



# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-0001-2024

Informe de avance

Diseño y evaluación del desempeño de 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 i) 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

Diciembre, 2024



<b>1. Informe</b> EIC-Lanamme-INF-0001-2024		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo</b> Diseño y evaluación del desempeño de emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales		<b>4. Fecha del Informe</b> 12/12/2024
<b>5. Organización y dirección</b> 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		
<b>6. Notas complementarias</b>		
<b>7. Resumen</b> <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 tamaño uniforme. Su función principal es impermeabilizar la estructura del pavimento y brindar una superficie de ruedo resistente al deslizamiento, lo que permite extender la vida útil del pavimento y proveer condiciones funcionales a la ruta. Para que el tratamiento superficial tenga un adecuado desempeño, es decir, que el agregado no se desprenda por el paso del tráfico y el riego de emulsión asfáltica no se escurra por la pendiente o bombeo del camino, se recomienda que la emulsión sea de rompimiento rápido de alta viscosidad. Sin embargo, en Costa Rica no se cuenta con este tipo de emulsiones y los tratamientos superficiales se han colocado con emulsiones de baja viscosidad, lo cual afecta su durabilidad. La aplicación de tratamientos superficiales más durables implicará un uso más eficiente de los limitados recursos públicos que se destinan para el mantenimiento de carreteras y en mejores condiciones de transitabilidad para los usuarios.</i> <i>La siguiente investigación tiene como objetivo diseñar y evaluar el desempeño de emulsiones asfálticas de alta viscosidad en el laboratorio para tratamientos superficiales con el fin de proponer su producción en el país. Este primer informe de avance abarcó el proceso de diseño de las emulsiones probando varias formulaciones en las cuales se varió la cantidad y tipo de emulsificante, el contenido de asfalto, el tiempo de molienda y la temperatura del asfalto y la fase jabonosa. Se midió la viscosidad Saybolt Furool, la estabilidad de almacenamiento y el tamaño y distribución de partículas. Se encontró que la tasa de corte del molino coloidal es una variable importante que considerar para alcanzar una alta viscosidad en la emulsión.</i>		
<b>8. Palabras clave</b> Tratamiento superficial, emulsión asfáltica de alta viscosidad	<b>9. Nivel de seguridad:</b> No aplica	<b>10. Núm. de páginas</b> 63
<b>11. Elaborado:</b>		



<b>Ing. Juan Carlos Múnera Miranda, M. Sc.</b>		
<b>Fecha:</b> 12/12/2024	<b>Fecha:</b> / /	<b>Fecha:</b> / /
<b>12. Revisado por:</b>	<b>13. Revisión Legal:</b>	<b>14. Revisado y aprobado por:</b>
<b>Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA</b>	No aplica	<b>Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M. Sc.</b>
<b>Fecha:</b> 12/12/2024	<b>Fecha:</b> / /	<b>Fecha:</b> 12/12/2024



## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO .....	7
1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	9
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	10
1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	11
1.4. ANTECEDENTES .....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	13
2.2. COMPONENTES DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL .....	14
2.2.1. AGREGADOS.....	14
2.2.2. EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	15
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES... 15	
2.3.1. CARGA ELÉCTRICA .....	15
2.3.2. ROMPIMIENTO.....	16
2.3.3. VISCOSIDAD.....	16
2.3.4. TASA DE APLICACIÓN.....	16
2.3.5. EMULSIONES MODIFICADAS CON POLÍMEROS .....	17
2.4. DETERIOROS EN LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES .....	17
2.5. FORMULACIÓN, COMPOSICIÓN Y MECÁNICA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS DE ALTA VISCOSIDAD .....	18
2.5.1. RELACIÓN AGUA/ASFALTO .....	18
2.5.2. VISCOSIDAD DEL ASFALTO .....	19
2.5.3. TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS .....	19
2.5.4. TIPO Y CANTIDAD DE AGENTE SURFACTANTE.....	20
2.5.5. TEMPERATURA DE EMULSIFICACIÓN .....	21
2.5.6. PRESENCIA DE SAL EN EL ASFALTO.....	21
2.5.7. ADITIVOS.....	22
2.6. ENSAYOS DE DESEMPEÑO DE LABORATORIO PARA EMULSIONES Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES .....	23
3. METODOLOGÍA.....	25



3.1. FASE 1: DISEÑO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA DE ALTA VISCOSIDAD.....	27
3.1.1. MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	27
3.1.2. FORMULACIÓN Y FABRICACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA DE ALTA VISCOSIDAD CRS-2H.....	29
4. RESULTADOS Y ANALISIS .....	31
4.1. CARACTERIZACIÓN DE ASFALTO .....	31
4.2. CARACTERIZACIÓN DE EMULSIONES.....	34
5. CONCLUSIONES.....	44
6. RECOMENDACIONES .....	46
7. REFERENCIAS.....	46
APENDICE.....	52
ANEXO.....	57

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 <i>Tratamiento superficial</i> .....	14
Figura 2 <i>Estrategias para aumentar la viscosidad de la emulsión asfáltica</i> .....	22
Figura 3 <i>Ensayos para especificación por grado de desempeño de emulsiones asfálticas</i> .....	24
Figura 4 Metodología .....	26
Figura 5 Molino coloidal de laboratorio.....	30
Figura 6 Diagrama ternario de la composición del asfalto .....	32
Figura 7 Tamaño y distribución de partículas de emulsión formulada con emulsificante D .....	43
Figura 8 Tamaño y distribución de partículas de emulsión formulada con emulsificante C .....	43

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla <i>Emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales</i> .....	15
Tabla 2 <i>Métodos de ensayo para evaluar el desempeño de tratamientos superficiales</i> .....	25
Tabla 3 <i>Muestras utilizadas en la investigación</i> .....	27
Tabla 4 <i>Formulación de emulsiones fabricadas en el LanammeUCR</i> .....	29



Tabla 5 <i>Formulación de emulsiones producidas en el laboratorio del proveedor de agente emulsificante</i> .....	31
Tabla 6 <i>Caracterización de asfalto</i> .....	33
Tabla 7 <i>Caracterización de emulsiones formuladas en el LanammeUCR</i> .....	35
Tabla 8 <i>Tamaño y distribución de partículas de emulsiones formuladas en el LanammeUCR</i> ..	38
Tabla 9 <i>Resultados de emulsiones formuladas en el laboratorio de proveedor de agente emulsificante</i> .....	42



## 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 tamaño uniforme. Su función principal es impermeabilizar la estructura del pavimento y brindar una superficie de ruedo resistente al deslizamiento, lo que permite extender la vida útil del pavimento y proveer condiciones funcionales a la ruta. Para que el tratamiento superficial tenga un adecuado desempeño, es decir, que el agregado no se desprenda por el paso del tráfico y el riego de emulsión asfáltica no se escurra por la pendiente o bombeo del camino, se recomienda que la emulsión sea de rompimiento rápido de alta viscosidad. Sin embargo, en Costa Rica no se cuenta con este tipo de emulsiones y los tratamientos superficiales se han colocado con emulsiones de baja viscosidad, lo cual afecta negativamente su durabilidad. La aplicación de tratamientos superficiales más durables implicará un uso más eficiente de los limitados recursos públicos que se destinan para el mantenimiento de carreteras y en mejores condiciones de transitabilidad para los usuarios.

La siguiente investigación tiene como objetivo diseñar y evaluar el desempeño de emulsiones asfálticas de alta viscosidad en el laboratorio para tratamientos superficiales con el fin de proponer su producción en el país. Este primer informe de avance abarcó el proceso de diseño de las emulsiones probando varias formulaciones en las cuales se varió la cantidad y tipo de emulsificante, el contenido de asfalto, el tiempo de molienda y la temperatura del asfalto y la fase jabonosa. Se midió la viscosidad Saybolt Furol, la estabilidad de almacenamiento y el tamaño y distribución de partículas. Se encontró que la tasa de corte del molino coloidal es una variable importante que considerar para alcanzar una alta viscosidad en la emulsión.



## 1. 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 de 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 superficie del pavimento de los agentes climáticos, impermeabilizar la superficie de ruedo, establecer un proceso y equipo de construcción básicos y brindar intervenciones de menor costo y ambientalmente más sostenibles (menor consumo de energía y generación de 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 en cada una de sus capas, 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 en momento del bombeo y riego sobre la superficie a tratar y, por otro lado, tener una viscosidad elevada donde el agregado quede embebido y adherido, ayudando a evitar el escurrimiento por la pendiente o bombeo de la superficie. Además, debe brindar una elevada impermeabilidad a la superficie sobre la que se aplica, romper rápido (separación entre el agua y asfalto de la emulsión en menos tiempo) para la pronta apertura al tráfico y ser durable. Por estas razones, las emulsiones asfálticas que se recomiendan para los tratamientos superficiales son de rompimiento rápido de alta viscosidad (CRS-2h, CRS-2hL, entre otras).

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 (CRS-1), lo que se considera afecta el buen desempeño y durabilidad de los tratamientos superficiales debido principalmente a la dificultad de que las partículas de agregado queden embebidas entre 1/2 y 2/3 partes dentro de la película de emulsión, esto debido a su alta fluidez y poco espesor.



La siguiente investigación tiene como propósito desarrollar recomendaciones y especificaciones técnicas para la producción de emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales con el fin de proponer su producción en Costa Rica, tomando en cuenta las condiciones y limitaciones presentes a escala industrial por parte de RECOPE. Los productos de la investigación proporcionarán información valiosa para que, de ser factible, se produzcan 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 fondos públicos, aumentando la vida útil de la aplicación, con mejores condiciones de ruedo durante todo el año, menores costos de mantenimiento y operación, así como un impacto positivo en la salud de la población al reducir la emisión de polvo cuando son utilizadas como capas de ruedo en rutas no pavimentadas. Una característica importante es que este tipo de soluciones requieren equipos básicos y de menor costo disponibles en el país, lo que permite ampliar el grado de participación por empresas locales de menor tamaño, favoreciendo la distribución de los recursos invertidos en carreteras.

## 1.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar recomendaciones para la producción de emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales mediante su diseño y evaluación del desempeño en el laboratorio con la finalidad de proponer su producción en Costa Rica.

### 1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar en el laboratorio, mediante la variación de parámetros de formulación, composición y mecánica del molino coloidal, emulsiones asfálticas que cumplan con la alta viscosidad requerida para tratamientos superficiales y demás propiedades de calidad.
2. Evaluar el desempeño de las emulsiones diseñadas mediante ensayos que consideren las condiciones de aplicación y principales deterioros de los tratamientos superficiales.
3. Establecer un procedimiento de diseño de las emulsiones asfálticas de alta viscosidad para tratamientos superficiales producto de la experiencia generada.
4. Identificar las variables críticas en la formulación y producción de la emulsión asfáltica, que podrían incidir en el cumplimiento de especificaciones y condiciones requeridas de desempeño de los tratamientos superficiales, para tomarlos en cuenta en una etapa posterior de implementación a escala industrial.



## 1.2. JUSTIFICACIÓN

En Costa Rica el tratamiento superficial es una técnica para la preservación de pavimentos que se ha utilizado históricamente en caminos de bajo a mediano tráfico para proveer una superficie de ruedo impermeable que proteja el pavimento (principalmente caminos de grava) 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 del tráfico y el riego de emulsión asfáltica no se escurra por la pendiente o bombeo del camino, se recomienda que la emulsión sea de rompimiento rápido de alta viscosidad. Con este tipo de emulsión asfáltica el agregado quedará embebido, generando más adhesión. Aunque se ha implementado la aplicación, la emulsión asfáltica que se usa para los tratamientos superficiales es de baja viscosidad (CRS-1), lo que deriva en las implicaciones 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 y difundido en Costa Rica, se considera necesario optimizar el tipo de emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales, valorando y cuantificando los beneficios obtenidos en los tratamientos superficiales, con el objetivo de mejorar el desempeño y durabilidad de los pavimentos.

A escala nacional, existen empresas constructoras que cuenta con los equipos y experiencia para la aplicación de esta técnica. Sin embargo, la construcción de tratamientos superficiales requiere de equipos básicos y económicos lo cual facilita a empresas de menor tamaño su participación en contratos de conservación vial, permitiendo una mejor distribución de recursos invertidos por la administración y los gobiernos locales.

De ahí que, esta investigación pretende desarrollar en el laboratorio emulsiones de alta viscosidad para proponer su producción en Costa Rica para proporcionar información valiosa, para la adecuada producción de este tipo de emulsiones en el país y potenciar la técnica de



tratamientos superficiales mediante la mejora en el desempeño, la eficiencia en la inversión de los recursos públicos, 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 en los pavimentos.

