 5. Especificaciones para los agregados de tratamientos superficiales (Tabla 703-14 CR-2020)

Parámetro	Especificación	Norma
Abrasión de los Ángeles	40 % máx.	ASTM C131
Densidad	1100 kg/m ³ mín.	ASTM C127 y C128
Revestimiento y desnudamiento en mezcla Bitumen-Agregado	95 % mín.	AASHTO T 182
Revestimiento adherido al agregado	0,50 % máx.	FLH T512
Partículas planas y elongadas, en una proporción 1:3 y el peso calculado por masa como un promedio en malla 9,5 mm	10 % máx.	ASTM D4791
Índice de fractura	30 % máx.	FLH T508
Índice de durabilidad (grueso)	35 % mín.	ASTM D3744
Índice de durabilidad (fino)	35 % mín.	
Arcilla y partículas friables	1 % máx.	AASHTO T 112
Agregados livianos	No deben utilizarse	AASHTO M 195
Caras fracturadas en los agregados	90 % mín.	ASTM D5821
Pasando malla No. 200	1 % máx., excepto granulometría F	AASHTO T 11

Fuente: MOPT (2022)



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 27 de 67

Tabla 6. Especificaciones para emulsión asfáltica catiónica (Tabla 702-08 CR-2020)

Tipo Designación	Rompimiento rápido											
	CRS-1h		CRS-1		CRS-1s		CRS-2h		CRS-2		CRS-2s	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Ensayos de emulsiones												
• Viscosidad, Saybolt Furol a 50 °C SFS	20	100	20	100	20	100	100	400	100	400	100	400
• Estabilidad al almacenamiento, 24 h, %	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0
• Demulsibilidad, 35 ml, 0,8 % dioctilsulfosuccinat o sódico, %	40	-----	40	-----	40	-----	40	-----	40	-----	40	-----
• Carga de partícula	Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva	
• Ensayo de malla N °20, %	-----	0,10	-----	0,10	-----	0,10	-----	0,10	-----	0,10	-----	0,10
• Destilación:												
• Aceite destilado, por volumen, %	-----	3	-----	3	-----	3	-----	3	-----	3	-----	3
• Residuo, %	60	-----	60	-----	60	-----	65	-----	65	-----	65	-----
Ensayos en el residuo por destilación												
• Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	40	90	90	150	150	250	40	90	90	150	150	250
• Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min, cm.	40	-----	40	-----	40	-----	40	-----	40	-----	40	-----
• Solubilidad en tricloroetileno, %	-----	-----	-----	97,5	-----	-----	-----	-----	-----	97,5	-----	-----
• Contenido de ceniza, %	-----	1,0	-----	-----	-----	1,0	-----	1,0	-----	-----	-----	1,0

Fuente: MOPT (2022)



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 28 de 67

Tabla 7. Especificaciones para la emulsión modificada con polímero para tratamientos superficiales (Tabla 702.09 CR-2020)

Tipo Designación	Rompimiento rápido										Rompimiento medio	
	CRS-2hP		CRS-2P		CRS-2sP		CHFRS-2P		HFRS-2P		HFMS-2P	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Ensayos de emulsiones												
• Viscosidad, Saybolt Furol a 50 °C SFS	100	400	100	400	100	400	100	400	75	400	100	450
• Estabilidad al almacenamiento, 24 h, %	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0
• Demulsibilidad:	40	-----	40	-----	40	-----	40	-----	-----	-----	-----	-----
35 ml, 0,02 N CaCl ₂ , %	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	50	-----	-----	-----
50 ml, 0,10 N CaCl ₂ , %	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	40	-----
• Carga de partícula	Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		-----		-----	
• Ensayo de malla N °20, %	-----	0,1	-----	0,1	-----	0,1	-----	0,1	-----	0,1	-----	0,1
• Aceite destilado, por volumen, %	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3	-----	3
• Residuo, %	65	-----	65	-----	65	-----	65	-----	65	-----	65	
Ensayos en el residuo por destilación												
• Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	40	90	90	150	150	250	100	175	100	200	100	200
• Recuperación elástica, 25 °C, de lado recto, 5 cm/min, 20 cm de elongación, 5 min de sostenimiento, %	50		60		60		60		60		60	
• Contenido de ceniza, %	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0	-----	1,0
• Ensayo de flotabilidad, 60 °C, s	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1800	-----	1200	-----	1200	-----

Fuente: MOPT (2022)



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 29 de 67

Proceso constructivo de los tratamientos superficiales

En Costa Rica el proceso constructivo de un tratamiento superficial comprende el siguiente procedimiento (MOPT, 2022):

1. Preparación y barrido de la superficie existente.
2. Primer riego de emulsión asfáltica con distribuidor de emulsión asfáltica (Figura 3a).
3. Distribución de la primera capa de agregado con distribuidor de agregados autopropulsado (Figura 3b)
4. Compactación de primera capa una vez rompa la emulsión con compactador de llanta de hule (Figura 3c) y barrido de excesos con barredora rotatoria autopropulsada (Figura 3d).
5. Se repite el proceso a partir del punto 2, si se va a colocar más de una capa.
6. Control de velocidad después de la compactación durante las siguientes 24 horas.
7. Barrido final del agregado en exceso una vez que la emulsión haya curado.



Figura 3. Proceso de construcción de un tratamiento superficial: a) distribución de emulsión, b) distribución de agregado, c) barrido y d) compactación.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 30 de 67

Deterioros en los tratamientos superficiales

Los tratamientos superficiales se deterioran o fallan como resultado de la oxidación del asfalto, desgaste y pulimento del agregado, exudación y desprendimiento del agregado (Figura 4). La exudación y el desprendimiento de agregado son las fallas más comunes en tratamientos superficiales. Cuando son colocados sobre estructuras de baja capacidad con asentamientos importantes, se generan grietas que aceleran su deterioro por el ingreso de humedad a capas inferiores.

Exudación

La exudación se manifiesta normalmente por manchas negras por exceso de asfalto en la superficie del tratamiento superficial, con una apariencia suave y resbaladiza donde los agregados son menos visibles, Figura 5a. Este deterioro se localiza generalmente por donde pasan los neumáticos, cuyo paso repetido provoca el embebido excesivo de los agregados. Se asocia a tasas muy altas de emulsión asfáltica, uso de agregados con graduación no uniforme y a climas calientes con altas temperaturas, donde el asfalto es más susceptible a ablandarse. La exudación puede causar una condición resbaladiza y peligrosa, especialmente durante la época lluviosa.

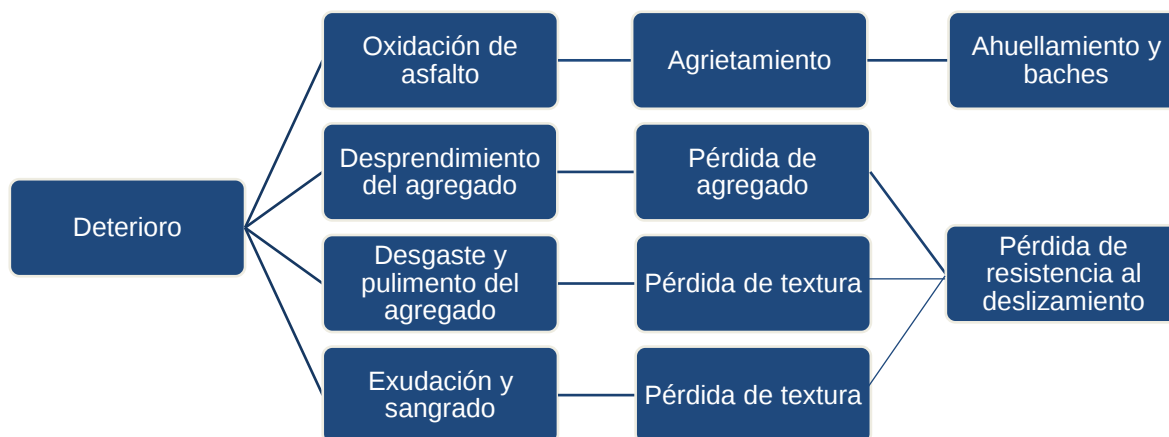


Figura 4. Deterioros en tratamientos superficiales

Fuente: Austroads (2004)



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 31 de 67

Desprendimiento de agregado

El desprendimiento del agregado ocurre cuando falla la adhesión entre el agregado y el ligante asfáltico, lo que hace que el agregado se desplace. Las zonas con desprendimiento de agregado tienen una apariencia muy irregular, debido a que la superficie no está completamente cubierta por el agregado, como se muestra en la Figura 5b. Esta condición es peligrosa por el agregado suelto que con el paso de las llantas de los vehículos puede impactar los parabrisas o generar pérdida de tracción. Además, las zonas sin agregado son más propensas al deslizamiento, por la pérdida de fricción.

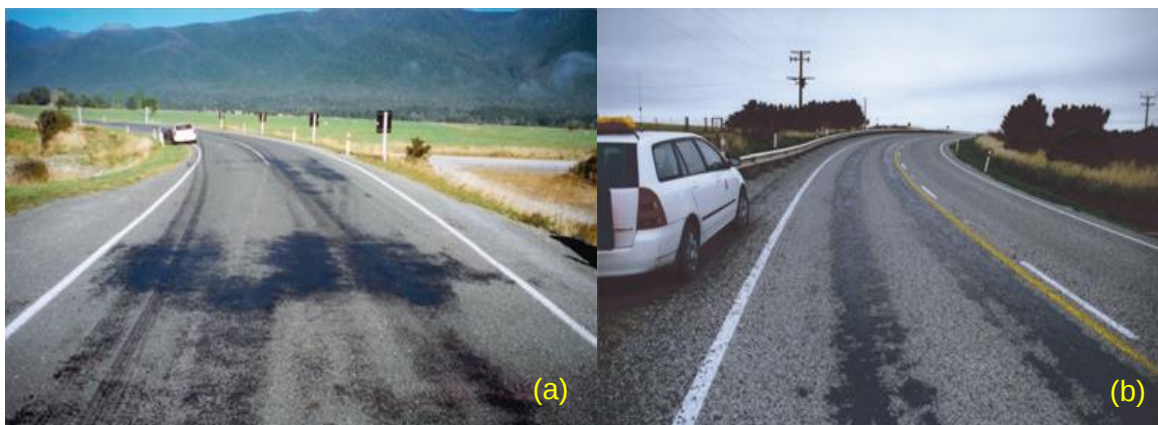


Figura 5. Deterioros en tratamientos superficiales: a) exudación y b) desprendimiento de agregado

Fuente: Transit NZ (2005)

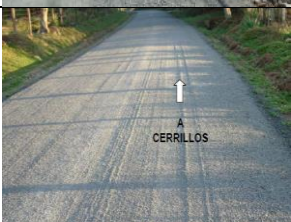
A continuación, se describen los principales deterioros y prácticas deficientes reportadas en algunos proyectos donde se han colocado tratamientos superficiales en Costa Rica (Tabla 8).