### 1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES

La investigación comprende el diseño de emulsiones asfálticas de alta viscosidad en el laboratorio y su posterior evaluación del desempeño mediante ensayos que consideren los requerimientos de estabilidad de las propiedades reológicas en el tiempo, capacidad de bombeo, manipulación y riego, resistencia al escurrimiento y los principales modos de falla de los tratamientos superficiales como lo son el desprendimiento de agregado, daño por humedad y la exudación.

Se pretende diseñar en el laboratorio dos tipos de emulsión asfáltica de rompimiento rápido de alta viscosidad con y sin polímero: CRS-2h y CRS-2hL. El diseño considera el efecto del tipo de emulsificante, contenido de asfalto y el contenido de polímero en la viscosidad.

Se deberá validar en una fase posterior los resultados obtenidos del esquema experimental de laboratorio con tramos de prueba a escala real, permitiendo comprobar los resultados y ajustar su implementación como una opción viable para la administración, para lo cual se deberán de generar los canales adecuados para trabajar con ellos en esta etapa.

### 1.4. ANTECEDENTES

Sittenfeld (1979) determinó que las cantidades de agregado y emulsión asfáltica que debían utilizarse de acuerdo con el CR-77 eran más elevadas en comparación con las obtenidas por el Método Australiano. Por otra parte, observó que la dosificación de emulsión 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 lo límites de especificación. En ese entonces RECOPE producía 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 LanammeUCR (2017) planteó el uso de tratamientos superficiales como alternativa para el mantenimiento de rutas secundarias y terciarias del país.

Las emulsiones asfálticas se especifican actualmente mediante ensayos empíricos que no tienen relación directa con el desempeño de los tratamientos superficiales. El Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras (NCHRP, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, propone una nueva generación de ensayos para seleccionar de forma racional las emulsiones asfálticas para los tratamientos de preservación de pavimentos, dentro de un sistema de clasificación de grado por desempeño (EPG) (NCHRP, 2017). Los ensayos EPG evalúan el desempeño de la emulsión y el residuo asfáltico durante el proceso de transporte, construcción y ante los principales deterioros durante el periodo de servicio, tomando en consideración las condiciones de tráfico y clima.

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 comercialización de 45.758 barriles a 92.878 barriles (RECOPE, 2019). En esta coyuntura la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) decide desarrollar 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. En los últimos dos años, RECOPE se ha interesado en diseñar y fabricar nuevos tipos emulsiones asfálticas, especialmente las modificadas con polímero para aumentar la durabilidad de los tratamientos utilizados.

La Red Vial Nacional de Costa Rica está compuesta por aproximadamente 8091 km, de los cuales, según su superficie de ruedo, 57,34 % es en asfalto, 1,12 % en concreto, 26,98 % en lastre, 0,25 % con tratamiento superficial simple y 14,31 % con tratamiento superficial múltiple.



Los tratamientos superficiales están dentro de la nueva categoría llamada “capas de protección superficial” que implementó la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT en el año 2019. La construcción y mantenimiento de las capas de protección superficial se encuentra contemplado dentro de los contratos de mantenimiento de la red vial nacional pavimentada (LanammeUCR, 2022). Los tratamientos superficiales brindan una condición de ruedo superior a una ruta de superficie expuesta (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 al tipo de emulsiones asfálticas que se pueden aplicar en los tratamientos superficiales, dado que exige que sea de rompimiento rápido de alta viscosidad con o sin polímero (MOPT, 2022).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. 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 de tráfico. 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 de tráfico. La popularidad de los tratamientos superficiales radica en sus bajos costos iniciales, menor consumo energético, menor generación de gases de efecto tipo invernadero, así como otros factores, todos en comparación con capas de mezcla asfáltica delgada, que influyen en la selección del tratamiento, donde la capacidad estructural del pavimento es suficiente para soportar las cargas existentes (NCHRP, 2005).



## Figura 1

### *Tratamiento superficial*



## 2.2. Componentes de un tratamiento superficial

La selección de los materiales para un TS generalmente dependerá de las condiciones climáticas, el volumen de tráfico, la calidad y características 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 es 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 ser resistente al pulido, ser duradero contra los efectos de la abrasión por el tráfico 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).

### **2.2.1. Agregados**

La calidad del agregado es importante para que el TS tenga un adecuado desempeño. La calidad del agregado está relacionada con que sean de graduación uniforme, de forma cúbica, resistentes al pulimento, con caras fracturadas, limpios, duraderos y resistentes a la abrasión (NCHRP, 2011; AASHTO, 2021).



### 2.2.2. 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 se utilizan para los tratamientos superficiales se muestran en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 1**

*Emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales*

<b>Autor</b>	<b>Sin modificar</b>	<b>Modificada con polímero</b>
Asphalt Institute (1965)	RS-1, RS-2, CRS-1, CRS-2	-
Asphalt Institute (2008)	RS-1, CRS-2, CRS-2h, RS-2, HFRS-2, HFRS-2h	CRS-2P, CRS-2L
(ISSA, 2012)	RS-2, RS-2h, HFRS-2, CRS-2, CRS-2h	CHFRS-2P, CRS-2P, CRS-2L
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
ASTM (2021)	RS-1, RS-2, HFRS-2, CRS-1, CRS-2, MS-1, HFMS-1, HFMS-2s	-
MOPT (2022)	CRS-2h, CRS-2, CRS-2s	CRS-2hP, CRS-2P, CRS-2sP, CHFRS-2P

### 2.3. Características de las emulsiones asfálticas para tratamientos superficiales

#### 2.3.1. Carga eléctrica

Para tratamientos superficiales se prefieren las emulsiones catiónicas (carga positiva) sobre las aniónicas (carga negativa) 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 tienen mayor afinidad con emulsiones aniónicas, pero es frecuente que presenten alta susceptibilidad al pulimento, generando superficies de ruego con baja fricción y problemas de seguridad vial.



### **2.3.2. 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 (separación entre el agua y asfalto de la emulsión en poco tiempo), ya que permite un curado más rápido y una apertura más rápida al tráfico. Aunque normalmente se deben usar las emulsiones asfálticas de rompimiento rápido para los TS, cuando hay presencia de agregados sucios o en ciertas condiciones climáticas (temperaturas altas), el uso de emulsiones asfálticas de rompimiento medio puede ser más favorable.

### **2.3.3. Viscosidad**

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 dentro de la película de asfalto, el uso de emulsiones asfálticas de alta viscosidad es el más recomendado. 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 adecuadamente, lo que provocaría una pérdida de agregados debido al tráfico y posibles problemas ambientales (AASHTO, 2021). 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).

### **2.3.4. 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, mientras que demasiado emulsión asfáltica provocará exudación y pérdida de fricción de la superficie de rueda. La tasa de aplicación óptima se establece en función del tamaño y forma del agregado (que afecta el volumen de vacíos en la capa de agregado finalmente compactado), el volumen y tipo de tráfico, la pendiente del pavimento y la condición de la superficie del pavimento donde será colocado el tratamiento. En



el diseño del TS se determina la tasa óptima de emulsión asfáltica considerando todos estos aspectos (AASHTO, 2021).

### **2.3.5. Emulsiones modificadas con polímeros**

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 al tráfico en menor tiempo (Jackson et al. , 1990; Zaniewski & Mamlouk, 1996; Johnson & King, 2008). Además, 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 de tráfico (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) que consiste en evaluar la pérdida de agregado por diferencia de peso luego de un proceso de abrasivo de un cepillo y, el ensayo de Vialit UNE-EN 12272-3 (2003) que mide la adhesión de los agregados en una placa con asfalto laminado por efecto del paso de un rodillo. La retención de agregados mejoró significativamente para una emulsión modificada con respecto a una sin modificar (Takamura, 2003; Adams et al., 2017).

### **2.4. 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, deformación permanente (TS multicapa) y, desprendimiento del agregado. La exudación y el desprendimiento de agregado son las fallas más comunes en tratamientos superficiales.

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. 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.



El desprendimiento del agregado ocurre cuando falla la adhesión entre el agregado y el ligante asfáltico, lo que hace que el agregado se desplace, siendo el daño por humedad un catalizador de este fenómeno. Las zonas con desprendimiento de agregado son muy irregulares, ya que el agregado no cubre completamente la superficie. Esta condición es peligrosa pues, el agregado suelto con el paso de las llantas de los vehículos puede impactar los parabrisas de otros vehículos o generar pérdida de tracción de la misma superficie de ruedo. Además, las zonas sin agregado son más propensas al deslizamiento, por la pérdida de fricción y permiten el ingreso de humedad a las capas subyacentes disminuyendo la capacidad estructural y vida útil del pavimento drásticamente.

## **2.5. Formulación, composición y mecánica de las emulsiones asfálticas de alta viscosidad**

Los investigadores Kroger & Kroger (2020) afirman 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 adecuadamente bombeado y regado en toda la superficie a tratar durante la construcción y, por el otro, debe lograr una viscosidad elevada durante su etapa de 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). A continuación, se describen los principales factores que afectan la viscosidad de la emulsión.

### **2.5.1. 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). De manera que, 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). Por el contrario, 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 el uso de un emulsificante que favorezca el aumentar la viscosidad, esta es la forma más costosa de lograr un aumento en la viscosidad de la emulsión (James, 1997).

### **2.5.2. 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 al ingresar 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, mientras que 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 de la emulsión se debe al menor tamaño de las micelas de asfalto y no a la baja viscosidad del asfalto residual (Mercado et al., 2008). Se debe de considerar que el asfalto que se comercializa en Costa Rica se clasifica como un AC-30 con viscosidades cercanas a los 3.400 poises por lo que se considera un asfalto de alta viscosidad, condición que se debe tomar en cuenta para la formulación de la emulsión considerando además, que asfaltos de menor grado de viscosidad son más recomendados para este tipo de emulsiones.

### **2.5.3. Tamaño y distribución de partículas**

El tamaño y distribución de partículas dependen de muchas variables como: tipo y concentración del agente emulsificante, 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, entre



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. Por el contrario, la viscosidad de la emulsión disminuye a medida que el tamaño de partículas de asfalto se vuelva más grande (Vladislavjevic & Schubert, 2002; Ramírez et al., 2002; Buss et al., 2018; Alade et al., 2022). Esto se debe a que una distribución de partículas grandes tiene más espacio libre entre partículas para moverse, por lo que la muestra tenderá a fluir más fácilmente.

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 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). 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 generando la tendencia inversa. 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).

#### **2.5.4. Tipo y cantidad de agente surfactante**

El tamaño de las gotas de asfalto disminuye cuando aumenta la concentración de surfactante (agente químico que reduce la tensión superficial), 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 de la emulsión sin requerir altos contenidos de asfalto en la emulsión asfáltica y adecuados para emulsiones modificadas con polímeros.

### ***2.5.5. 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. La temperatura mínima del asfalto depende del grado de viscosidad y varía entre 125 °C (para un asfalto con penetración de 200) y 140 °C (para un asfalto de penetración de 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 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).

### ***2.5.6. Presencia de sal en el asfalto***

El asfalto puede contener pequeñas cantidades de sal (cloruro de sodio), que a 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).



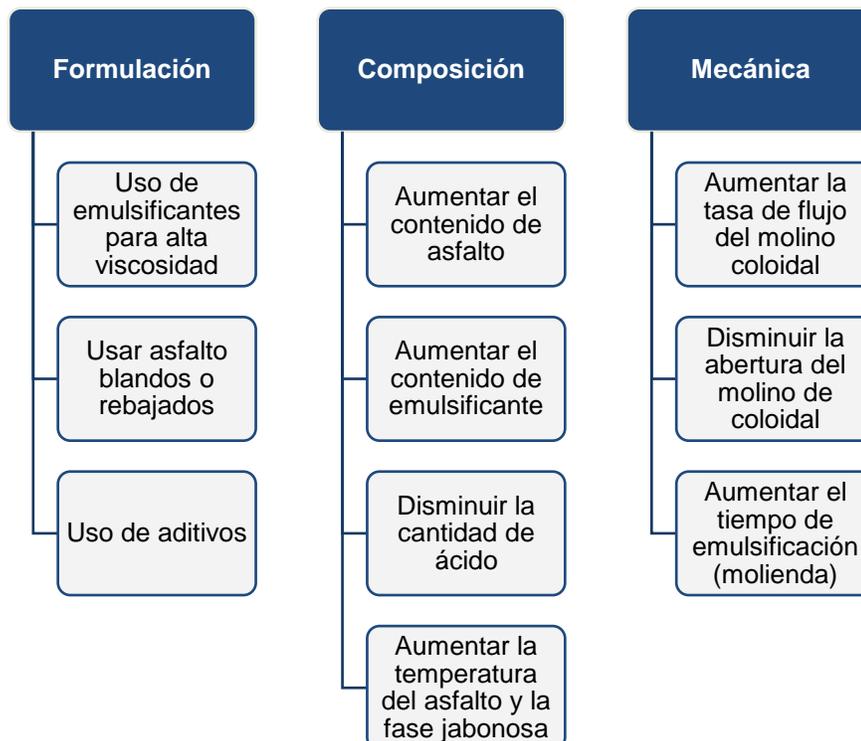
### 2.5.7. Aditivos

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 (proceso de redispersión), haciendo que el asfalto se emulsione más fácilmente. Son particularmente útiles con asfaltos difíciles de emulsionar. Como aditivos, 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 (Akzo Nobel, 2014).