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 32 de 67

Tabla 8. Deterioros y malas prácticas en tratamientos superficiales de Costa Rica

Ubicación	Informe	Deterioro	Fotografía
Ruta 742 Macacona Cerrillos	LM-PI-080-2011	Exudación y acumulación de material de secado en los bordes de calzada	
	- LM-PI-080-2011	Huecos y agregado expuesto	
	LM-PI-080-2011	Ausencia drenajes o drenajes inadecuados	
Ruta 256 Honey Creek- Manzanillo	LM-AT-93-08	Material fino en exceso suelto, formado apilamientos longitudinales por falta de barrido	
	LM-AT-93-08	Falta de adherencia entre agregado y asfalto por deficiencia en dosificación de emulsión o exceso de agregados	

Fuente: LanammeUCR (2008; 2011)



Formulación, composición y mecánica de las emulsiones asfálticas de alta viscosidad

La viscosidad de la emulsión es una importante propiedad que incide en el desempeño de las aplicaciones con emulsiones asfálticas. En las mezclas en frío, las emulsiones de baja viscosidad pueden drenarse del agregado o afectar el desarrollo de la adherencia entre el agregado y el asfalto, que a su vez afecta la ganancia de resistencia mecánica. Por otro lado, en los tratamientos superficiales, las emulsiones de baja viscosidad son propensas a escurrirse de la carretera y a que el agregado no quede embebido, mientras que las emulsiones altamente viscosas pueden no distribuirse bien sobre la superficie (Al-Mohammedawi & Mollenhauer, 2022). Kroger & Kroger (2020) afirma que para un tratamiento superficial “el ligante debe cumplir una serie de requisitos para poder ser utilizado en los tratamientos superficiales. Por un lado, debe ser lo suficientemente líquido para poder ser bombeado y regado en la superficie a tratar durante la construcción y por otro debe lograr una viscosidad elevada en servicio para mantener adherido al agregado y no fluir de la superficie. Asimismo, debe brindar una elevada impermeabilidad a la superficie sobre la que se riega y ser durable” (p.120). La viscosidad de la emulsión se ve afectada por factores como el tamaño y distribución de las partículas (Boussad et al., 1995), la relación de agua-asfalto (Sherman, 1970), química y cantidad del agente surfactante (Barnes, 1994; Lesueur et al., 2003), la viscosidad del asfalto (Barnes, 1994) y la presencia de sal en el asfalto (Tausk & Wilson, 1981), que puede conducir a una mayor viscosidad durante el almacenamiento de la emulsión (Furlong et al., 1999).

Relación agua-asfalto

La relación agua-asfalto (RAA) tiene un efecto importante sobre la viscosidad. Es razonable considerar que las interacciones entre las micelas de asfalto son más significativas a medida que disminuye la RAA (a mayor concentración de asfalto). Cuando el volumen de asfalto en la emulsión es inferior al 30 %, las interacciones entre las micelas de asfalto desaparecen y las propiedades reológicas del sistema son similares a las de la fase continua (fase jabonosa). Al aumentar el contenido de asfalto, la interacción entre las



micelas de asfalto se vuelve importante y aumenta la viscosidad de la emulsión. Este fenómeno puede llevar al sistema a exhibir un comportamiento no newtoniano (adelgazamiento por corte e incluso las propiedades viscoelásticas suelen ser importantes a partir de un contenido de asfalto del 60 %). A bajos contenidos de asfalto, el aumentar la concentración de asfalto tiene un efecto pequeño en la viscosidad. Con altos contenidos de asfalto, un pequeño aumento en la concentración puede inducir un cambio dramático en la viscosidad que puede ser incontrolable (Shell, 2015). Aumentar el contenido de asfalto aumentará la viscosidad y reducirá el asentamiento, pero comparado con escoger un emulsificante que ayude a aumentar viscosidad, esta es la forma más costosa de tener un aumento en la viscosidad de la emulsión (James, 1997).

Viscosidad del asfalto

Se obtienen tamaños de gotas de asfalto más pequeñas durante el proceso de emulsificación a medida que disminuye la viscosidad del asfalto que ingresa al molino coloidal (manteniendo constantes los parámetros mecánicos como la velocidad de agitación, etc.) (Mercado et al., 2008). Para una energía mecánica dada del molino coloidal, asfaltos duros producirán tamaños de partícula grandes, asfaltos de alta penetración o rebajados producirán emulsiones de tamaño de partícula más pequeños (Shell, 2015). Por lo tanto, se puede producir un aumento aparente de la viscosidad en el sistema cuando la viscosidad del asfalto disminuye (asfalto blandos o rebajados). En este caso, el aumento de la viscosidad se debe al menor tamaño de las micelas de asfalto y no a la baja viscosidad del asfalto (Mercado et al., 2008). Se debe de tener presente que el asfalto que se comercializa en Costa Rica se clasifica como un AC-30 con viscosidades cercanas a los 3900poises, siendo este un asfalto de alta viscosidad y el comercializar un asfalto menos viscoso implica tomar consideraciones, implicaciones y trámites.

Tamaño y distribución de partículas

El tamaño y distribución de las gotas de asfalto también tienen un efecto importante en la viscosidad de la emulsión. Sin embargo, estos parámetros son difíciles de controlar de



forma independiente durante la producción. Esto se debe al hecho de que algunas propiedades como la tensión interfacial, la concentración de surfactante y el tipo de surfactante son parámetros dependientes. El tamaño y distribución de partículas dependen de muchas variables: tipo y concentración de surfactante, salinidad, pH de la fase jabonosa (Chen et al., 2022), contenido y tipo de asfalto, mecánica y condiciones de operación de la planta (proceso de emulsificación), temperatura de la preparación de la emulsión, tensión interfacial, viscosidad del asfalto, y otros (Mercado et al., 2008). Estos últimos parámetros juegan un papel importante en la estabilidad de la emulsión (Tadros, 2010). Sin embargo, usualmente la viscosidad de la emulsión aumenta a medida que disminuye el tamaño promedio de las partículas de asfalto. Cuando el tamaño de partícula disminuye, el número de partículas se incrementa, aumentando el número de interacciones partícula-partícula, resultando en una mayor resistencia a fluir. Mientras que la viscosidad de la emulsión disminuye a medida que la distribución del tamaño partículas de asfalto se vuelve más ancha (Vladislavjevic & Schubert, 2002; Ramírez et al., 2002; Buss et al., 2018; Alade et al., 2022). Esto se debe a que una distribución de partículas amplia tiene más espacio libre entre partículas para moverse, por lo que la muestra tenderá más fácilmente a fluir.

El molino y el proceso de molienda son los principales determinantes del tamaño inicial de las partículas para una emulsión asfáltica, ya que el tamaño de las partículas está determinado por la energía de corte del molino y el tiempo de molienda. El tamaño de partícula es función del diámetro, la abertura y velocidad del molino coloidal (Baumgardner, 2006). La abertura y la velocidad de flujo del molino coloidal influyen fuertemente en el tamaño y distribución de partículas de la emulsión: una abertura pequeña dará como resultado un tamaño de partícula pequeño con una distribución de tamaños relativamente estrecha; una alta velocidad de flujo producirá un tamaño de partícula pequeño (Shell, 2015). Normalmente, se pueden obtener gotas más pequeñas y distribuciones estrechas aumentando la velocidad de flujo (Nagata, 1975). Al aumentar la velocidad de flujo a través del molino se da un cambio en la distribución del tamaño de partícula de la emulsión. Con contenidos de asfalto inferiores al 65 %, la viscosidad de la emulsión es prácticamente



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 36 de 67

independiente de la velocidad de flujo. Sin embargo, con contenidos de asfalto superiores al 65 %, los glóbulos de asfalto están muy cerca uno de otros, y el inducir un cambio en la distribución del tamaño de las partículas al cambiar la velocidad de flujo tiene un marcado efecto en la viscosidad, como se muestra en la Figura 6.

Aumentar el tiempo de emulsificación (molienda) típicamente resulta en menor tamaño de partícula y distribuciones de tamaños más angostas (Sherman, 1968). Sin embargo, cuando el tiempo de molienda excede el valor óptimo, el efecto de corte excesivo puede conducir a la coalescencia de las gotas. Además, el efecto de corte excesivo puede aumentar la temperatura de la emulsión asfáltica en el molino, que también puede provocar que las gotas se fusionen durante el enfriamiento (Chen et al., 2022).

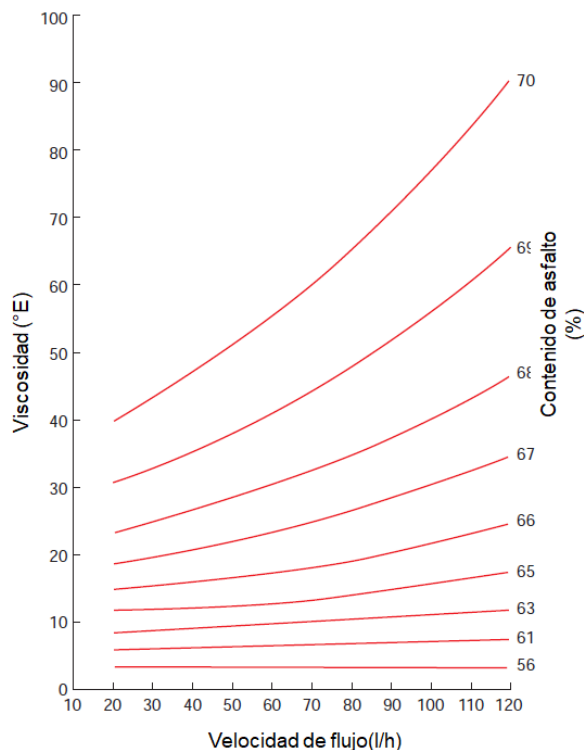


Figura 6. Viscosidad de la emulsión como función de la velocidad de flujo a diferentes contenidos de asfalto
Fuente: Shell (2015)



Tipo y cantidad de agente surfactante

El tamaño de las gotas de asfalto disminuye cuando aumenta la concentración de surfactante, lo que conduce a un aumento de la viscosidad de la emulsión. Esto puede explicarse por un aumento en la capacidad de cubrir una superficie interfacial más grande. En el caso de las emulsiones catiónicas, un menor contenido de ácido puede aumentar la viscosidad de la emulsión (Shell, 2015). Un pH alto favorece una tensión interfacial más baja, lo que hace que la emulsificación del asfalto sea más fácil de lograr (Cui & Pang, 2017). La viscosidad de la emulsión también puede verse afectada por la estructura química del surfactante. En el mercado se ofrecen agentes emulsificantes especialmente diseñados para obtener altas viscosidades sin requerir altos contenidos de asfalto en la emulsión asfáltica, y adecuados para emulsiones modificadas con polímeros (Tabla 9).