En la Figura 2 se resumen las principales estrategias para aumentar la viscosidad de las emulsiones asfáltica.

**Figura 2**

*Estrategias para aumentar la viscosidad de la emulsión asfáltica*





## 2.6. Ensayos de desempeño de laboratorio para emulsiones y tratamientos superficiales

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

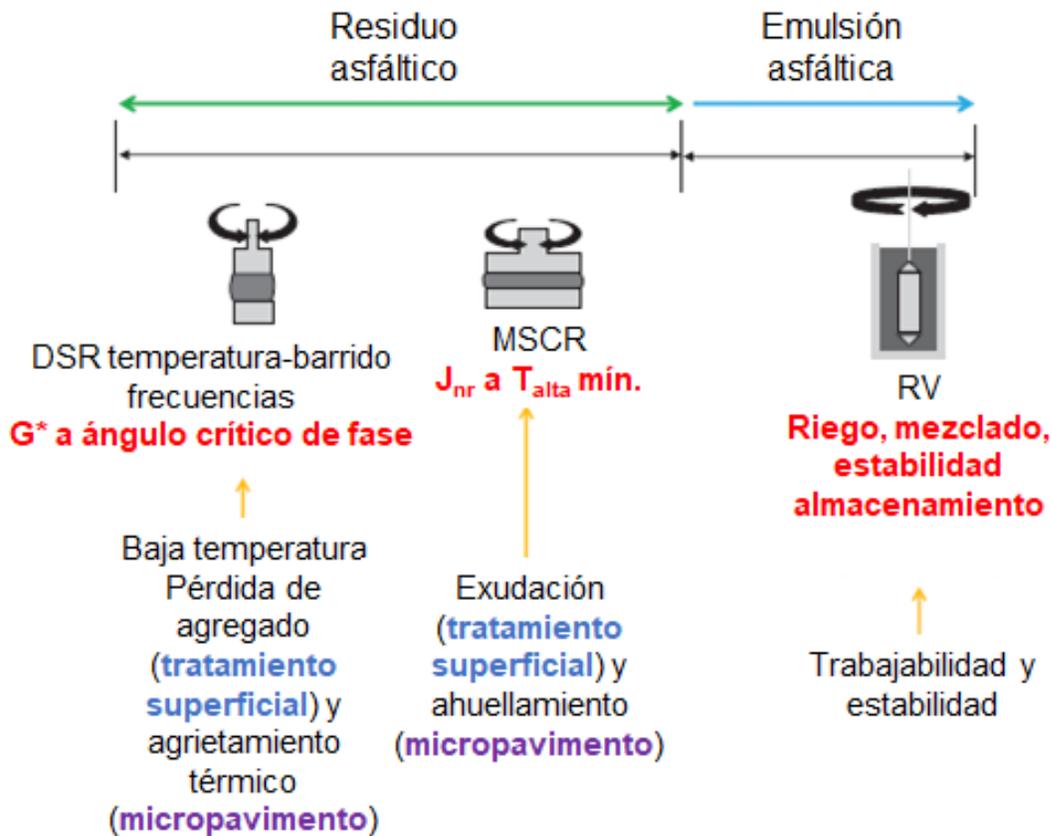
- La clasificación de los ligantes asfálticos basándose en las propiedades críticas relacionadas directamente con el desempeño (desprendimiento de agregado y exudación).
- La totalidad de las propiedades de la emulsión relacionadas con la parte constructiva, “capacidad de riego”, “escurrido” y “capacidad de mezclado”.
- Ensayos de los materiales en el rango de temperaturas a los que estarán expuestos en campo.
- La clasificación de los ligantes según el tráfico previsto.
- El tiempo de curado y el tiempo de apertura al tráfico.
- Que 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. Estos ensayos están relacionados con las propiedades de adhesividad y compatibilidad del ligante asfáltico con el agregado, y con el tiempo de apertura al tráfico. 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 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 (temperatura máxima) como para YY (temperatura mínima) para los rangos de temperatura de operación. 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 3 se muestran los ensayos para especificaciones de grado por desempeño.

### Figura 3

Ensayos para especificación por grado de desempeño de emulsiones asfálticas



Nota. Tomado de: NCHRP (2017)



En la Tabla 2 se muestra un resumen de los métodos de ensayo para desempeño de TS.

**Tabla 2**

*Métodos de ensayo para evaluar el desempeño de tratamientos superficiales*

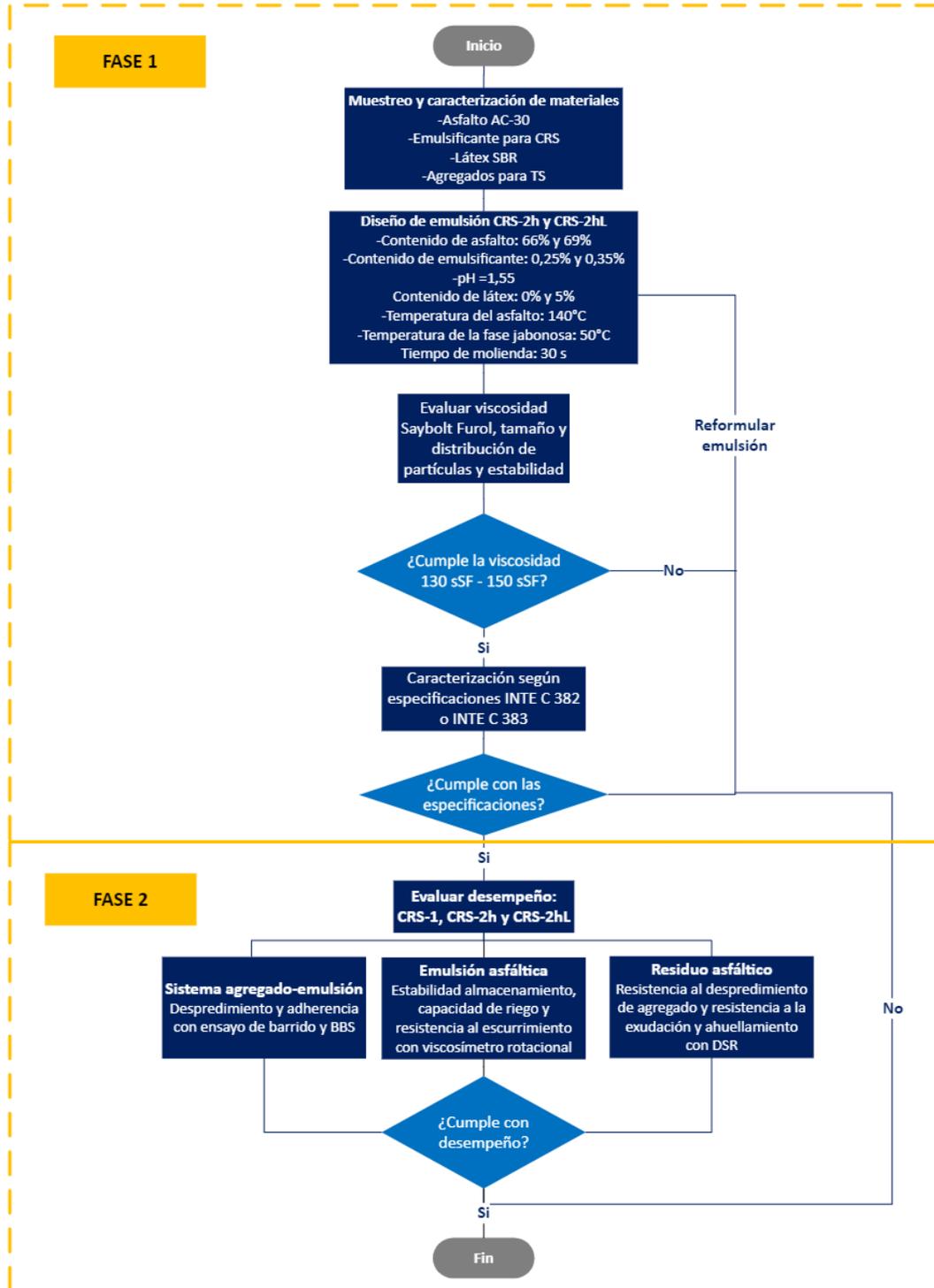
Material	Propiedad	Método de ensayo	Parámetro medido
Agregado-ligante asfáltico	Tiempo de apertura al tráfico	Ensayo de barrido (ASTM D 7000)	Porcentaje de pérdida de agregado
	Adhesividad a temperaturas intermedias	Ensayo de adhesividad con placa Vialit (UNE-EN 12272-3)	Porcentaje de pérdida de agregado
	Adhesividad y compatibilidad del ligante asfáltico con el agregado	Ensayo de adherencia de asfalto BBS	Resistencia a la tracción, POTS
Emulsión asfáltica	Estabilidad de almacenaje	Asentamiento y sedimentación NCHRP 837/ASTM D 7496/ D 7226	Viscosidad rotacional, $\eta$ Relación de separación a 24 h, $R_s$ Relación de estabilidad a 24 h, $R_d$
	Capacidad de riego	NCHRP 837/ASTM D 7226	Viscosidad rotacional, $\eta$ , @ alta tasa de corte
	Resistencia al escurrimiento	NCHRP 837/ASTM D 7226	Viscosidad rotacional, $\eta$ , @ baja tasa de corte
Residuo asfáltico	Exudación a alta temperatura EPG	Creep y recuperación del ligante asfáltico a esfuerzos múltiples (AASHTO T 350)	Creep compliance no recuperable, $J_{nr}$
	Desprendimiento a baja temperatura EPG	Barrido de frecuencias con el reómetro de corte dinámico (DSR)	Módulo de corte dinámico ( $G^*$ ) a $\delta_{crítico}$

### 3. METODOLOGÍA

En la Figura 4 se muestra un esquema con las diferentes etapas del proyecto. Seguidamente se explica detalladamente cada una de las fases. Este informe de avance incluye los ensayos que se plantearon para la Fase 1 de la metodología para determinar una formulación que cumpliera con la viscosidad y estabilidad del almacenaje requerida, las cuales son las propiedades más importantes por cumplir antes de iniciar con la fase de evaluación del desempeño.



**Figura 4**  
Metodología





### 3.1. Fase 1: Diseño de emulsión asfáltica de alta viscosidad

#### 3.1.1. Muestreo y caracterización de materiales

Para iniciar el estudio se muestreó el: asfalto, agente emulsificante para emulsión catiónica de rompimiento rápido (Asfier N100L), agente emulsificante desarrollador de viscosidad para emulsión catiónica de rompimiento rápido (3 diferentes: Asfier 121, Redicote E-4819 y Redicote C-580), polímero SBR tipo látex (Butonal NX 4190), ácido clorhídrico al 37 % grado reactivo y queroseno. El asfalto que se muestreó inicialmente para la investigación se clasificó por viscosidad como AC-20, sin embargo, este tipo de asfalto no es el más representativo históricamente en la producción de emulsión de RECOPE, por lo que se optó por cambiar a un asfalto de viscosidad tipo AC-30. En la Tabla 3 se indican las características de las muestras utilizadas. En el Anexo se pueden encontrar las fichas técnicas de los agentes emulsificantes. Los agentes emulsificantes utilizados se identificarán de la siguiente forma: A es Asfier N100L, B es Asfier 121, C es Redicote E-4819 y D es Redicote C-580

**Tabla 3**

*Muestras utilizadas en la investigación*

Material	Número de muestra	Fecha de muestreo	Lugar de muestreo	Cantidad
Asfalto AC-30	M-2119-2016	30/08/2016	Planta de producción MAC	60 cubetas
Asfalto AC-20	M-1784-2022	25/05/2022	Planta RECOPE, El Alto de Ochomogo	48 galones
Asfalto AC-30	M-2156-2023	27/11/2023		15 galones
Emulsificante A	M-1785-2022	25/10/2022		2 galones
Emulsificante B	M-1298-2023 / M-1145-2023	20/07/2022 12/07/2023		1,5 kg
Emulsificante C	M-1144-2023	12/07/2023		1 litro
Emulsificante D	M-1143-2023	12/07/2023		1 litro
Polímero SBR tipo Látex Butonal NX 4190	M-0431-2023	22/3/2023		1 litro
Queroseno	M-2027-2023	09/11/2023	LanammeUCR	800 ml



### 3.1.1.1. Caracterización del asfalto

Dado que el ligante asfáltico base influye directamente en las propiedades de la emulsión, se realizó una caracterización de acuerdo con los ensayos indicados por el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.22 (2004):

- Densidad, 25 °C (ASTM D70)
- Viscosidad absoluta, 60°C (ASTM D 2171)
- Viscosidad cinemática, 135 °C (ASTM D 2170)
- Penetración, 25 °C, 100 g, 5s. (ASTM D 5)
- Punto de inflamación (ASTM D 92)
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D 2042)
- Efecto del calentamiento y el aire horno de película delgada (TFO) (ASTM D 1754):
- Ductilidad, 25°C, 5cm/min (ASTM D 113)
- Contenido de cenizas (ASTM D 8078)

Para la clasificación por grado por desempeño se realizaron los siguientes ensayos:

- Viscosidad dinámica (ASTM D 4402)
- Propiedades reológicas mediante DSR (ASTM D 7175)
- Efecto del calentamiento y aire horno rotatorio de película delgada (RTFO) (ASTM D 2872)
- Envejecimiento acelerado en recipiente a presión (PAV) (ASTM D 6521)
- Rigidez de fluencia a la flexión usando el reómetro de viga a flexión (BBR) (ASTM D 6648)
- Fluencia y recuperación a esfuerzos múltiples (MSCR) utilizando reómetro de corte dinámico (ASTM D 6405)

Adicionalmente, se evaluó la fuerza de adherencia y compatibilidad del asfalto con el agregado mediante el ensayo de ABS (ASTM D 4541).

### 3.1.1.2. Caracterización de la emulsión

A cada lote de emulsión producido se le realizaron los siguientes ensayos:

- Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C (ASTM D 7496) a 1 y 5 días
- Estabilidad al almacenamiento a 1 y 5 días (ASTM D 6930)



- Tamaño y distribución de partículas por difracción láser a 1 y 5 días

Ya que la viscosidad y el tamaño y distribución de partícula se relacionan directamente, a cada lote de emulsión se le midió tamaño y distribución de partículas por difracción láser con el equipo Horiba LA 300. Mediante esta medición se generó la curva de distribución de tamaños de partícula y obtuvieron variables como el tamaño promedio, D10, D50, D90, entre otros. Se calculó la variable Span, que es una medida de la estrechez de la curva de distribución de partícula, entre más bajo sea este valor, más estrecha es la curva de distribución de partículas (Kiihnl & Abraham, 2021). El Span se calcula de acuerdo con la Ecuación 1.

$$Span = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde, D10, D50 y D90 es el punto en la curva de distribución de tamaños de partícula en el que está contenido el 10, 50 y 90 % del volumen total, respectivamente. El D50 corresponde a la mediana de los datos.

### 3.1.2. Formulación y fabricación de emulsión asfáltica de alta viscosidad CRS-2h

Para determinar una formulación para una emulsión CRS-2h que cumpliera con la viscosidad (entre 130 sSF y 150 sSF) y la estabilidad de almacenamiento se realizaron pruebas variando el contenido de asfalto y emulsificante, el pH, la consistencia del asfalto, la temperatura del asfalto y la fase jabonosa, el tiempo de molienda (recirculación de la emulsión después del vertido del asfalto al molino coloidal) y el tipo de agente emulsificante. En la Tabla 4 se muestran las formulaciones utilizadas.

**Tabla 4**

*Formulación de emulsiones fabricadas en el LanammeUCR*

Componente o condición	Formulación								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tipo asfalto	AC-30	AC-30	AC-20	AC-30	AC-30	AC-30	AC-20	AC-20	AC-30
Asfalto (%)	69	69	69	66	66	66	66	69	66
Queroseno (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0
Emulsificante (%)	0,25	0,30	0,30	0,25	0,20	0,25	0,35	0,35	0,25
Contenido de látex (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0



Componente o condición	Formulación								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH de fase jabonosa	1,55	2,00	1,55	2,00	2,00	2,00	1,55	1,55	2,00
Emulsificante	A	A	A	D	C	B	D	D	D
Temperatura del asfalto (°C)	140	135	140	140	140	140	145	140	140
Temperatura de fase jabonosa (°C)	50	45	50	50	55	55	50	50	50
Tiempo de molienda (s)	30	40	30	30	30	30	50	50	50

*Nota.* Los contenidos de asfalto, emulsificante y látex son con base a la masa total de emulsión. El contenido de queroseno es con base a la masa de asfalto.

En el Apéndice se detalla el procedimiento utilizado para fabricar la emulsión asfáltica en el molino coloidal de laboratorio y para diluir el asfalto con queroseno.

Para la fabricación de las emulsiones en el laboratorio se utilizó un molino coloidal de platos. El motor tiene una potencia de 1,5 kW y una velocidad de giro de 2850 rpm. En la Figura 5 se muestra el molino coloidal empleado en la investigación.

### Figura 5

Molino coloidal de laboratorio



En el transcurso de la investigación se comprobó que se requiere un molino coloidal de alta energía de corte para obtener distribuciones de tamaño partícula más angostas y uniformes, así



como tamaños de partículas más pequeños, los cuales son requisitos indispensables para lograr una alta viscosidad en la emulsión. Dado lo anterior, se enviaron muestras de emulsificante, asfalto y polímero tipo SBR al laboratorio de uno de los proveedores de agente emulsificante para producir la emulsión de alta viscosidad. Este laboratorio cuenta con un molino coloidal de alta energía de corte, que simula mejor el proceso en planta. En la Tabla 5 se muestran las formulaciones que se utilizaron.

**Tabla 5**

*Formulación de emulsiones producidas en el laboratorio del proveedor de agente emulsificante*

Componente o condición	Formulación	
	1	2
Asfalto	AC-30	AC-30
Contenido de asfalto (%)	66	66
Contenido de emulsificante (%)	0,25	0,25
Contenido de látex (%)	3,0	3,0
Contenido de agua (%)	30,6	30,6
pH de fase jabonosa	1,9	1,9
Emulsificante	D	C
Temperatura del asfalto (°C)	132	132
Temperatura de fase jabonosa (°C)	45	45

*Nota.* Los contenidos de asfalto, emulsificante y látex son con base a la masa total de emulsión

## 4. RESULTADOS Y ANALISIS

### 4.1. Caracterización de asfalto

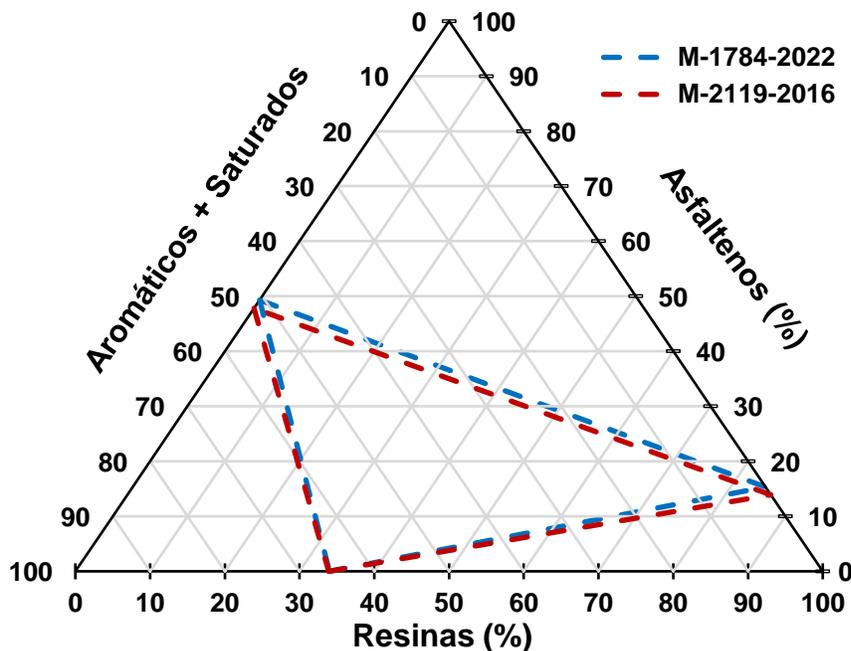
En la Tabla 6 se muestra la caracterización de los asfaltos utilizados en la investigación. El asfalto M-1784-2022 se muestreó inicialmente para fabricar las emulsiones de alta viscosidad, sin embargo, el asfalto reportó una viscosidad absoluta de 2168 P, lo cual lo clasifica como AC-20. Este tipo de asfalto históricamente no es el que más se comercializa para la producción de emulsiones asfálticas por parte de RECOPE, por tal motivo, se decide utilizar el asfalto M-2119-16 que cumple con una clasificación por viscosidad como AC-30. Ambos lotes de asfalto mostraron un contenido de cenizas por debajo del 1%, lo cual se relaciona con una presencia apreciable de sales que afecten la viscosidad de la emulsión durante el almacenaje. El asfalto



M-1784-2022 mostró un cambio de masa después del acondicionamiento en el horno de película delgada (TFO) y rotatorio (RTFO) mayor que el asfalto M-2119-16, este resultado es congruente con su mayor contenido de saturados, el cual es la fracción más liviana o volátil que se pierde fácilmente durante el acondicionamiento para evaluar el efecto del aire y la temperatura. A pesar de que el asfalto M-1784-2022 tiene una consistencia más blanda, su clasificación de grado por desempeño como PG 64H-22 indica que tiene un mejor desempeño ante la deformación permanente para mayores niveles de tránsito y velocidades de operación más bajas que el asfalto M-2119-2016 que se clasificó como PG-64S-22. En cuanto a la composición por cromatografía SARA, ambas muestras son asfaltos similares y no se observa alguna diferencia importante entre ellos. La Figura 6 muestra un diagrama ternario para observar de manera gráfica la interacción, en términos de la composición química, de los componentes del asfalto. No se observa una orientación hacia la región donde se encuentran las fracciones de mayor peso molecular (asfaltenos y resinas) lo cual es congruente con la temperatura alta de la clasificación por PG de ambos asfaltos, que se caracteriza por un comportamiento más flexible a altas temperaturas.

**Figura 6**

Diagrama ternario de la composición del asfalto





**Tabla 6**

*Caracterización de asfalto*

Ensayo	Norma	Unidades	Muestra			Especificación
			M-1784-22	M-2119-16	M-2156-23	
Densidad	ASTM D70	kg/m <sup>3</sup>	1025,3	1028,9	1026,0	-
Punto de inflamación	ASTM D92	°C	312	351	327	232 mín.
Penetración (25°C, 100g, 5 s)	ASTM D5	1/10 mm	67,8	50,0	51,0	50 mín.
Viscosidad absoluta a 60 °C y 40,0 kPa	ASTM D2171	P	2168	3362	3260	2400-3600
Viscosidad absoluta pospérdida a 60 °C y 40,0 kPa	ASTM D2171	P	7261	7723	8360	15000 máx.
Cambio de masa TFO	ASTM D1754	%	-0,856	-0,021	-0,156	
Viscosidad cinemática a 135 °C	ASTM D2170	mm <sup>2</sup> /s	399,4	523,9	606,0	350 mín.
Contenido de cenizas	ASTM D8078	%	0,097	0,074	0,09	1 % máx.
Solubilidad en TCE	ASTM D2042	%	99,97	99,99	-	99 mín.
Ductilidad a 25 °C	ASTM D113	cm	100	100	-	40 mín.
Clasificación PG con MSCR	AASHTO M332	-	PG 64H-22	PG 64S-22	-	
Viscosidad dinámica	ASTM D4402	Pa s	0,4095	0,5391	-	3 máx.
Cambio de masa RTFO	AASHTO T240		-0,914	-0,007	-	
Contenido de asfaltenos		%	15,3	13,9	-	
Contenido de saturados		%	9,6	6,4	-	
Contenido de aromáticos		%	41,1	45,8	-	
Contenido de resinas		%	34,0	33,9	-	
Índice de inestabilidad coloidal		-	0,33	0,25	-	0,6 máx.
Contenido de ceras		%	0,10	0,14	-	3 máx.
<b>Adhesión</b>						
<i>Roca silícica</i>						
Condición seca		MPa	220,5	199,2	-	
Condición húmeda		MPa	73,2	54,0	-	
Adhesión retenida		%	33,2	27,1	-	
Tipo de falla	ASTM D4541	-	Adhesión	Cohesión	-	
<i>Roca caliza</i>						
Condición seca		MPa	189,8	231,7	-	
Condición húmeda		MPa	123,9	120,1	-	
Adhesión retenida		%	65,3	51,8	-	
Tipo de falla		-	Cohesión	Cohesión	-	

*Nota.* Las especificaciones por viscosidad son de acuerdo con la clasificación AC-30 según el RTCA (2004)



En cuanto al adherencia del asfalto con el agregado, la muestra M-1784-2022 exhibió una mayor adherencia independientemente del estrato o la condición de humedad. Ambas muestras de asfalto mostraron mayor afinidad con el sustrato calizo en condición de humedad. Entre las dos muestras de asfalto, la muestra M-1784-2022 tiene una base más blanda, de menor viscosidad y mayor penetración, lo cual significa un asfalto más fácil de emulsificar al requerir menor energía de corte para obtener tamaños de partícula más pequeños y distribución de tamaños más angosta, lo cual genera una mayor viscosidad en la emulsión. Sin embargo, ambos asfaltos son de PG similar y se requiere tomar consideraciones en cuanto la tasa de asfalto, agente emulsificante, energía de corte y agentes emulsificantes que faciliten obtener una alta viscosidad en la emulsión. Dado que el asfalto M-2119-2016 tiene una viscosidad absoluta que tiende hacia el límite alto de la especificación, se decidió muestrear el asfalto M-2156-2023, que presentó una viscosidad más centrada en el rango de la especificación AC-30.