Tabla 9. Emulsificantes para emulsiones de alta viscosidad

Marca	Nombre	Dosificación
Nouryon	Redicote E-4819, Redicote E-4900, Redicote C-580	0,15 % - 0,25 % pH 2,0 - 4,5
Ingevity	Indulin AA-89, Indulin AA-86	0,18 % - 0,45 % pH 1,5 - 2,5
Arkema-Roadscience	Arrmuls 710	0,24 % - 0,45 % pH 1,6 - 2,0
Kao	Asfier N-100L	0,16 % - 0,29 % pH 2,0

Fuente: Nouryon (2021), Ingevity (2016), Arkema-Roadscience (2019) y Kao (2013)

El efecto del uso de diferentes emulsificantes (A-E) sobre la viscosidad de la emulsión se puede observar en la Figura 7. En este estudio se observó que la diferencia en la viscosidad entre diferentes emulsificantes no se debió a un efecto en el tamaño y distribución de partículas. Todas las emulsiones tuvieron un diámetro medio de tamaño de partícula entre 3,1 y 3,7 micrómetros. Se encontró una correlación entre la viscosidad con diferentes emulsificantes y la cantidad de agua atrapada en los glóbulos de asfalto (el volumen de la



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 38 de 67

fase dispersa es mayor que el volumen de asfalto debido al agua atrapada en los glóbulos de asfalto) (James, 1997).

Las emulsiones catiónicas de rompimiento rápido (CRS) se preparan con una dosis baja (0,15 % - 0,40 %) de tensioactivos de amina grasa C16–18, diamina grasa o amidoamina en forma de sus sales de clorhidrato o, con mucha menos frecuencia, como sales de acetato. Los emulsificantes se suministran al fabricante de emulsiones en forma de amina insoluble, a menudo como una mezcla de varios componentes, y el fabricante de emulsiones los disuelve en agua caliente mediante el uso de ácido para formar la solución jabonosa. La adición de ácido no es estequiométrica y el pH de la solución jabonosa puede variar de 1,5 a 4,5. El pH tiene efectos sutiles sobre la reactividad y las propiedades físicas de la emulsión (Takamura & James , 2015).

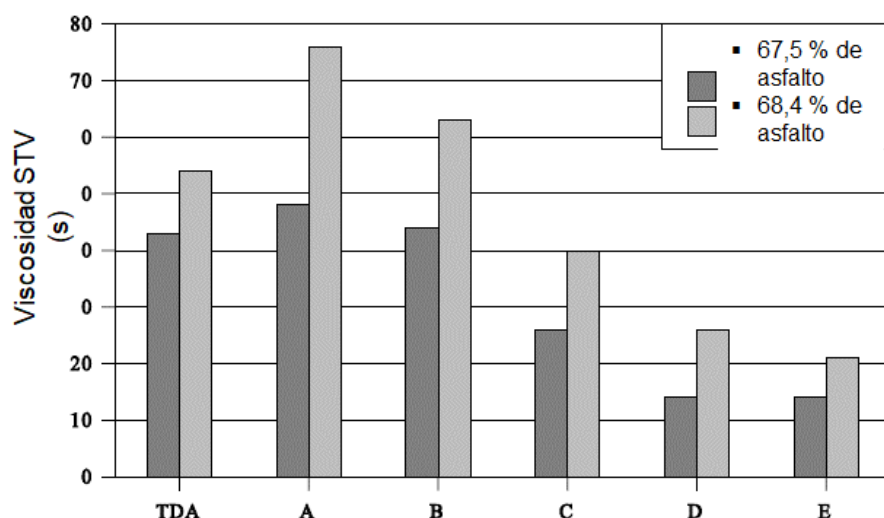


Figura 7. Efecto del uso de diferentes emulsificantes en la viscosidad de la emulsión asfáltica.

Nota: La viscosidad STV (Standard Tar Viscometer) se realizó con orificio de 4 mm a 50°C.

Fuente: James (1997)



Temperatura de emulsificación

En el proceso de emulsificación, la energía mecánica requerida para proporcionar a las partículas de asfalto el tamaño y distribución correctos se ve favorecida por el aumento en la temperatura de la fase de dispersa (asfalto). Para permitir que el ligante asfáltico se disperse adecuadamente en la fase acuosa, es necesario que su viscosidad sea relativamente baja. Por experiencia se sabe, que la viscosidad óptima del asfalto es de 200 centipoises, la cual se obtiene manteniendo el asfalto a una temperatura de emulsificación que produzca esta viscosidad (temperatura equiviscosidad, EVT) (Baumgardner, 2006). El EVT de algunos asfaltos comunes se muestran la Tabla 10.

Tabla 10. Temperatura de equiviscosidad para asfaltos comunes

Tipo de asfalto por grado de viscosidad	EVT aproximado
AC-5	140 °C
AC-10	150 °C
AC-30	160 °C

Fuente: Baumgardner (2006)

Sin embargo, en plantas de emulsión asfáltica con sistemas no presurizados la temperatura de la emulsión nunca debe llegar a 100 °C durante la fabricación y debe mantenerse entre 85 °C y 95 °C para evitar su ebullición. La temperatura de salida de la emulsión está determinada por las temperaturas de las dos fases (asfalto y fase jabonosa) y se puede expresar como (Ecuación 1) (Akso Nobel, 2009):

$$T_e = \frac{a \cdot C_{pa} \cdot T_a + w \cdot C_{pw} \cdot T_w}{w \cdot C_{pw} + a \cdot C_{pa}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

T_e = temperatura de salida de la emulsión, °C,

T_a = temperatura del asfalto, °C,

T_w = temperatura de la fase jabonosa, °C,

C_{pa} = capacidad calorífica del asfalto (1,90 kJ/°C/kg),



C_{pw} = capacidad calorífica de la fase jabonosa (4,18 kJ/°C/kg),

w = contenido de la fase jabonosa en la emulsión, %, y

a = contenido de asfalto en la emulsión, %.

La temperatura mínima del asfalto depende del grado de viscosidad y varía entre 125 °C para un asfalto con penetración de 200 °C y 140 °C para un asfalto de penetración 50. La temperatura mínima del agua de la fase jabonosa debe ser lo suficientemente alta para facilitar la disolución del agente emulsificante y el ácido, entre 40 °C y 50 °C suele ser suficiente. El aumento de la temperatura de la fase acuosa o el asfalto normalmente disminuye el tamaño medio de los glóbulos de asfalto en la emulsión (Shell, 2015). Las temperaturas de emulsificación más altas favorecen el desarrollo de gotas de asfalto más pequeñas. Sin embargo, se ha encontrado que el tamaño de las gotas también puede aumentar como consecuencia de un aumento de la temperatura en algunos casos especiales, esto debido a la fragilidad térmica de los agentes surfactantes (Gingras et al., 2005).

Presencia de sal en el asfalto

El asfalto puede contener pequeñas cantidades de sal (cloruro de sodio), que ha concentraciones mayores a 20 ppm, puede provocar un hinchamiento osmótico de las gotas de asfalto en una emulsión a medida que el agua entra en la gota. Esto da como resultado un aumento en la viscosidad de la emulsión, seguido de una disminución a medida que la sal se escapa lentamente. Si la diferencia de concentración iónica entre el glóbulo de asfalto y la fase acuosa que la rodea es lo suficientemente alta, la partícula continuará expandiéndose hasta el punto en que se rompa. Si se alcanza este punto de falla, puede desencadenar la coagulación entre otras partículas, desestabilizando la emulsión. En estos casos se adiciona cloruro de calcio (emulsiones catiónicas) o cloruro de sodio (emulsiones aniónicas) en la fase jabonosa o en la emulsión a una tasa de 0,1 % a 0,2 % para reducir la ósmosis de agua en el asfalto y minimizar los cambios de viscosidad (Tausk & Wilson, 1981; James, 2006; Shell, 2015).



Aditivos

Un enfoque alternativo para aumentar la viscosidad en la emulsión es usar productos químicos que se agregan a la fase de asfalto antes de la emulsificación. Estos aditivos aparentemente mejoran la peptización de los asfaltenos en el asfalto, haciendo que el asfalto se emulsione más fácilmente. Son particularmente útiles con asfaltos difíciles de emulsionar. La Figura 8 muestra el efecto del agente peptizante sobre las viscosidades de emulsiones de rompimiento rápido. Los beneficios en este caso generalmente se extienden a un asentamiento reducido y una mejor adhesión de la emulsión.

También se pueden incorporar agentes espesantes solubles en agua para aumentar la viscosidad de la emulsión, ayudando a cumplir las especificaciones y reduciendo el escurrimiento de la emulsión en mezclas de granulometría abierta. Pueden añadirse en la fase acuosa o en la emulsión terminada y normalmente en una dosis de 0,02 % a 0,20 %. Los espesantes pueden afectar el rompimiento y la adhesión de las emulsiones, por lo que deben ser seleccionados cuidadosamente (Akso Nobel, 2014).

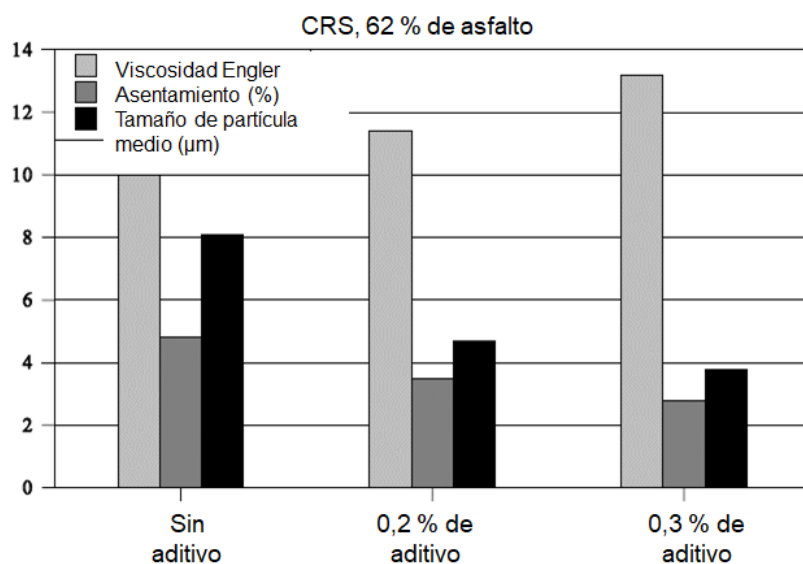


Figura 8. Efecto de agentes peptizantes en la viscosidad de la emulsión asfáltica
Fuente: James (1997)



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 42 de 67

En la Figura 9 se resumen las estrategias disponibles para aumentar la viscosidad de las emulsiones asfáltica.