#### **4.2. Caracterización de emulsiones**

En la Tabla 6 se muestra un resumen con los resultados de la caracterización de las emulsiones y en la Tabla 7, las curvas de distribución de tamaño partícula de cada formulación. Para la Formulación 1 se empleó el agente emulsificante que actualmente dispone RECOPE para producir emulsiones de tipo CRS-1 con el fin de analizar si era posible obtener una emulsión de tipo CRS-2h simplemente aumentando el contenido de asfalto. El pH y el contenido agente emulsificante también correspondió a los valores que típicamente manejan en planta. Como se observa en la Tabla 7 y 8, la Formulación 1 no cumplió con la viscosidad, la estabilidad, y el tamaño y distribución de partículas que se requieren para emulsiones de tipo CRS-2h. La viscosidad baja en la emulsión y tamaños de partícula grandes y distribuciones de partícula anchas se asocian con inestabilidad durante el almacenamiento (James, 2006).



**Tabla 7**

*Caracterización de emulsiones formuladas en el LanammeUCR*

Ítem	Unidades	Formulación									Especificación CRS-2h
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Emulsificante		A	A	A	D	C	B	D	D	D	-
Asfalto		AC-30	AC-30	AC-20	AC-30	AC-30	AC-30	AC-20	AC-20	AC-30	-
Asfalto	%	69,0	69,0	69,0	66,0	66,0	66,0	66,0	68,0	66,0	-
Agua	%	30,75	30,70	30,70	33,50	33,55	33,50	33,50	31,40	30,6	-
Emulsificante	%	0,25	0,30	0,30	0,25	0,20	0,25	0,35	0,35	0,25	-
HCl	%	-	-	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,15	-
Látex	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	-
Queroseno	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	3,0	-
pH		1,55	2,01	1,56	2,00	2,00	2,00	1,55	1,55	2,00	-
Temperatura asfalto	°C	140,0	135,0	140,0	140,0	140,0	140,0	145,0	140,0	140,0	-
Temperatura fase jabonosa	°C	50,0	45,0	50,0	50,0	55,0	55,0	50,0	50,0	50,0	-
Tiempo de molienda	s	31	41	35	34	29	31	53,5	61,8	51,5	-



Ítem	Unidades	Formulación																		Especifi- cación CRS-2h
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Temperatura salida molino	°C	73	74	74	77	78	77	77,8	72,5	77,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tiempo almacenaje	Días	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	-
Viscosidad SF 50 °C	sSF	19,0	18,0	16,0	15,7	55,2	59,0	13,8	13,4	NR	12,8	14,8	14,9	21,8	26,2	106,5	NR	18,5	18,5	100 - 400
Estabilidad	%	0,1	1,3	0,5	4,3	NR	0,1	1,8	4,0	2,4	6,1	0,2	NR	0,7	0,3	NR	NR	1,60	8,45	≤ 1,0
Malla N°20	%	0,20	0,04	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,09	0,01	0,02	0,06	0,12	0,00	0,00	NR	NR	0,00	0,01	≤ 0,1
Promedio	µm	4,5	5,7	7,2	8,5	2,0	1,9	12,2	11,2	7,0	9,8	4,0	13,8	3,3	24,4	5,4	1,8	9,11	5,42	-
D10	µm	0,60	0,62	0,67	0,68	0,38	0,39	0,69	0,81	0,66	0,74	0,60	0,73	0,62	0,87	0,45	0,24	0,70	0,52	≤ 2,1
D50	µm	3,37	3,68	4,48	5,16	1,71	1,62	4,40	4,37	3,15	3,94	2,60	4,65	2,06	3,92	2,82	1,72	5,44	6,01	1,7 - 8,0
D90	µm	9,7	12,7	17,6	21,2	4,0	3,7	33,4	31,2	18,2	27,9	9,1	43,3	7,4	77,8	13,8	4,3	22,7	10,5	2,8 - 20,0
Span		2,7	3,3	3,8	4,0	2,1	2,0	7,4	7,0	5,5	6,8	3,3	9,1	3,3	19,6	4,8	2,4	4,05	1,67	-

Nota. Las especificaciones de viscosidad, estabilidad y malla N° 20 son según la norma INTE C382 (2020). Los rangos de tamaño y distribución de partícula son de acuerdo con lo recomendado por Díaz-Romero y Braham (2022) y Pereira, Vivoni, y Prado (2024). Lo sombreado en verde y rojo cumple y no cumple, respectivamente, con los criterios de aceptación.



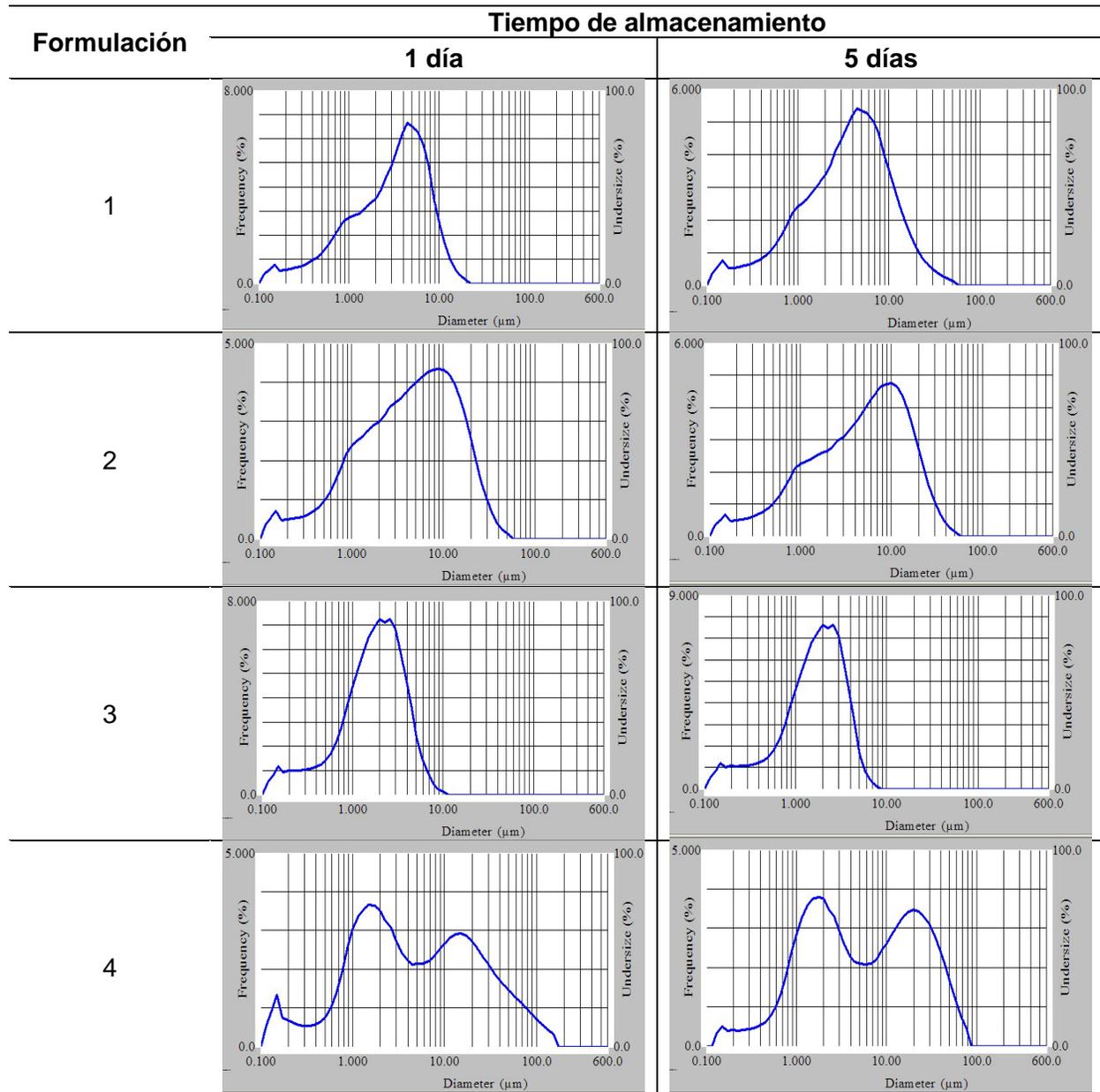
Dado el resultado obtenido con la Formulación 1 se probó la Formulación 2, en la cual se aumentó el contenido de agente emulsificante para mejorar la estabilidad, se incrementó el tiempo de molienda para mejorar el tamaño y distribución de partícula y se bajó la temperatura del asfalto y la fase jabonosa para reducir el residuo en la malla N° 20, lo cual se relaciona con temperaturas más altas de lo que requiere de alguno de los componentes para producir la emulsión. La Formulación 2 cumplió con la malla 20, sin embargo, no cumplió con la viscosidad, la estabilidad, y el tamaño y distribución de partículas (Tabla 7). La disminución de la temperatura del asfalto generó un aumento en su viscosidad lo cual dificultó su emulsificación y, la obtención de tamaños de partícula más pequeños y curvas de distribución de tamaños de partícula más angostas en la emulsión, obteniendo una viscosidad aún más baja que la de la Formulación 1 (Tabla 8). De acuerdo con este resultado, se decidió mantener la temperatura del asfalto y la fase jabonosa en al menos 140 y 50 °C, respectivamente, así como aplicar un tiempo de molienda de 40 s mínimo.

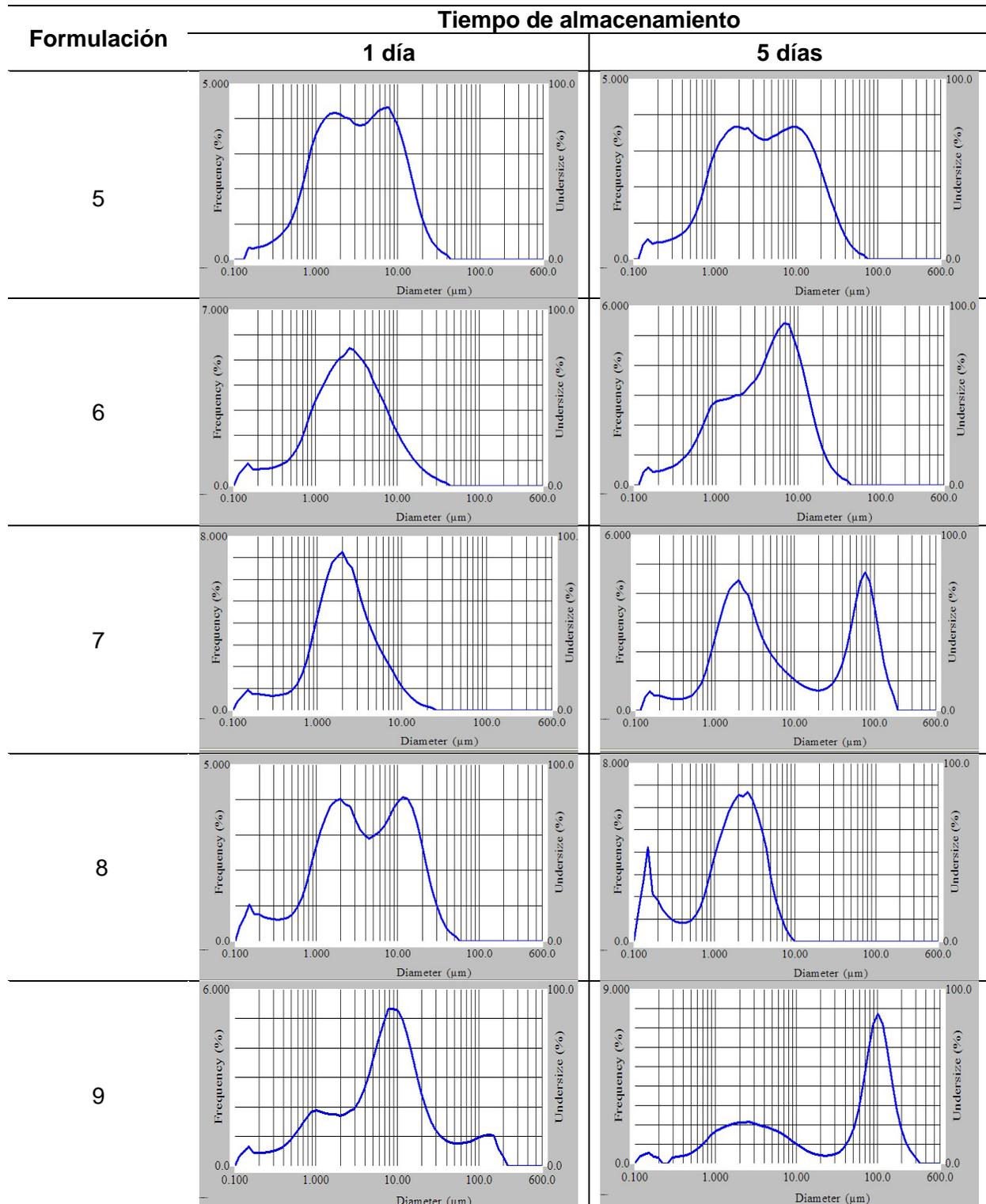
Una alternativa para aumentar la viscosidad en la emulsión es emulsionar asfaltos más blandos que requieran una menor energía de corte para generar tamaños de partícula más pequeños y curvas de distribución de partículas más angostas. Considerando el efecto de la consistencia del asfalto en la viscosidad de la emulsión, se realizó la Formulación 3 con el asfalto AC-20. Tal como se esperaba, hubo un aumento considerable de la viscosidad de la emulsión y la estabilidad y la malla N° 20 cumplieron con la especificación (Tabla 6). La estabilidad al día uno no se realizó por una pérdida de muestra durante el calentamiento para obtener el residuo asfáltico, no obstante, es muy probable que se desempeñara bien ya que a los cinco días cumplió con la especificación mínima. Con respecto, al tamaño y distribución de partícula, La formulación 3 es la que obtuvo el menor tamaño de partícula y la curva distribución de tamaños de partícula más angosta (Tabla 8). La Formulación 3 se podría replicar con un asfalto aún más blando (con penetración entre 100 y 250) para aumentar la viscosidad de la emulsión, sin embargo, esto implicaría rebajar el asfalto con solventes que tienen un efecto negativo en el ambiente por la emanación de gases o existe la posibilidad de una afectación en la adherencia y el PG del asfalto. Otra opción para incrementar la viscosidad es aumentar aún más el contenido de asfalto, pero se consideró que económicamente no era viable.