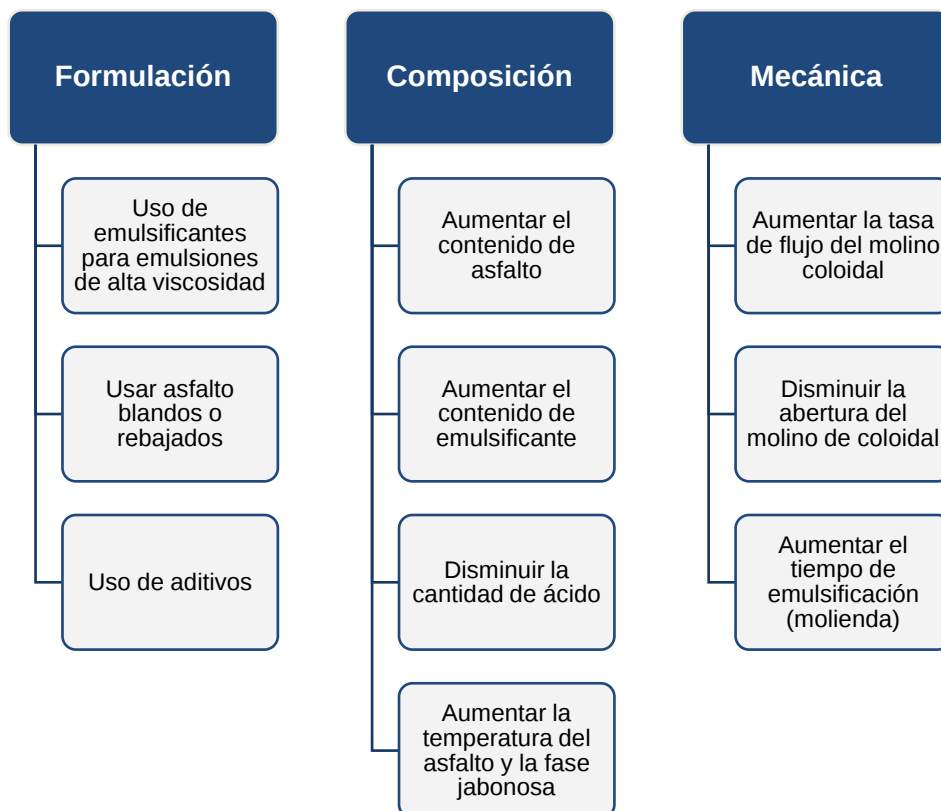


Figura 9. Estrategias para aumentar la viscosidad de la emulsión asfáltica

Ensayos de desempeño de laboratorio para tratamientos superficiales

Las emulsiones especificadas actualmente muchas veces muestran problemas de desempeño ya que las normas no contemplan los siguientes factores (Kroger & Kroger, 2020):

- No clasifican a los ligantes asfálticos basándose en las propiedades críticas relacionadas directamente con el desempeño (desprendimiento de agregado y exudación).



- No contemplan totalmente las propiedades de la emulsión relacionadas con la parte constructiva, “capacidad de riego”, “escurrido” y “capacidad de mezclado”.
- No ensayan los materiales en el rango de temperaturas a los que estarán expuestos en campo.
- No clasifican a los ligantes según el tráfico vehicular previsto.
- No toman en cuenta el tiempo de curado y tiempo de apertura al tráfico vehicular.
- Los ensayos convencionales son empíricos y no tienen relación directa con el desempeño del material.

Para evaluar el desempeño de las emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales se realizan ensayos de laboratorio en el tratamiento superficial (sistema agregado-ligante asfáltico), la emulsión y el residuo asfáltico. Los ensayos en el sistema agregado-ligante asfáltico están relacionados con las propiedades de adhesividad y compatibilidad del ligante asfáltico con el agregado, y con el tiempo de apertura al tráfico vehicular. Los ensayos de desempeño en la emulsión y el residuo asfáltico están dentro de la propuesta de especificaciones de grado por desempeño de emulsiones asfálticas (EPG) para tratamientos superficiales, micropavimentos y riegos de emulsión (NCHRP, 2017). Estas especificaciones de EPG están condicionadas por el clima y las cargas de tráfico vehicular que se prevén durante la vida útil de cada técnica de preservación de pavimento. En el caso del grado por desempeño de emulsiones (EPG) se mantienen los criterios de clasificación para asfaltos, pero con la salvedad de que las temperaturas del pavimento son superficiales y por ende la temperatura aumenta 3 °C tanto para XX como para YY. Los ensayos dentro de las especificaciones EPG abordan las propiedades de la emulsión que están relacionadas con el almacenamiento y la aplicación en campo (estabilidad de almacenaje, capacidad de riego, resistencia al escurrimiento), así como las propiedades del residuo asfáltico que están relacionadas con el desempeño de la mezcla (exudación, ahuellamiento, desprendimiento de agregado). En la Figura 10 se muestran los ensayos para especificaciones de grado por desempeño.

EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 44 de 67

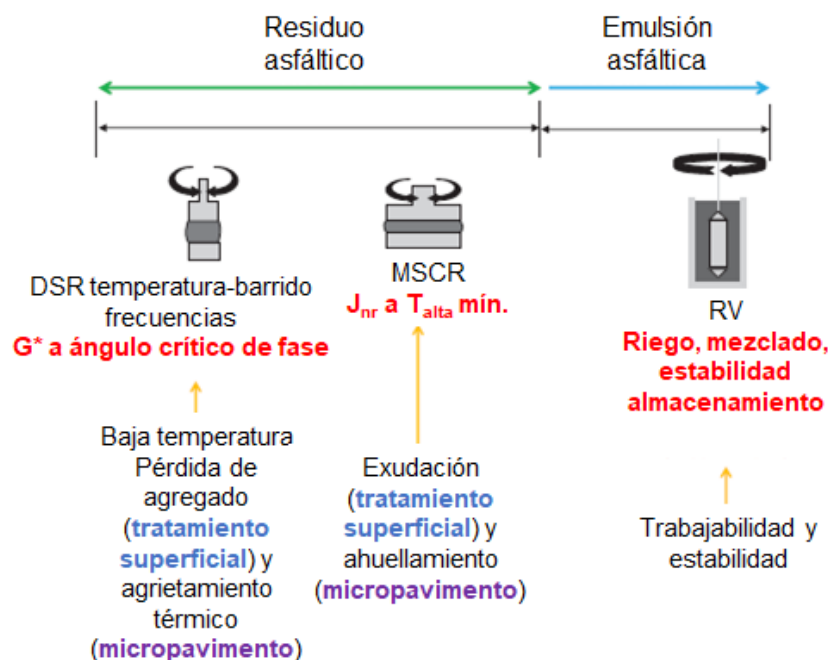


Figura 10. Ensayos para especificación por grado de desempeño de emulsiones asfálticas
Fuente: NCHRP (2017)

Ensayos de desempeño en el sistema agregado-ligante asfáltico

Ensayo de adherencia de asfalto BBS

El ensayo de BBS se utiliza para evaluar el potencial de resistencia al desprendimiento del asfalto y se realiza según la norma de ensayo AASHTO T 361 (2020). El ensayo de BBS mide la tensión requerida para desprender una muestra ligante que está adherida a un sustrato agregado de 100×100×18,75 mm (es decir, la prueba mide la fuerza de adhesión de la muestra asfalto). El ensayo se emplea para cuantificar la resistencia del residuo de la emulsión a la pérdida de agregados. En la Figura 12a se muestra el equipo para el ensayo de BBS. En el ensayo, se usa un tornillo extraíble para adherir el asfalto a una placa de sustrato de agregado. Cuando se ejecuta ensayo, se fija un soporte de anillo al tornillo de extracción para evitar una carga excéntrica. Luego, el anillo de presión se coloca alrededor del tornillo extraíble y se aplica una carga neumática a una tasa que aumenta linealmente hasta que el tornillo extraíble se separe del sustrato (Adams et al., 2017).



Ensayo de Vialit

El ensayo Vialit (Figura 12b) utiliza tanto la gravedad como el impacto para medir la capacidad de retención de agregados de tratamiento superficial al someter una muestra de tratamiento superficial invertida fijada a una placa de acero al impacto de una bola de acero que se deja caer desde una altura fija. El método de ensayo se describe la norma UNE EN 12272-3 (2003) y es relativamente simple de realizar (Adams et al., 2017). Es importante evaluar la adherencia en etapas tempranas de la construcción, a baja temperatura, en seco y humedad o cuando el agregado tiene presencia de polvo. A nivel de especificación se establece que la adherencia, medida con placa Vialit, debe ser mayor a 90 % (Kroger & Kroger, 2020).

La pérdida de agregados está relacionada tanto con las tasas de aplicación del material como con las propiedades del material. El desprendimiento de agregado puede ocurrir bajo diversas condiciones. El desprendimiento temprano puede resultar de un curado inadecuado o del insuficiente desarrollo de resistencia cuando el camino se abre al tránsito vehicular. El desprendimiento tardío resulta de los efectos a largo plazo del tráfico vehicular a temperaturas intermedias y bajas. A temperaturas intermedias, la pérdida de agregados se atribuye principalmente a la pérdida de adhesividad entre el asfalto y los agregados; a bajas temperaturas, la pérdida de agregados es causada por la fractura cohesiva del residuo de asfáltico frágil. El desprendimiento húmedo ocurre como resultado del daño por humedad en el residuo asfáltico. El daño por humedad puede conducir a una reducción significativa en adhesividad entre el residuo asfáltico y el agregado y puede acelerar el desprendimiento a temperaturas intermedias. Para simular el daño por humedad, los especímenes de ensayo, previo al ensayo de desprendimiento, se curan a 25 °C por 4 horas, seguidamente se sumergen en agua a 40 °C por 16 horas, y después se dejan secar y enfriar a 25 °C por 1 hora antes del ensayo (Adams et al., 2017).

Ensayo de barrido

El ensayo de barrido ASTM D 7000 (2019) mide la cantidad de agregado desprendido, a niveles variables de humedad (curado) de una muestra de emulsión asfáltica y agregado,



simulando el barrido de un tratamiento superficial en el laboratorio (Figura 12c). Se aplica emulsión asfáltica y una sola capa de los agregados a un disco de teja asfáltica. Luego, la muestra se acondiciona en un horno a una temperatura y tiempo para llegar a un contenido de humedad prestablecido antes del ensayo. Un mezclador aplica abrasión a la superficie de la muestra con un cepillo de nailon. Después de 1 minuto de abrasión, se detiene la prueba, se elimina cualquier agregado suelto y se calcula el porcentaje de pérdida de masa. El tratamiento superficial se considera listo para su tránsito, cuando la pérdida de agregado del ensayo de barrido es inferior al 10 %. El tiempo de acondicionamiento que da menos del 10% de pérdida agregado se toma como el tiempo de espera para la apertura al tráfico vehicular de un tratamiento superficial recién colocado (Johannes et al., 2011). Este método de ensayo es útil para clasificar emulsiones de rompimiento rápido de acuerdo con el tiempo de apertura al tráfico vehicular (ASTM, 2019). El ensayo sigue siendo muy utilizado ya que evalúa los materiales del proyecto y es un medio para evaluar la adhesión agregado-asfalto. Este procedimiento es relativamente efectivo para evaluar las diferencias en la capacidad de adhesión de diferentes emulsiones con un solo agregado (NCHRP, 2005). La ganancia en resistencia al desprendimiento (adherencia) depende más del contenido de humedad que del tiempo de curado. A medida que la pérdida de humedad se acerca a un rango entre 75 % a 90 %, la resistencia al desprendimiento mejora significativamente (Howard et al. , 2011).

Ensayos de desempeño en la emulsión asfáltica

Capacidad de riego (sprayability) y resistencia al escurrimiento (drainout)

La emulsión asfáltica utilizada para aplicaciones de riego debe tener valores bajos de viscosidad para que pueda aplicarse uniformemente a través de la barra de rociado del distribuidor, pero al mismo tiempo debe ser lo suficientemente viscoso para no drenar desde la corona o pendiente de la carretera. Este método de ensayo utiliza un viscosímetro rotacional y una cámara térmica de temperatura controlada para medir la viscosidad de la emulsión asfáltica (Figura 12d). El ensayo se lleva a cabo a variando la velocidad de corte en tres pasos para simular las condiciones de manipulación y aplicación de la emulsión en



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 47 de 67

los riegos y tratamientos superficiales; estas condiciones incluyen bombeo, riego y escurrimiento (Figura 11). El espécimen de ensayo se ensaya a una velocidad de corte de $4,65 \text{ s}^{-1}$ (5 RPM) durante 15 minutos, luego la velocidad de corte se cambia a 142 s^{-1} (150 RPM) durante 5 minutos y luego vuelve a una tasa de corte de $4,65 \text{ s}^{-1}$ durante 5 minutos. El torque y la velocidad de rotación se utilizan para determinar la viscosidad del asfalto. Los resultados se utilizan para determinar la capacidad de riego (la facilidad con la que se puede rociar la emulsión asfáltica) y la resistencia al escurrimiento (NCHRP, 2017).

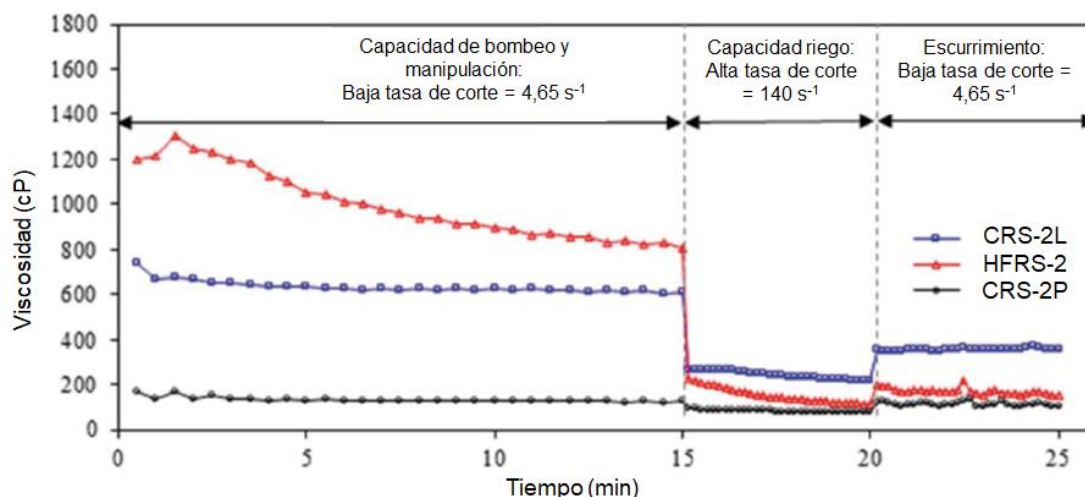


Figura 11. Resultados típicos de ensayo de corte a tres pasos con viscosímetro rotacional
Fuente: NCHRP (2017)

Resistencia a la separación física y cambio en las propiedades reológicas

Este método de ensayo cubre el procedimiento para evaluar la capacidad de la emulsión asfáltica para permanecer homogénea y resistir la separación física o el cambio en las propiedades reológicas durante el almacenamiento, mediante el viscosímetro rotacional (Figura 12d y 12e) según la norma de ensayo AASHTO T 316 (2019). La estabilidad durante el almacenamiento se evalúa en función de la resistencia al cambio tanto en las propiedades físicas como en las propiedades reológicas después de un tiempo de acondicionamiento prescrito. La estabilidad frente a la separación física o la homogeneidad se evalúa comparando las proporciones de viscosidad medidas a partir de muestras tomadas de la



parte superior e inferior de un cilindro colocado en un almacenamiento simulado sin perturbaciones durante un período de tiempo específico (Figura 10e). El resultado se expresa mediante una relación de separación (R_s), calculada como la relación de las viscosidades de las dos muestras. La estabilidad frente al cambio en las propiedades reológicas se evalúa midiendo la viscosidad de la emulsión asfáltica antes y después del acondicionamiento. El resultado se expresa mediante una relación de degradación (R_d), determinada como la relación de la viscosidad antes del acondicionamiento con respecto a la viscosidad después del acondicionamiento.

Ensayos de desempeño en el residuo asfáltico

Resistencia a la exudación y ahuellamiento

La resistencia a la exudación y al ahuellamiento se puede evaluar mediante el ensayo de creep (fluencia) y recuperación del ligante asfáltico a esfuerzos múltiples (MSCR) utilizando reómetro de corte dinámico (DSR) de acuerdo con la norma de ensayo AASHTO T 350 (2019) (Figura 12f). Este método está diseñado para identificar la presencia de la respuesta elástica en un ligante asfáltico y el cambio en la respuesta elástica a dos niveles de esfuerzo diferentes mientras se somete a diez ciclos de esfuerzos de fluencia y recuperación. Se ha demostrado que el creep compliance no recuperable (J_{nr}) es un indicador de la resistencia de un ligante asfáltico a la deformación permanente bajo carga repetida. A la temperatura máxima del pavimento el ligante deberá tener el valor de J_{nr} más bajo posible para que sea resistente a la deformación permanente (plástica). Los ensayos se realizan sobre el residuo asfáltico recuperado mediante el procedimiento de recuperación de residuos de emulsiones asfálticas utilizando técnicas de evaporación de baja temperatura según la norma de ensayo AASHTO R 78 (2020), método B.

Resistencia al desprendimiento de agregados a bajas temperaturas

Este método de ensayo cubre el procedimiento para determinar el módulo de corte dinámico del residuo de una emulsión asfáltica a valores de ángulo de fase críticos mediante la realización de un barrido de frecuencias con el reómetro de corte dinámico (DSR) a



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 49 de 67

temperaturas intermedias (Figura 12f). Conforme mayor sea el módulo de corte del asfalto, este será más rígido y susceptible al desprendimiento del agregado, así como a menor ángulo de fase. El ensayo realiza sobre el residuo asfáltico para evaluar la resistencia al agrietamiento térmico en micropavimentos y la resistencia al desprendimiento de agregados en los tratamientos superficiales. Los especímenes de ensayo tienen una altura de 2,0 mm entre placas paralelas de 8 mm de diámetro. Durante el ensayo, los especímenes de ensayo se someten a oscilaciones torsionales a frecuencias preseleccionadas y amplitudes de deformación rotacional. Los ensayos se realizan sobre el residuo asfáltico recuperado según la norma de ensayo AASHTO R 78 (2020), método B.

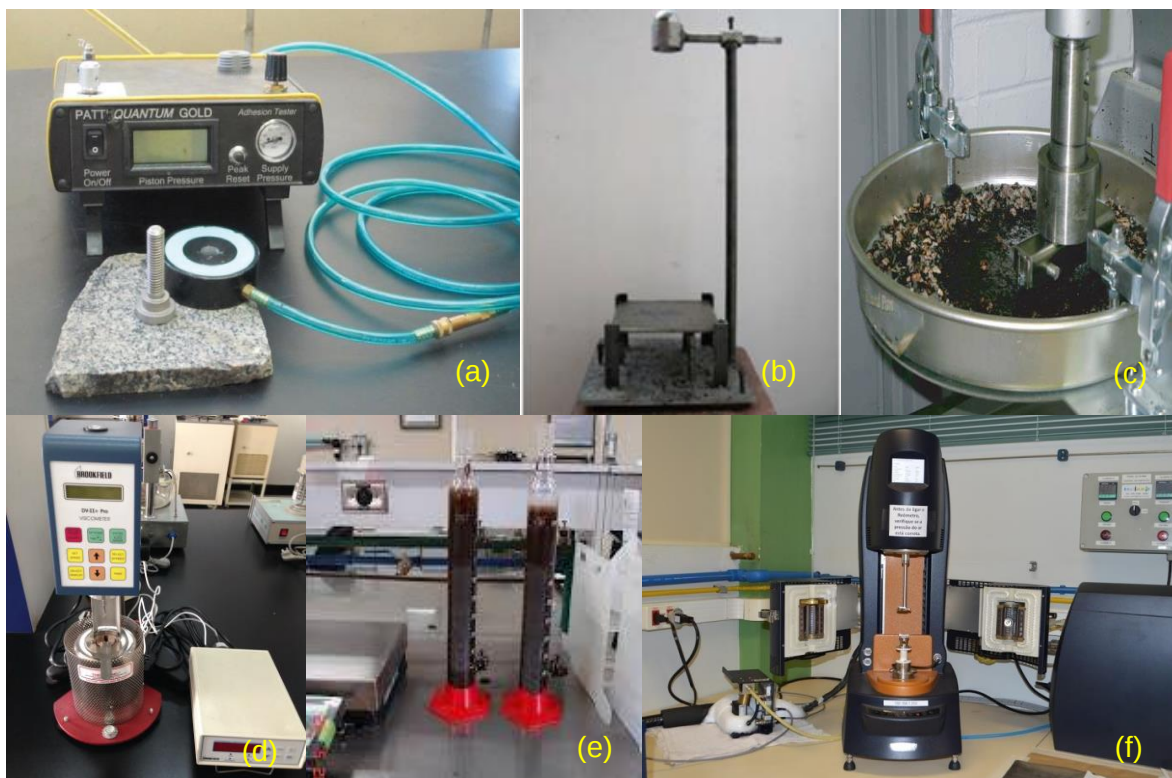


Figura 12. Equipos para ensayos de desempeño en tratamientos superficiales: (a) BBS, (b) Vialit, (c) barrido (c), viscosímetro rotacional (d), probetas de estabilidad (e) y reómetro de corte dinámico (f)

En la Tabla 11 se muestra un resumen de los métodos de ensayo para desempeño de TS.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 50 de 67

Tabla 11. Métodos de ensayo para evaluar el desempeño de tratamientos superficiales

Matriz	Propiedad	Método de ensayo	Parámetro medido
Agregado-ligante asfáltico	Tiempo de apertura al tráfico	Ensayo de barrido (ASTM D 7000)	Porcentaje de pérdida de agregado
	Adhesividad a temperaturas intermedias	Ensayo de adhesividad con placa Vialit (UNE-EN 12272-3)	Porcentaje de pérdida de agregado
	Adhesividad y compatibilidad del ligante asfáltico con el agregado	Ensayo de adherencia de asfalto BBS (AASHTO T 361)	Resistencia a la tracción, POTS
Emulsión asfáltica	Estabilidad de almacenaje	Asentamiento y sedimentación	Viscosidad rotacional, η
			Relación de separación a 24 h, R_s
	Capacidad de riego	AASHTO TP 48 modificado	Relación de estabilidad a 24 h, R_d
Residuo asfáltico	Resistencia al escurrimiento	AASHTO TP 48 modificado	Viscosidad rotacional, η , @ alta tasa de corte
	Exudación a alta temperatura EPG	Creep y recuperación del ligante asfáltico a esfuerzos múltiples (AASHTO T 350)	Viscosidad rotacional, η , @ baja tasa de corte
	Desprendimiento a baja temperatura EPG	Barrido de frecuencias con el reómetro de corte dinámico (DSR)	Creep compliance no recuperable, J_{nr}
			Módulo de corte dinámico (G^*) a $\delta_{crítico}$

La Tabla 12 contiene las especificaciones propuestas por grado por desempeño de emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales (NCHRP, 2017). Los ensayos de desempeño son los antes descritos para la emulsión y el residuo asfáltico.