**Tabla 8**

*Tamaño y distribución de partículas de emulsiones formuladas en el LanammeUCR*







Para evitar el uso de asfaltos rebajados o requerir contenidos de asfalto muy altos se probaron las formulaciones 4, 5 y 6, en las cuales se implementaron tres agentes emulsificantes específicos para generar mayor viscosidad en la emulsión. Las formulaciones que se probaron fueron las recomendadas en las fichas técnicas de los agentes emulsificantes. A diferencia de otros agentes emulsificantes, estos requieren que se acidifique el agua antes de adicionar el agente emulsificante para ayudar a su disolución, además, los emulsificantes C y B tienen una consistencia sólida a temperatura ambiente y necesitan ser precalentados para que pasen a fase líquida y se puedan disolver en el agua acidificada. El precalentamiento del agente emulsificante es una limitante a nivel de la Planta de emulsiones de RECOPE, ya que actualmente no cuentan con equipo para calentar el agente emulsificante y se requería de su adquisición. Las formulaciones 4, 5 y 6 no cumplieron con la viscosidad requerida. Por su parte, las emulsiones con los emulsificantes D y C tuvieron un mal desempeño con respecto a la estabilidad. La emulsión con el emulsificante B tuvo una estabilidad adecuada al día 1, pero, al día 5 no fue posible saber su resultado ya que se perdió la muestra durante el secado para el contenido de asfalto. Con respecto al ensayo de la malla N° 20, las tres formulaciones cumplieron con el máximo residuo permitido. No obstante, las tres formulaciones mostraron curvas de distribución de partícula bimodales, con tamaños de partículas grandes y distribuciones de tamaño de partícula anchas, concordando con la baja viscosidad que se obtuvo.

Debido a que los agentes emulsificantes para desarrollar alta viscosidad en la emulsión no tuvieron el comportamiento esperado, se contactó a expertos técnicos de uno de los fabricantes de agente emulsificante. Los expertos técnicos señalaron que, por las tasas de asfalto y de agente emulsificante que emplean las emulsiones CRS-2h, se requiere de un molino coloidal con alta tasa de corte para generar tamaños de partícula pequeños y curvas de distribución angostas que permitan el desarrollo de alta viscosidad en las emulsiones. Indicaron que el molino coloidal que se está usando en el laboratorio no tiene la suficiente energía de corte para producir una emulsión de alta viscosidad y que en planta se debe tomar en cuenta este factor si se quiere producir este tipo de emulsiones.

El número de Reynolds (Re) es una cantidad numérica adimensional que establece la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas de un fluido en movimiento. Se utiliza para determinar el tipo de flujo es laminar o turbulento, según la velocidad, la densidad, la viscosidad



y la sección transversal del fluido. Si el número de Reynolds es menor que 2000, el flujo es laminar; si el número de Reynolds está entre aproximadamente 2000 y 4000, el flujo es inestable y se denomina flujo de transición; y si el número de Reynolds es mayor que 3500, el flujo es turbulento. Para un molino coloidal, el número de Reynolds se calcula mediante la Ecuación 2. Para conseguir distribuciones de tamaño de partícula angostas con tamaños pequeños ( $< 3 \mu\text{m}$ ) se requiere una alta energía de corte que se asocia con flujos turbulentos.

$$Re = \frac{\omega \cdot D^2 \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,  $\omega$  es la velocidad angular,  $D$  es el diámetro del rotor,  $\rho$  y  $\mu$  es la densidad y la viscosidad, respectivamente, del fluido dentro del molino.

El molino del LanammeUCR no llega a alcanzar el número de Reynolds que se requiere para producir emulsiones de alta viscosidad porque la velocidad angular (RPM) corresponde a un motor eléctrico convencional (2850 RPM) y el plato tiene un menor diámetro, con esta configuración el molino no es capaz de aplicar una energía de corte alta como lo hacen los molinos coloidales de tipo industrial y es poco eficiente. Los molinos coloidales de laboratorio de alta tasa de corte trabajan con motores que puede alcanzar 11500 RPM (DenimoTech, 2024), lo cual llega a simular mejor las condiciones de planta.

Como producto de la reunión con los expertos técnicos, se ofreció realizar las formulaciones en su molino de laboratorio, el cual tiene la capacidad para aplicar una mayor energía de corte y reproduce mejor las condiciones de planta. Para realizar las formulaciones de las emulsiones CRS-2h y CRS-2hL, se enviaron muestras de los materiales, los materiales incluían: 5 galones de asfalto AC-30 (M-2156-2023, muestreado en noviembre del 2023 en la planta de emulsiones de RECOPE en el Alto de Ochoмого, en el Anexo se adjunta su certificado de calidad), 500 ml de emulsificante D y 1000 ml de polímero SBR. El envío de las muestras al laboratorio del proveedor de agente emulsificante tuvo el siguiente propósito:

- Confirmar el efecto de la energía de corte en la producción de las emulsiones de alta viscosidad
- Justificar la adquisición de un molino en el LanammeUCR con mayor tasa de corte, que simule mejor las condiciones de planta y que controle las tasas de flujo y temperatura



- Emitir recomendaciones para aumentar la tasa de corte en la planta de RECOPE que permitan aumentar la viscosidad en las emulsiones que lo requieran y mejorar su estabilidad.

La Tabla 9 muestra los resultados de las emulsiones que se formularon en laboratorio de uno de los proveedores de emulsificante. Las dos emulsiones modificadas con polímero SBR (Tabla 5) cumplieron con la viscosidad alta que se requiere y los criterios de estabilidad y tamaño y distribución de partícula.

**Tabla 9**

*Resultados de emulsiones formuladas en el laboratorio de proveedor de agente emulsificante*

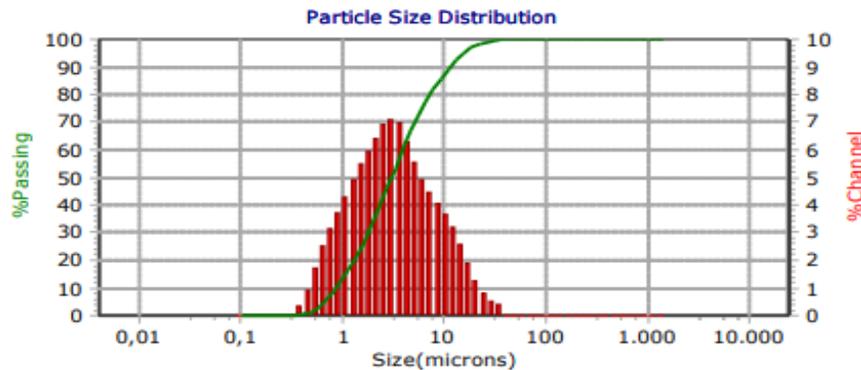
Ensayo	Emulsificante para alta viscosidad		Especificación
	D	C	
Residuo asfáltico (%)	66,9	66,8	65 % mín.
Tamiz (%)	0	0	0,1 % máx.
Estabilidad 5 días (%)	0,4	0,5	1,0 % máx.
Viscosidad 50°C (sSF)	123	243	100 - 400 sSF
D10 (µm)	0,88	0,87	≤ 2,1
D30 (µm)	1,60	1,78	1,7 - 8,0
D50 (µm)	2,41	3,01	1,7 - 8,0
D70 (µm)	3,60	5,11	-
90 (µm)	6,93	11,38	2,8 - 20,0
Span	2,51	3,49	-

*Nota.* Las especificaciones de viscosidad, estabilidad y malla N° 20 son según la norma INTE C382 (2020). Los rangos de tamaño y distribución de partícula son de acuerdo con lo recomendado por Díaz-Romero y Braham (2022) y Pereira, Vivoni, y Prado (2024).

Como se puede notar en las Figuras 7 y 8, las curvas de distribución de partícula son angostas y los tamaños son pequeños. No se aprecian distribuciones bimodales bien definidas y la forma de la curva de distribución tiende a ser normal. Se replicó formulación con el emulsificante D en el molino coloidal del LanammeUCR (Formulación 9, Tabla 7), sin embargo, se obtuvieron valores muy bajos de viscosidad y la emulsión era inestable al almacenamiento. La curva de distribución de tamaños de partículas se mostró más ancha y con un tamaño de partícula más grande que lo observado con las emulsiones fabricadas en laboratorio del fabricantes de agente emulsificante, también mostró un comportamiento bimodal (Tabla 8).

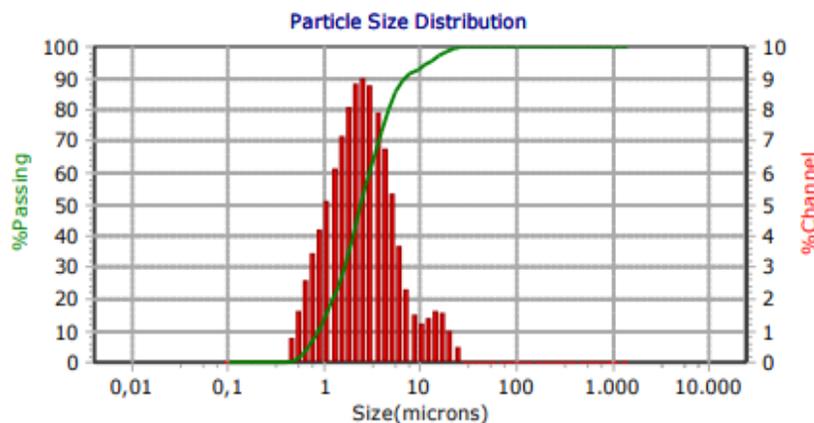
### Figura 7

Tamaño y distribución de partículas de emulsión formulada con emulsificante D



### Figura 8

Tamaño y distribución de partículas de emulsión formulada con emulsificante C



Los resultados demuestran que, aun replicando la misma formulación en el molino coloidal del LanammeUCR, la alta energía de corte, que aplican molinos coloidales como el de la empresa proveedora de emulsificante, es fundamental e indispensable para obtener emulsiones de alta viscosidad y que sean estables durante el almacenamiento, todo esto asociado con curvas de distribución de partícula de tipo normal, más angostas y con tamaños más pequeños, sin la presencia de más de una moda.

Dado las condiciones del molino coloidal que actualmente tiene el LanammeUCR (Figura 5) y la planta de emulsiones de RECOPE, donde el ajuste de la abertura del rotor-estator produce emulsiones con tamaños de partícula por arriba de lo recomendado para emulsiones de alta



viscosidad (el molino permite ajustar la abertura), se decidió en paralelo valorar asfaltos más blandos que permitieran obtener tamaños de partículas más pequeños y distribuciones de tamaño más angostas con una menor energía de corte.

Para reducir la demanda de energía corte, se consideró la Formulación 7, en la cual se utilizó asfalto AC-20, que es más blando, el emulsificante D para generar alta viscosidad, un contenido de emulsificante en el límite alto (recomendado por el fabricante) y una temperatura del asfalto más alta, por ser todas estas condiciones las más favorables para obtener una viscosidad más alta en la emulsión. Se fabricó un lote emulsión con la Formulación 7, sin embargo, no cumplió con la viscosidad, a pesar de que hubo una mejoría en la estabilidad y el residuo en la malla N° 20 (Tabla 7). Se obtuvieron tamaños de partícula grandes y la curva de distribución de tamaños ancha y bimodal, en congruencia con el resultado de la viscosidad (Tabla 8).

Con la misma estrategia de bajar la viscosidad del asfalto para aumentar la viscosidad de la emulsión se realizó la Formulación 8, donde se diluyó el asfalto AC-20 con 3,5 % de queroseno sobre el peso total de asfalto, siguiendo lo recomendado por Vargas (2016). Se usó una tasa alta de asfalto y agente emulsificante para emulsiones de alta viscosidad. La viscosidad a las 24 horas cumplió con la viscosidad, no obstante, la emulsión rompió y se separó, con lo cual no cumplió con la estabilidad de almacenaje.

## 5. CONCLUSIONES

En esta primera etapa, se realizaron las acciones relacionadas con el primer, segundo y tercer objetivo específico, de manera que se concluye lo siguiente:

1. Se realizaron diferentes formulaciones para obtener una emulsión CRS-2h o CRS-2hL que cumpliera con la viscosidad y la estabilidad de almacenamiento principalmente. En las formulaciones se varió el contenido de asfalto, la cantidad y tipo de agente emulsificante, la temperatura del asfalto y la fase jabonosa, el tiempo de molienda y la viscosidad del asfalto. Se midió el tamaño y distribución de partícula de cada formulación para ver su relación con la viscosidad y la estabilidad de almacenamiento.
2. Las emulsiones de alta viscosidad se caracterizan por tener tamaños de partícula pequeños y curvas de distribución de partícula angostas. Por lo cual se requiere de un molino coloidal, tanto de laboratorio como de planta que sea capaz de aplicar una alta



tasa de corte. Sin esta condición, las emulsiones que se produzcan no presentarán altas viscosidades y serán inestables al almacenamiento.

3. La planta de emulsiones que RECOPE tiene la capacidad para producir emulsiones de alta viscosidad. En la etapa de implementación podría ser necesario hacer ajustes en la abertura del rotor-estator para reducir el tamaño de partícula.
4. Los agentes emulsificantes desarrolladores de viscosidad en la emulsión que se probaron no mostraron el efecto esperado en la viscosidad y exhibieron inestabilidad durante los tiempos de almacenamiento evaluados. Para ver el efecto de estos agentes emulsificantes en la viscosidad se requiere usar un molino de coloidal con alta tasa de corte. Estos agentes emulsificantes producen mayor viscosidad a bajas tasas de asfalto, lo cual genera un ahorro económico en materia prima, siendo el asfalto el componente que incide más en el precio final de la emulsión.
5. Una estrategia para disminuir la tasa de corte durante la emulsificación es reducir la viscosidad del asfalto base. La viscosidad del asfalto base se puede reducir mediante solventes como el queroseno, aceite de palma o búnker, entre otros. La formulación que se realizó rebajando el asfalto con queroseno produjo una emulsión con una viscosidad alta ( $>100$  sSF), no obstante, era inestable y al poco tiempo tendía a romper y a separarse, lo cual la hace inadecuada para el almacenamiento y transporte. Por otro lado, probar solventes como el búnker, tienen un efecto negativo en el ambiente por la emanación de gases y existe la posibilidad de una afectación en la adherencia y el PG del asfalto.
6. La formulación 3 mostró una viscosidad entre 55 y 59, una estabilidad adecuada y presentó el menor tamaño promedio de partícula y la distribución de partícula más angosta, sin embargo, contenidos de asfalto mayores al 69 % que permitan aumentar la viscosidad no es viable económicamente.
7. La producción de emulsiones de alta viscosidad requiere a nivel de laboratorio y planta un control estricto en la temperatura de la fase jabonosa y el asfalto, el tiempo de molienda, la tasa de corte y la dosificación de los componentes para fabricar la emulsión, ya que estas variables inciden en el tamaño y distribución de partículas de la emulsión y, por consiguiente, en la viscosidad final de la emulsión.



## 6. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se recomienda:

1. Adquirir un molino coloidal de laboratorio de alta tasa de corte que permita continuar con la formulación y la evaluación del desempeño en el laboratorio de las emulsiones de alta viscosidad para tratamientos superficiales.
2. Sugerir a RECOPE ajustar la abertura del molino de planta para reducir el tamaño y distribución de partícula.

## 7. REFERENCIAS

- 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. (2020). *Standard specification for emulsified asphalt AASHTO M 140*. Washington, DC: 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 .
- Akzo 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
- 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. (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.
- 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
- DenimoTech*. (18 de Abril de 2024). Obtenido de <https://denimotech.com/research-plants/>
- Díaz-Romero, P., & Braham, A. (2022). Refining particle size specification for asphalt emulsion. *Construction and Building Materials*. doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.128812



- 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
- 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
- Hinkle, A. (1928). Maintenance of gravel and stone roads especially surface treatments. *Highway Research Board Proceedings*, 7, 270-273.
- Instituto del Asfalto. (1965). *Tratamientos asfálticos superficiales y macadam a penetración*. Caracas, Venezuela: Instituto del Asfalto.
- 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.
- Johnson, J., & King, G. (2008). *Using polymer modified asphalt emulsions in surface treatments*. Federal Lands Highway.
- Kiihnl, L., & Abraham, A. (2021). Developing a particle size specification for asphalt emulsion. *Construction and Building Materials*. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123414



EIC-Lanamme-INF-0001-2024  
Página 49 de 63

- Kroger, I., & Kroger, S. (2020). *Tratamientos superficiales de alto desempeño*. Canelones, Uruguay: Grupo Bitafal.
- LanammeUCR. (2017). *Tratamientos superficiales como alternativa en rutas de lastre*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte.
- 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. (2022). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2020)*. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- 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
- Pereira, D., Vivoni, A., & Prado, D. (2024). *Formulación de emulsión asfáltica rotura rápida catiónica tipo 2 con polímero - sistema ácido hidrociorhídrico*. Itupeva, Brasil: 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.
- 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.
- 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.
- 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



- Vargas, S. (2016). *Diseño de mezcla de laboratorio para los sellos asfálticos "Chip Seals" para su utilización en Costa Rica y elaboración del manual [Tesis de licenciatura]*. Universidad de Costa Rica. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10669/74477>
- 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.
- Zaniewski, J., & Mamlouk, M. (1996). *Preventive maintenance effectiveness. Preventive maintenance treatments. Participant's handbook*. Washington, D.C: Federal Highway Administration.



## APENDICE

### Preparación de asfalto con queroseno

1. Calentar asfalto a una temperatura de 140 °C.
2. Pesar en un pichel metálico la masa requerida de asfalto en caliente más 20 g (engrasado del recipiente).
3. Pesar 3,5 % de queroseno con respecto al peso total de asfalto incluyendo 20 g por el engrasado del recipiente. En este caso, el peso total de asfalto sería 700 g. Por lo tanto, el peso de queroseno es 24,5 g.
4. Para no perder temperatura, colocar el pichel de asfalto en una plantilla de gas o eléctrica. Adicionar el queroseno y al mismo tiempo agitar manualmente con un agitador metálico que garantice la homogeneidad de la mezcla (Figura A1). La agitación deberá detenerse cuando ya no se observe una película de queroseno por encima del asfalto.

#### Figura A1

*Adición del queroseno al asfalto*



### Fabricación de emulsión asfáltica

1. Pesar en un pichel metálico la masa requerida de asfalto en caliente más 20 g (engrasado del recipiente) y mantener a una temperatura de 140 °C para fabricar la emulsión.
2. Para los emulsificantes de consistencia sólida a temperatura ambiente, con una espátula acanalada, agregar en un beaker la masa de emulsificante requerida para todos los

baches de emulsión que se van a fabricar, calentar a 55 °C por 30 minutos o hasta que se derrita todo, tapar el beaker con papel aluminio durante el calentamiento.

3. Pesar en un beaker el agua a 50 °C para elaborar la fase jabonosa (Figura A2). Anotar el peso. Para facilitar la disolución de agentes emulsificantes específicos para generar más viscosidad en la emulsión, agregar al agua entre el 75 % y el 90 % del ácido clorhídrico de la formulación y agitar para homogenizar.

### Figura A2

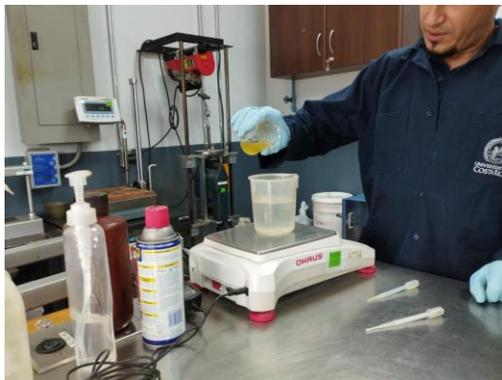
*Adición del agua de fase jabonosa*



4. A continuación, agregar el agente emulsificante hasta la masa requerida (anotar) (Figura A3).
5. Agregar, de requerirse, el polímero SBR tipo látex hasta la masa requerida (anotar).

### Figura A3

*Adición del emulsificante para la fase jabonosa*





6. Seguidamente, agregar ácido clorhídrico hasta alcanzar un pH requerido (anotar) (Figura A4). Durante la adición del ácido y para facilitar su incorporación, agitar continuamente la fase jabonosa mediante un agitador magnético con calentador para mantener la temperatura de la fase jabonosa en 50 °C.

#### **Figura A4**

*Adición del ácido para la fase jabonosa*



7. Para que la fase jabonosa preparada no pierda temperatura, tapar el beaker con papel aluminio y colocar en un horno a 50 °C por al menos 10 minutos antes de fabricar la emulsión.
8. Previo a fabricar la emulsión, precalentar el molino con agua a 50 °C y luego curar con solución jabonosa (de descarte, sólo para lavado) (Figura A5).

#### **Figura A5**

*Acondicionamiento de molino coloidal*



9. Una vez acondicionado el molino, agregar la solución jabonosa, encender el molino, inmediatamente el asfalto del horno, tarar la balanza con el recipiente con asfalto, y verter en la tolva del molino lentamente cerca del tubo de recirculación, evitando el vórtice, al



mismo tiempo agitar con una espátula para facilitar la incorporación del asfalto (Figura A6).

### Figura A6

*Adición de fase jabonosa y vertido del asfalto al molino coloidal*



10. Después de vertido el asfalto, accionar el cronómetro para medir el tiempo de molienda y recircular la emulsión por 10 s, posteriormente, abrir la válvula de salida para verter la emulsión en el recipiente de almacenamiento. Detener el tiempo del cronómetro cuando se apague el molino.
11. Pesar el recipiente vacío de asfalto para anotar la masa de asfalto vertido.
12. Medir la temperatura de la emulsión y anotar. Controlar la temperatura de salida del molino entre baches sucesivos para que no exceda los 75 °C, enfriando el molino, después de la fabricación de cada bache, con una parte de agua fría y otra de solución jabonosa para lavado.

### Figura A7

*Medición de temperatura de salida del molino*



13. Curar la emulsión en un horno a 50 °C por 24 horas y después dejar enfriar a temperatura ambiente para su posterior caracterización.