Tabla 12. Especificaciones por grado de desempeño para tratamientos superficiales

GRADO DE DESEMPEÑO	EPG 49				EPG 55				EPG 61				EPG 67				EPG 73				EPG 79			
Temperaturas	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25
Temperatura máxima promedio de diseño de la superficie del pavimento, de 7 días, °C ^a	< 49				<55				<61				<67				<73				<79			
Temperatura mínima de diseño de la superficie del pavimento, °C ^a	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25
Métodos de ensayo propuestos ^b	Temperatura propuesta de ensayo																							
Ensayos en la emulsión asfáltica																								
Estabilidad del almacenaje AASHTO T 59 modificado Viscosidad rotacional: -Relación de separación a 24 horas (Rs): 0,5 a 1,5 -Relación de estabilidad a 24 horas (Rd): 2 máx.	60																							
Capacidad de riego AASHTO TP 48 modificado Viscosidad @ 3 tasas de corte: 400 cP máx. @ alta tasa de corte (150 rpm)	60																							
Resistencia al escurrimiento AASHTO TP modificado Viscosidad @ 3 tasas de corte: 50 cP mín. @ baja tasa de corte (5 rpm)	60																							
Demulsibilidad AASHTO T 59. 40 % mín. aniónicas 60 % mín. catiónicas	25																							
Carga de partícula AASHTO T 59. Carga de partícula: Positiva (catiónica)	25																							



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 52 de 67

GRADO DE DESEMPEÑO	EPG 49				EPG 55				EPG 61				EPG 67				EPG 73				EPG 79			
Temperaturas	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25
Temperatura máxima promedio de diseño de la superficie del pavimento, de 7 días, °C ^a	< 49				<55				<61				<67				<73				<79			
Temperatura mínima de diseño de la superficie del pavimento, °C ^a	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25
Métodos de ensayo propuestos ^b	Temperatura propuesta de ensayo																							
Malla 20 % masa. 0,1 % máx.	25																							
Solubilidad AASHTO T 44. % solubilidad. 97,5 % mín.	25																							
Flotabilidad AASHTO T 50. Tiempo de flotabilidad. 1200 s mín.	60																							
Ensayos en el residuo asfáltico recuperado usando la norma de ensayo AASHTO T 78 método B																								
Residuo asfáltico AASHTO R 78 % de residuo. 65 % mín. (catiónica), 63 % mín. (aniónica)	25																							
Resistencia a exudación y ahuellamiento AASHTO T 350 Creep compliance no recuperable, J _{nr} J _{nr} máx. @ 3,2 kPa, 8 kPa ⁻¹ (tráfico bajo) ^d J _{nr} máx. @ 3,2 kPa, 5,5 kPa ⁻¹ (tráfico medio) ^e J _{nr} máx. @ 3,2 kPa, 3,5 kPa ⁻¹ (tráfico alto) ^f	49				55				61				67				73				79			



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 53 de 67

GRADO DE DESEMPEÑO	EPG 49				EPG 55				EPG 61				EPG 67				EPG 73				EPG 79			
Temperaturas	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25	-7	-13	-19	-25
Temperatura máxima promedio de diseño de la superficie del pavimento, de 7 días, °C ^a	< 49				<55				<61				<67				<73				<79			
Temperatura mínima de diseño de la superficie del pavimento, °C ^a	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25	>-7	>-13	>-19	>-25
Métodos de ensayo propuestos ^b	Temperatura propuesta de ensayo																							
Resistencia al desprendimiento a baja temperatura	5 °C y 15 °C																							
Barrido de frecuencia y temperatura con DSR	Ángulo de fase crítico, δ_c (°)																							
G* @ ángulo de fase crítico, δ_c G* máx. @ δ_c : 30 MPa (tráfico bajo) ^d G* máx. @ δ_c : 20 MPa (tráfico medio) ^e G* máx. @ δ_c : 12 MPa (tráfico alto) ^f	54	51	48	45	54	51	48	45	54	51	48	45	54	51	48	45	54	51	48	45	54	51	48	45

Nota. (a) Las temperaturas de la superficie del pavimento se estiman a partir de las temperaturas del aire usando un algoritmo contenido en el programa LTPP Bind o puede ser proporcionada por la agencia de especificaciones. (b) La fuerza de adherencia del ligante asfáltico (BBS) debe usarse de acuerdo con AASHTO T 361 para medir la resistencia a la pérdida de agregado debido a problemas de compatibilidad entre el agregado y la emulsión a temperatura intermedia, que es el promedio del grado de rendimiento de emulsión alto y bajo, más 4 grados. (c) Solo para emulsiones de alta flotación. (d) Bajo tráfico se define como cualquier carretera con un TPDA entre 0 y 500 vehículos. (e) Se define tránsito medio como toda carretera con un TPDA entre 501 y 2500 vehículos. (f) Alto tráfico se define como cualquier carretera con un TPDA entre 2501 y 20000 vehículos.

Fuente: NCHRP (2017)



Experiencia en LanammeUCR en el diseño de emulsiones de alta viscosidad

La experiencia en la elaboración de emulsiones de alta viscosidad en el LanammeUCR comprende las tesis de licenciatura de Sylvia Andrea Vargas Monge “Diseño de mezcla de laboratorio para sellos asfálticos chip seals para su utilización en Costa Rica y elaboración de manual” (Vargas, 2016) y de Luis Diego Herra Gómez “Propuesta de manual para el diseño del material en tratamientos superficiales de una, dos y tres capas en Costa Rica” (Herra, 2016).

En la Tesis de Sylvia Vargas Monge se diseñó en el laboratorio una emulsión de alta viscosidad la cual se caracterizó según las especificaciones técnicas del Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA, 2004) y se evaluó el desempeño mediante ensayos de desprendimiento de agregado con el equipo de barrido ASTM D 7000. Para obtener una viscosidad alta (> 100 sSF) se requirió rebajar el asfalto a una tasa de 3,5 % sobre el peso total de asfalto, usar un alto contenido de asfalto (68 %) y controlar el tiempo de emulsificación (molienda). En la evaluación del desempeño se observó, que en comparación con una emulsión de baja viscosidad rebajada con búnker (CRS-1), la emulsión de alta viscosidad (CRS-2), tuvo una mejor adherencia con el agregado y menor escurrimiento mediante el ensayo de barrido.

En la Tabla 13 se muestra la formulación de la emulsión CRS-2 utilizada. En la Tabla 14 se observa la caracterización de la emulsión asfáltica. La emulsión CRS-2 tuvo un buen desempeño a pesar de que no cumplió con la penetración. El queroseno es un solvente muy volátil que, en el momento de hacer el ensayo de destilación, se evapora por completo dejando el residuo asfáltico con una penetración muy cercana al asfalto original. El RTCA tiene la limitante que no cuenta con especificaciones para emulsiones de rompimiento rápido con residuo asfáltico duro como por ejemplo la CRS-2h.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 55 de 67

Tabla 13. Formulación de emulsión CRS-2

Variable	Valor
Emulsificante	Indulin AA-89
Contenido de emulsificante	0,25%
Contenido de queroseno	3,5%
Contenido de asfalto	68%
pH de la fase jabonosa	2,0
Temperatura de fase jabonosa	50 °C
Temperatura del asfalto	140°C
Tiempo de molienda	30 s

Fuente: Vargas (2016)

Tabla 14. Caracterización de emulsión CRS-2

Ensayo	Valor	Especificación CRS-2
Tamiz N°20 (%)	0,0091	0,1 máx.
Viscosidad Saybolt Furol (Ssf)	274,09	100-400
Residuo asfáltico (%)	66,93	65 mín.
Estabilidad a 24 h (%)	0,11	1 máx.
Demulsibilidad (%)	85,93	40 mín.
Carga eléctrica	Positiva	Positiva
Penetración (1/100 mm)	66	100-250
Ductilidad (cm)	100	40 mín.
Solubilidad en tricloroetileno (%)	99,97	97,5 mín.

Fuente: Vargas (2016)

La tesis de Luis Diego Herra Gómez propuso una metodología de diseño para tratamientos superficiales mediante la elaboración de un manual de diseño. Para la elaboración de los tratamientos superficiales utilizados en la investigación se utilizaron agregados típicos provenientes de la zona de Guápiles de acuerdo con las granulometrías C, D y E del CR-2010, y dos emulsiones asfálticas de rompimiento rápido: la emulsión CRS-1 con asfalto rebajado con búnker y una emulsión propuesta CRS-2, la cual fue la misma que se utilizó en la tesis de Sylvia Vargas Monge. Para evaluar el desempeño de los tratamientos superficiales se utilizó el ensayo de barrido ASTM D 7000 para medir el desprendimiento



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 56 de 67

de agregado en su etapa inicial y el ensayo Vialit para medir la adherencia entre el agregado y la emulsión. Se observó que en general para el ensayo de barrido el TS con emulsión CRS-2 tiene un mejor desempeño al presentar un menor desprendimiento de agregado (Figura 13). La viscosidad de la emulsión CRS-1 afectó significativamente el desempeño de los tratamientos superficiales dobles, ya que su baja viscosidad facilitó el escurrimiento a través de los agregados de la primera capa. Como consecuencia, la emulsión disponible para retener las partículas de la segunda capa fue insuficiente, lo cual propició una mayor pérdida de agregado. La viscosidad de la emulsión CRS-2 evita que la emulsión se escurra a través de capas subyacentes, lo que permite que los agregados de capas superiores tengan emulsión disponible para quedar adecuadamente embebidos.