ANEXO



Informe N°. 3357A23

Rige a partir de:  
2023-01-10  
Versión 2

INFORME DE ENSAYOS  
PT-09-06-038

Tipo de producto: Asfalto (AC-30)

Cliente: Producto Negro

Fecha de muestreo: 2023/10/12

Tanque N°. 112

Teléfono: 2284-2700

Fecha de recepción: 2023/10/12

Terminal: El Alto

Lote N°. 26.2023-112

Volumen, m<sup>3</sup>: 1,276.40

Ensayo	Descripción	Resultado	Especificación	Analista	Fecha
**ASTM D-70	Densidad a 15 °C, kg/m <sup>3</sup>	1026	Reportar	ARNOLDO-GC	2023/10/13
**ASTM D-92	Temperatura de inflamación corregida, °C	327	Mínimo 232	TOMAS-HA	2023/10/13
**ASTM D-5	Penetración (25 °C, 100 g, 5 s), 1/10mm	51 ± 7	Mínimo 50	FABRICIO-ZR	2023/10/13
*ASTM D-2171	Viscosidad a 60 °C y 40,0 kPa, Pa s	326.0 ± 42.1	240.0 - 360.0	ARNOLDO-GC	2023/10/13
	Viscosidad post-pérdida 60 °C y 40,0 kPa, Pa s	836 ± 108	Máximo 1500.0	FABRICIO-ZR	2023/10/13
*ASTM D-1754	Cambio fracción masa, efecto calor-aire, % en masa	-0.557 ± 0.156	-1.0 - 1.0	FABRICIO-ZR	2023/10/12
**Cálculo	Susceptibilidad térmica (VTS)	3.3	3.3 - 3.9	ADRIANA-VR	2023/10/13
	Relación de viscosidades absolutas	3	Máximo 3	ADRIANA-VR	2023/10/13
**ASTM D-2493	Temperatura mínima mezcla, °C	158	Reportar	FABRICIO-ZR	2023/10/12
	Temperatura máxima mezcla, °C	163	Reportar	FABRICIO-ZR	2023/10/12
	Temperatura mínima compactación, °C	148	Reportar	FABRICIO-ZR	2023/10/12
	Temperatura máxima compactación, °C	152	Reportar	FABRICIO-ZR	2023/10/12
**ASTM D-4402	Viscosidad a 135 °C, mm <sup>2</sup> /s	606	Mínimo 350	FABRICIO-ZR	2023/10/12
	Viscosidad a 165 °C, mm <sup>2</sup> /s	134	Reportar	FABRICIO-ZR	2023/10/12
**ASTM D-8078	Fracción masa de cenizas, % en masa	0.09	Reportar	TOMAS-HA	2023/10/13

Última línea

Muestreo realizado de acuerdo a \*\*ASTM D-4067 y Plan de muestreo de productos derivados de petróleo de acuerdo con PT-09-13-001; por ENRIQUE-WC.

REGULACIÓN: Los resultados de los ensayos ejecutados CUMPLEN con lo indicado en el Decreto Ejecutivo N°02812-COMEV-MINAE-MEIC. Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA 75.01.22.04. Especificaciones técnicas para Asfaltos y Emulsiones Asfálticas; y regla de decisión LA = S\*(0,255\*U\*D) para una probabilidad de aceptación del 95 % y 50 % para los parámetros de seguridad.

OBSERVACIONES: tk 112

Acreditación de acuerdo a la Norma INTE-ISO/IEC 17025-2017, ver alcance de acreditación en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr).

\* Ensayo Acreditado. \*\*Ensayo No acreditado. Todas las referencias ASTM marcadas con un asterisco (\*) están asociadas al ensayo acreditado.





Enriching lives,  
in harmony with nature.

G-01-004-262  
Review: 02  
Date: 07/13

## TECHNICAL DATA SHEET

### ASFIER N100L

Liquid Cationic Rapid Setting Asphalt Emulsifier

#### DESCRIPTION.

ASFIER N100L is a liquid cationic emulsifier that does not contain volatile solvents, this product is base on modified tallow amine and it is used to produce cationic rapid setting asphalt emulsions.

#### TYPICAL PROPERTIES.

Appearance 25°C:	Yellowish Liquid
Odor:	Amine Characteristic
Specific Gravity @ 25°C:	0.910
Flash point °C:	>250

#### SPECIFICATIONS.

Total Amine value (mg KOH/gr):	205 - 225
Gardner Color:	15.0 max.

#### USES AND APPLICATIONS

The emulsions prepared with ASFIER N100L are recommended to be applied mainly in chip seal and tack coat. These emulsions present good adhesion properties with most of aggregates.

The recommended dosage of ASFIER N100L for rapid setting (CRS) emulsion is 1.6 – 2.9 kg/ton of emulsion.

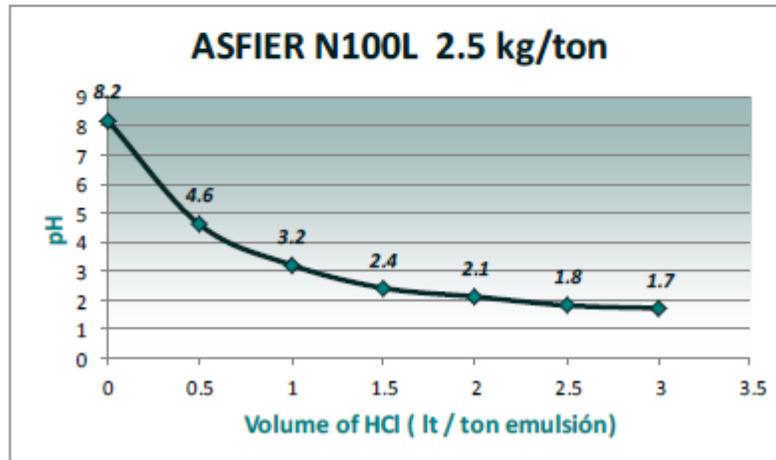


A recommended formulation for Cationic Rapid Setting emulsion is described in the following table:

RECOMMENDED FORMULATION (based in 1000 kg of emulsion)	
ASPHALT	630 - 650 kg
WATER	350 - 370 kg
ASFIER N100L	1.6 kg
HYDROCHLORIC ACID	Adjust pH 2
CALCIUM CHLORIDE *	1.0 kg
TOTAL	1000 kg

\* It is necessary to add calcium chloride (dissolved in the soap solution) like stabilizer of the emulsion to obtain satisfactory values of settlement.

The approximate quantity of hydrochloric acid necessary to neutralize the previous formulation using ASFIER N100L is shown in the next graphic:





Enriching lives,  
in harmony with nature.

G-01-004-202  
Review: 02  
Date: 06/13

## THECNICAL DATA SHEET

### ASFIER 121

Emulsifier for cationic rapid setting  
asphalt emulsions

#### DESCRIPTION.

ASFIER 121 is a polyamine-type asphalt emulsifier developed specifically to prepare cationic rapid setting emulsion.

**ASFIER 121 promotes high viscosity** to the asphalt emulsion, excellent coating and good adhesion in chip seal application.

#### PHYSICAL PROPERTIES.

Appearance at 25 °C:	Yellowish solid.
Odor:	Typical amine.
Density g/cm <sup>3</sup> at 40 °C:	0.830

#### SPECIFICATIONS.

Total Amine Value (mgKOH/g):	262 – 282
Moisture (weight %):	1.0 max.
Gardner Color:	10.0 max.

#### APPLICATION AND USES.

The emulsion prepared with ASFIER 121 is mainly used for: Chip seal and Sand seal.

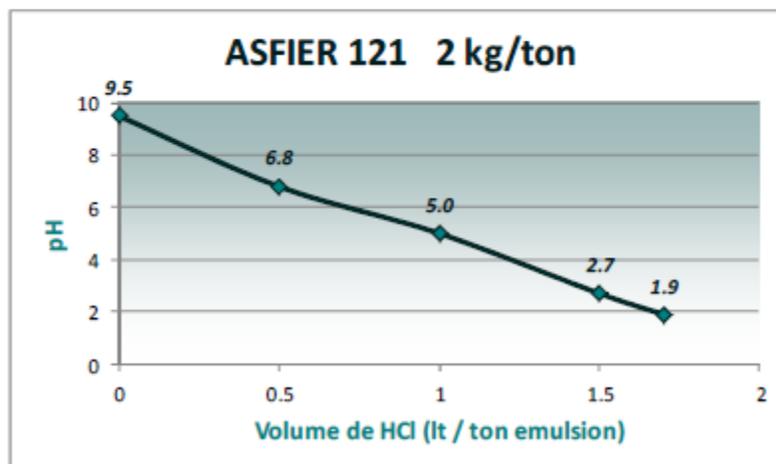
The recommended dosage to prepare emulsion using this emulsifier is 0.20 to 0.35%. The pH of soap solution must be 2.0 to 3.0.



A recommended formulation for Cationic Rapid Setting emulsion is described in the following table:

RECOMMENDED FORMULATION (based in 1000 kg of emulsion)	
ASPHALT	630 - 650 Kg
WATER	350 - 370 Kg
ASFIER 121	2 Kg
HYDROCHLORIC ACID	To adjust pH 2.0

The approximate quantity of hydrochloric acid necessary to neutralize the previous formulation using ASFIER 121 is shown in the next graphic:





## Redicote® E-4819

Emulsificante para emulsiones asfálticas catiónicas de rotura media y rápida para chipseal y mezclas abiertas

### Ventajas y características

- Proporciona viscosidad alta**  
Las emulsiones desarrollan una viscosidad alta, que cumplen las especificaciones en el contenido mínimo de asfalto
- Nivel de uso bajo**  
Por lo general 0.15-0.22% es suficiente para preparar emulsiones catiónicas de rotura rápida

### Almacenaje y manejo

Redicote E-4819 puede ser almacenado en tanques de acero al carbón. El almacenaje a granel debe ser mantenido a 35-50°C (94-122°F). Evite calentar por arriba de 65°C (150°F) por períodos largos. Redicote E-4819 contiene aminas y puede causar severa irritación o quemaduras de piel y ojos. Lentes y guantes de protección deben ser usados cuando se maneje este producto. Para información adicional consulte la hoja de información de seguridad del material. Para información adicional consulte la hoja de información de seguridad del material.

### Empaque

Redicote E-4819 esta disponible en envíos a granel o en tambores de 360 lb (163 kg) peso neto.

### Notas

Este producto no está disponible dentro de la UE.

### Uso

Emulsiones catiónicas de rotura rápida	0.15-0.22%	pH 2-4.5, ácido clorhídrico
Emulsiones catiónicas de rotura media	0.25-0.35%	pH 1-4.5, ácido clorhídrico

### Especificación

Índice de amina, mg KOH/g	258-278	SM 5.005
Agua, %	max 1	VE 5.022

### Propiedades físicas

Apariencia a 25°C	pastosa			
Punto de inflamación, °C	>175 (>347°F)			
Punto de fluidez, °C	30 (86°F)			

	30	40	50	60	°C
	86	104	122	140	°F
Densidad, g/cc	0.84	0.83	0.82	0.82	
Densidad, lbs/U.S. gal	6.98	6.91	6.84	6.79	
Viscosidad, mPa.s (cP)	37	20	9	7	

Las propiedades físicas son datos típicos basados en nuestras propias mediciones o derivados de la literatura. No constituyen parte de la especificación de venta.



## Redicote® C-580

Cationic emulsifier that is liquid at ambient temperatures used for rapid and medium set (CRS/CMS) emulsions suitable for chip seal (surface dressing) & scrub seal, tack coat and open graded cold mix

### Benefits and features

- High emulsion viscosity**  
Emulsions prepared using Redicote C-580 have significantly higher viscosities, which allow specifications to be met at the minimum binder content
- Easy to handle**  
Redicote C-580 is a 100% active, solvent free liquid product with low viscosity and pour point
- Easy to use**  
Redicote C-580 readily dissolves in acidified water at ambient temperatures. It is an emulsifier well suited for use in both in-line and batch emulsion plants

### Dosage

Cationic rapid set emulsion	0.20-0.35%	pH 2-3 hydrochloric acid
Cationic medium set emulsion	0.30-0.60%	pH 2-3. hydrochloric acid

- The optimum dosage depends on the type of binders which should be determined by lab trials
- SBS modified binders may require higher dosage compared to unmodified binders or latex modified emulsions
- The addition of 0.10-0.25% Redicote AP-1 to the binder before emulsification can boost emulsion viscosity and allow use of lower emulsifier dosage with polymer modified binders
- Changing the pH with a particular dosage of emulsifier will also influence viscosity, demulsibility and particle size of the emulsion

### Storage and handling

Redicote C-580 may be stored in carbon steel tanks. Bulk storage should be maintained at 10-30°C (50-86°F). Redicote C-580 contains amines and may cause severe irritation or burns to skin and eyes. Protective goggles and gloves must be worn when handling this product. For further information consult the Safety Data Sheet.

### Packaging information

Redicote C-580 is available in bulk shipment, or in tight head steel drums of 380 lbs (173 kg) net weight, or in one-way totes (IBCs) of 2000 lbs (907 kg) net weight.

Physical properties are typical data based on our own measurements or derived from the literature. They do not constitute part of the delivery specification.

### Specification

Amine value, mg KOH/g	140-160	KL625.81
Water, %	max 1	KL510.00

### Physical properties

Appearance at 25°C (77°F)	brown liquid		
Flash point, °C	136 (277°F)		
Pour point, °C	-6 (21°F)		

	20	30	40	°C
	68	86	104	°F
Density, g/cc	0.90	0.89	0.88	
Density, lbs/U.S. gal	7.48	7.43	7.37	
Viscosity, mPa.s (cP)	129	76	47	