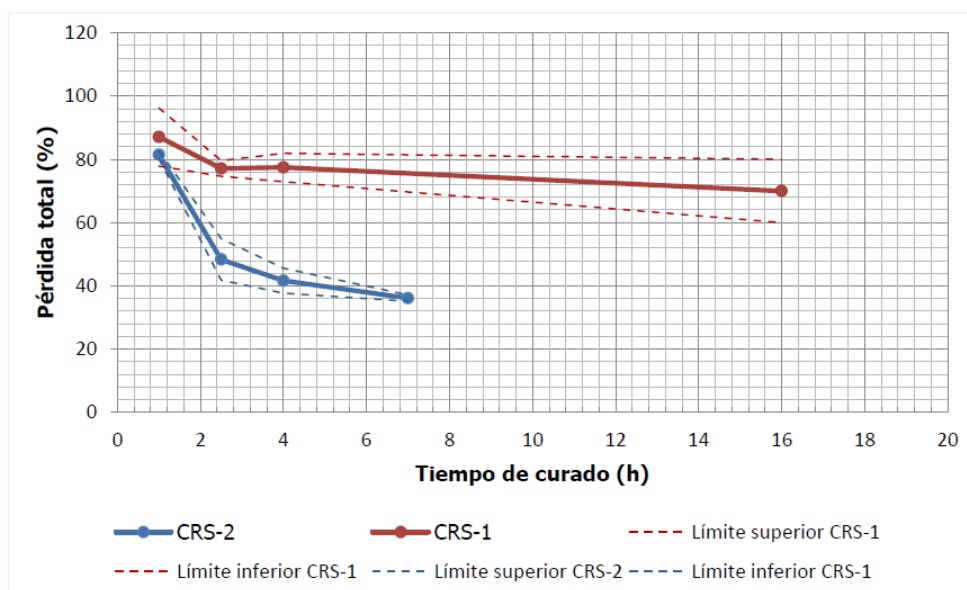


Figura 13. Resultados de ensayo de barrido para tratamientos superficial de doble capa
Fuente: Herra (2016)

Con el ensayo de Vialit se observó que todos los agregados que se desprendieron de la placa de Vialit quedaron recubiertos de asfalto. En cuanto a la cantidad de agregados desprendidos, se determinó que las muestras elaboradas con la emulsión CRS-1 presentaron un menor desprendimiento (Figura 14), esto asociado posiblemente con la



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 57 de 67

rigidez de los residuos asfálticos a - 22 °C. Se consideró que este ensayo no permitió discriminar cuál de las emulsiones utilizadas provee la mejor adherencia.

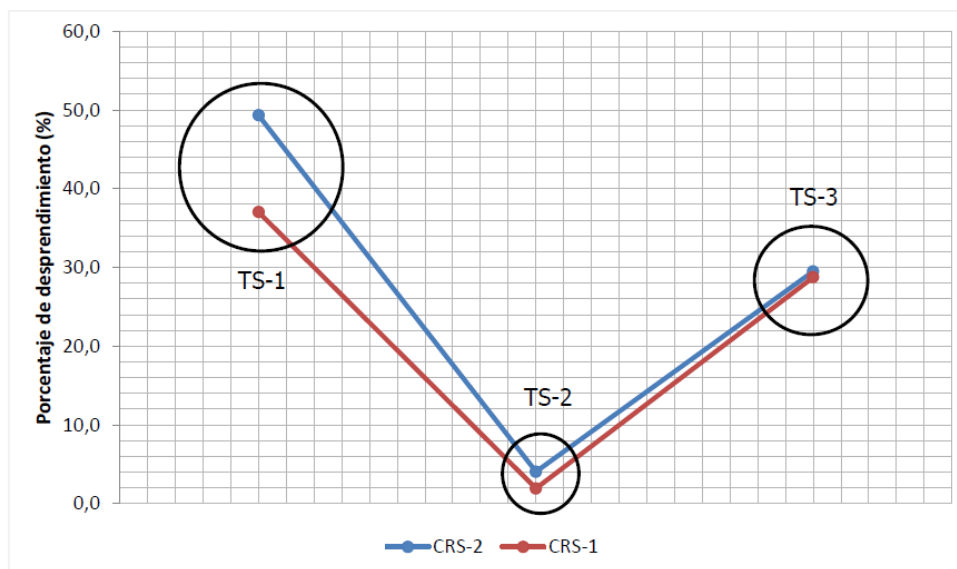


Figura 14. Resultados de ensayo de Vialit

Fuente: Herra (2016)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Un factor que incide directamente sobre el desempeño de los tratamientos superficiales es la viscosidad de la emulsión asfáltica. Deber ser de alta viscosidad tal que permita el bombeo y riego, el adecuado embebido del agregado y que no sea propensa al escurrimiento.
2. La aplicación con emulsiones de alta viscosidad modificadas con polímero reduce la susceptibilidad a la temperatura, proporciona una mayor adhesión a la superficie existente, aumentan la retención de los agregados y permite tiempos de apertura al tráfico vehicular más cortos.



3. Las especificaciones técnicas nacionales para tratamientos superficiales señalan el uso de emulsiones de alta viscosidad para tratamientos superficiales, siendo indispensable que se produzcan este tipo de emulsiones asfálticas en Costa Rica.
4. Para aumentar la viscosidad de una emulsión asfáltica se pueden implementar una serie de estrategias a nivel de formulación, composición y mecánica del proceso de emulsificación. La formulación comprende el uso de emulsificantes para emulsiones de alta viscosidad, asfaltos más blandos y aditivos. Con respecto a la composición aumentar el contenido de asfalto y de agente emulsificante, aumentar la temperatura del asfalto y la fase jabonosa y disminuir la cantidad de ácido. En cuanto la mecánica de emulsificación, aumentar la tasa de flujo, disminuir la apertura del molino y aumentar el tiempo de molienda. De todas las anteriores las que comúnmente se aplican son el uso de emulsificantes para emulsiones de alta viscosidad y aumentar el contenido de asfalto, esta última es la alternativa más costosa para el fabricante de emulsiones. Aunque al tener un mayor residuo asfáltico implicaría menores tasas de dosificación en campo.
5. Para medir el desempeño de las emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales se realizan ensayos en el sistema agregado-emulsión asfáltica, en la emulsión asfáltica y en el residuo asfáltico. Entre los ensayos para el sistema agregado-emulsión asfáltica se encontraron el ensayo BBS, de barrido y Vialit, los cuales miden adherencia y susceptibilidad al desprendimiento del agregado. Los ensayos en la emulsión asfáltica incluyen el ensayo de capacidad de riego y resistencia al escurrimiento y resistencia a la separación física y cambio en las propiedades reológicas, ambos ensayos se realizan con el viscosímetro rotacional. Sobre el residuo asfáltico se realizan ensayos con el reómetro de corte dinámico para medir resistencia a la exudación y ahuellamiento, y resistencia al desprendimiento a baja temperatura. Los ensayos en la emulsión y el residuo asfáltico están dentro la propuesta de especificaciones por grado por desempeño para tratamientos superficiales.



6. En el LanammeUCR se diseñó una emulsión asfáltica de alta viscosidad para tratamientos superficiales para dos investigaciones de tesis de licenciatura, la cual implicó el uso de un alto contenido de asfalto (68 %), la incorporación de queroseno como solvente en el asfalto (3,5% sobre el peso de asfalto) y control en el tiempo de molienda para cumplir con la viscosidad requerida de la emulsión. Se cumplió con todas las especificaciones de calidad del RTCA excepto con la penetración del residuo asfáltico por la alta volatilidad del queroseno. La emulsión CRS-2 tuvo un mejor desempeño que la emulsión CRS-1 mostrando una mejor adherencia con el agregado y menor escurrimiento.

Recomendaciones

1. Para elaborar emulsiones asfálticas de alta viscosidad en el laboratorio se recomienda usar contenidos de asfalto mayores al 65 % o implementar el uso de agentes emulsificantes que faciliten la obtención de altas viscosidades de estar disponibles. Es importante controlar la temperatura de la fase jabonosa y el asfalto, así como el tiempo de molienda. Considerar el utilizar un contenido de emulsificante y ácido ligeramente más alto. Con estas consideraciones se obtendrán tamaños de partículas más pequeños, así como distribuciones de tamaño de partícula más angostas lo cual propicia un aumento en la viscosidad.
2. Para el diseño de la emulsión se recomienda hacer un análisis factorial donde evalúe el efecto del contenido de asfalto y emulsificante en la viscosidad.
3. Para medir el desempeño de la emulsión de alta viscosidad para tratamientos superficiales se recomienda realizar ensayos tanto, en el sistema agregado-emulsión asfáltica como en la emulsión y el residuo asfáltico. Estos ensayos de desempeño deben evaluar la capacidad de bombeo, riego, resistencia al escurrimiento de la emulsión asfáltica, resistencia al desprendimiento de agregado, resistencia a la exudación y ahuellamiento, y la adhesión asfalto-agregado.
4. Se recomienda diseñar en el laboratorio dos emulsiones de alta viscosidad para tratamientos superficiales: CRS-2h y CRS-2hL. Ambas son de residuo asfáltico duro



tomando en cuenta el tipo de asfalto base que se tiene disponible en Costa Rica, esto no implicaría rebajar el asfalto para cumplir criterios de penetración. Por el mayor desempeño que muestran las emulsiones modificadas con polímero sería beneficioso que se considere también su evaluación dentro de un proyecto de investigación para el desarrollo de emulsiones de alta viscosidad. Ambas emulsiones asfálticas están especificadas en el CR-2020 y en las normas INTECO.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2017). *Standard practice for selection and use of Emulsified Asphalts AASHTO R 5*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2018). *Standard specification for cationic emulsified asphalt AASHTO M 208*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2018). *Standard specification for polymer-modified emulsified asphalt AASHTO M 316*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2019). *Multiple stress creep recovery (MSCR) test of asphalt binder using a dynamic shear rheometer (DSR) AASHTO T 350*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2019). *Viscosity determination of asphalt binder using rotational viscometer AASHTO T 316*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2020). *Determining asphalt binder bond strength by means of the binder bond Strength (BBS) Test AASHTO T 361-16*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2020). *Recovering residue from emulsified asphalt using low-temperature evaporative techniques AASHTO R 78*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 61 de 67

- AASHTO. (2020). *Standard specification for emulsified asphalt AASHTO M 140*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2020). *Standard specification for materials for emulsified asphalt chip seals AASHTO MP 27*. Washington, D. C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2021). *Best practices for emulsified asphalt chip seals*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Adams et al. (2017). Addressing raveling resistance in chip seal specifications. *Journal of the Transportation Research Board*, 39-46. doi:10.3141/2612-05
- AENOR. (2003). *Determinación de la adhesión entre ligante y árido por el método de ensayo de choque de la placa vialit UNE-EN 12272-3*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación .
- Akso Nobel. (2009). *Productos y aplicaciones*. San José, Costa Rica: Akso Nobel.
- Akso Nobel. (2014). *Emulsiones bituminosas*. Chicago, Estados Unidos: Akso Nobel.
- Alade et al. . (2022). Experimental and numerical studies on production scheme to improve energy efficiency of bitumen production through insitu oil-in-water (O/W) emulsion. *Energy*, 244. doi:10.1016/j.energy.2021.122700
- Al-Mohammedawi, A., & Mollenhauer, K. (2022). Current research and challenges in bitumen emulsion manufacturing and its properties. *Materials*. doi:10.3390/ma15062026
- Arkema-Roadscience. (2019). *Emulsifier and emulsion performance-improving additive chemistry*. Tulsa Oklahoma: Arkema-Roadscience.
- Asphalt Institute. (2008). *MS-19 Basic Asphalt Emulsion Manual*. Lexington, Kentucky: Asphalt Institute.
- Asphalt Institute. (2009). *MS-16 Asphalt in Pavement Preservation and Maintenance*. Lexington, Kentucky: Asphalt Institute.
- ASTM. (2016). *Standard test method for float test for bituminous materials ASTM D 139*. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 62 de 67

- ASTM. (2019). *Standard test method for sweep test of emulsified asphalt surface treatment sample ASTM D 7000*. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM. (2021). *Standard Practice for selection and use of emulsified asphalts ASTM D3628*. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM Internacional.
- Austroroads. (2004). *Sprayed Sealing Guide AP-676/104*. Sydney, Australia: Austroroads.
- Barnes, H. (1994). Rheology of emulsions. A review. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 91(3), 89-95. doi:10.1016/0927-7757(93)02719-U
- Baumgardner, G. (2006). Asphalt emulsion manufacturing today and tomorrow. *Transportation Research Circular E-C102: Asphalt Emulsion Technology*, 16-25.
- Boussad et al. (1995). La distribution granulométrique des émulsions bitume: Un paramètre clé pour ajuster leur viscosité. *Rev. Gen*, 1, 72-73.
- Buss et al. (2018). *Enhancing the fundamental knowledge and use of asphalt emulsions using systematic scientific and engineering approaches*. Ames, Iowa: Institute for Transportation. Iowa State University.
- Chen et al. (2022). Factors Influencing the droplet size of asphalt emulsion. *Coatings*, 12(575). doi:10.3390/coatings12050575
- Cui, D., & Pang, J. (2017). The effect of pH on the properties of a cationic bitumen emulsifier. *Tenside Surfactants Detergents*. doi:10.3139/113.110520
- FHWA. (2003). *Standard specifications for construction of roads and bridges on federal highway projects (FP-03)*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- FHWA. (2014). *Standard specifications for construction of roads and bridges on federal highway projects (FP-14)*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- Furlong et al. (1999). Water enclosed within the droplets of bitumen emulsions and its relation to viscosity changes during storage. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 152(1), 147-153. doi:10.1016/S0927-7757(98)00628-1



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 63 de 67

- Gingras et al. (2005). Effect of process parameters on bitumen emulsions. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(9), 979-986. doi:10.1016/j.cep.2005.01.003
- Herra, L. (2016). *Propuesta de un manual para el diseño del material en tratamientos superficiales de una, dos y tres capas en Costa Rica [Tesis de licenciatura]*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Hinkle, A. (1928). Maintenance of gravel and stone roads especially surface treatments. *Highway Research Board Proceedings*, 7, 270-273.
- Howard et al. . (2011). Correlation of moisture loss and strength gain in chip seals. *Journal of the Transportation Research Board*, 49-57. doi:10.3141/2207-07
- Ignatavicius et al. (2021). Experimental investigation of optimum adhesion properties for anionic emulsions in road maintenance applications. *Construction and Building Materials*, 304. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.124678
- Ingevity. (2016). *Indulin Chipseal*. North Charleston, Carolina del Sur: Ingevity.
- INTECO. (2020). *Emulsión asfáltica catiónica. Especificaciones INTE C 382*. San José, Costa Rica: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.
- INTECO. (2020). *Emulsión asfáltica modificada con polímero. Especificaciones INTE C 383*. San José, Costa Rica: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.
- INTECO. (2020). *Emulsión asfáltica. Especificaciones INTE C 381*. San José, Costa Rica: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.
- ISSA. (2012). *Recommended performance guideline for chip seal A165*. Glen Ellyn, Illinois: International Slurry Surfacing Association.
- Jackson et al. . (1990). Washington state chip seal study. *Transportation Research Record, National Research Council*, 1-10.
- James, A. (1997). Solving emulsion viscosity problems by the choice of emulsifier. *24th AEMA Meeting*. Cancún, Mexico: Asphalt emulsions manufacturers Association.
- James, A. (2006). Overview of asphalt emulsion. *Transportation Research Circular E-C102: Asphalt Emulsion Technology*, 1-15.
- Janisch, D., & Gaillard, F. (1998). *Minnesota seal coat handbook*. Maplewood, Minnesota: Minnesota Department of Transportation, Office of Minnesota Road Research.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 64 de 67

Johannes et al. (2011). Sensitivity of ASTM D7000 sweep test to emulsion application rate and aggregate gradation. *Journal of the Transportation Research Board*, 95-102. doi:10.3141/2235-11

Johnson, J., & King, G. (2008). *Using polymer modified asphalt emulsions in surface treatments*. Federal Lands Highway.

Kao. (2013). *Asfier N100-L Technical data sheet*. México, D. F.: QuimiKao S.A. de C.V.

Kroger, I., & Kroger, S. (2020). *Tratamientos superficiales de alto desempeño*. Canelones, Uruguay: Grupo Bitafal.

LanammeUCR. (2008). *Evaluación de prácticas constructivas de conservación vial en las rutas 131, 742, y 21 y pesaje de vagonetas de mezcla asfáltica en la ruta 131 (Informe: LM-AT-93-08)*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA).

LanammeUCR. (2011). *Evaluación de la condición de la ruta nacional N°256, Honey Creek-Manzanillo (Informe: LM-AT-PI-080-2011)*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA).

LanammeUCR. (2022). *Conformación y análisis preliminar de la inversión en la red vial nacional no pavimentada (Informe: EIC-Lanamme-INF-0337-2021)*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA).

Lesueur et al. (2003). The rheological properties of bitumen emulsions part II experimental characterization. *Road Materials and Pavement Design*, 169-184. doi:10.1080/14680629.2003.9689945

McHattie, R. (2001). *Asphalt surface treatment guide. Report FHWA-AK-RD-01-03*. Juneau, Alaska: Alaska Department of Transportation and Public Facilities.

Mercado et al. (2008). *Emulsiones asfálticas. Usos y rompimiento*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.

MOPT . (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010)*. San José, San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

MOPT. (2022). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2020)*. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 65 de 67

Nagata, S. (1975). *Mixing: principles and applications*. Tokyo, Japón: Halsted press.
doi:10.1002/aic.690220234

NCHRP. (2005). *Chip seal best practices. NCHRP synthesis 342*. Washigton D.C.:
Transportation Research Board of the National Academies.

NCHRP. (2011). *Manual for emulsion-based chip seals for pavement preservation. Research report 680*. Washigton D.C.: The National Academies Press.

NCHRP. (2017). *Performance-related specifications for emulsified asphaltic binders used in preservation surface treatments. Research report 837*. Washington, D.C.: The National Academies Press. doi:10.17226/24694

Nouryon. (2021). *Asphalt applications*. Chicago, Estados Unidos: Nouryon.

Pintor, F. (1985). *Las emulsiones asfálticas en la construcción de tratamientos superficiales en Costa Rica [Tesis de licenciatura]*. San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

PITRA. (2017). *Tratamientos superficiales como alternativa en rutas de lastre*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte.

PPRA. (5 de Julio de 2022). *Pavement Preservation & Recycling Alliance* . Obtenido de Treatment Resource Center:
https://roadresource.org/treatment_resources/chip_seal

Ramírez et al. (2002). Drop size distribution bimodality and its effect on O/W emulsion viscosity. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 309-321.
doi:10.1080/01932690208984207

RECOPE. (20 de Marzo de 2019). *RECOPE*. Obtenido de Modernizan infraestructura de producción de emulsiones asfálticas en el Plantel del Alto:
<https://www.recope.go.cr/modernizan-infraestructura-produccion-emulsiones-asfalticas-plantel-del-alto/>

RTCA. (2004). *Productos de petróleo. Asfaltos. Especificaciones. RTCA 75.01.22:04*. Reglamento Técnico Centroamericano.

Shell. (2015). *The Shell bitumen handbook*. Westminster, Londres: ICE Publishing.

Sherman, P. (1968). *Emulsion Science*. Nueva York, Estados Unidos: Academic Press.



EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 66 de 67

- Sherman, P. (1970). *Industrial rheology with particular reference to foods, pharmaceuticals, and cosmetics*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- Shuler, S. (1991). High traffic chip seal construction: the Tulsa test road. *Transportation Research Board*, 116-124.
- Sittenfeld, M. (1979). *Usos y abusos de los tratamientos superficiales en Costa Rica [Tesis de licenciatura]*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Tadros, T. (2010). *Rheology of dispersions*. Weinheim, Alemania: Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA.
- Takamura, k. (2003). Improved fatigue resistance of asphalt emulsion residue modified with SBR latex. *AEMA Annual Meeting*. Nashville, Tennessee.
- Takamura, K., & James , A. (2015). Paving with asphalt emulsions. *Advances in Asphalt Materials*, 393-426. doi:10.1016/B978-0-08-100269-8.00013-1
- Tausk, R., & Wilson, P. (1981). Colloid chemical studies on bitumen-in-water emulsions part I. absorption of water in the bitumen droplets and other factors affecting emulsion viscosity. *Colloids and Surfaces*, 2(1), 71-80. doi:10.1016/0166-6622(81)80054-6
- Transit NZ. (2005). *Chipsealing in New Zealand*. Wellington, Nueva Zelandia: Transit New Zealand, Road Controlling Authorities.
- TXDOT. (2003). *Seal coat and surface treatment manual*. Austin, Texas: Texas Department of Transportation.
- TXDOT. (2010). *Seal coat and surface treatment manual*. Austin, Texas: Texas Department of Transportation.
- Vargas, S. (2016). *Diseño de mezcla de laboratorio para los sellos asfálticos "Chip seals" para su utilización en Costa Rica y elaboración del manula [Tesis de licenciatura]*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Vladislavljevic, G., & Schubert, H. (2002). Preparation and analysis of oil-in-water emulsions with a narrow droplet size distribution using Shirasu-porous-glass (SPG) membranes. *Desalination*, 144, 167-172. doi:10.1016/S0011-9164(02)00307-7
- Wegman, S. (1991). *Design and construction of seal coats*. Mendota Heights, Minnesota: Minnesota Department of Transportation.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-INF-1003-2022

Página 67 de 67

Zaniewski, J., & Mamlouk, M. (1996). *Preventive maintenance effectiveness. Preventive maintenance treatments. Participant's handbook*. Washington, D.C: Federal Highway Administration.