



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**USO Y APLICACIONES DE LAS EMULSIONES
ASFÁLTICAS**

PRESENTADO POR

BACHILLER CHRISTIAN FRANK GOMEZ HUANCA

ASESOR: RENE HERADIO FLORES PAURO

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERÚ

2017

CONTENIDO

Página de Jurado	i
Dedicatoria	ii
Contenido	iii
Índice de Tablas	iv
Índice de Figuras	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO II	
OBJETIVOS	
2.1. Objetivos generales	3
2.2. Objetivos específicos	3
CAPÍTULO III	
DESARROLLO DEL TEMA	
3.1. Marco teórico	4
3.1.1. Generalidades	4
3.1.2. Uso de las emulsiones asfálticas	21
3.1.3. Aplicaciones de las emulsiones asfálticas	25
3.2. Caso práctico	60
3.2.1. Lechada asfáltica (Slurry Seal)	60
3.3. Representación de resultados	75
3.4. Interpretación de resultados	81
3.4.1. Materiales	81
3.4.2. Diseño de mezclas	82
CAPÍTULO IV	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1. Conclusiones	84
4.2. Recomendaciones	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro Comparativo de los Materiales Asfálticos	7
Tabla 2. Composición de las Emulsiones Asfálticas	10
Tabla 3. Nomenclatura para los diferentes Tipos de Emulsión.	13
Tabla 4. Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas.....	22
Tabla 5. Uso de las Emulsiones Asfálticas	23
Tabla 6. Técnicas de Aplicaciones para cada tipo de Emulsión Asfáltica.....	27
Tabla 7. Especificaciones para Agregados Pétreos.....	29
Tabla 8. Rangos de Temperatura de Aplicación (°C)	30
Tabla 9. Cuadro Comparativo reciclado in situ vs en planta	48
Tabla 10. Estabilización con Emulsión.....	49
Tabla 11. Materiales componentes de los Sellos de Lechada Asfáltica.....	61
Tabla 12. Elección del tipo de Emulsión de acuerdo con las condiciones climáticas	62
Tabla 13. Resumen de Especificaciones para Emulsiones Aniónicas utilizadas en la construcción de Sellos de Lechada Asfáltica	62
Tabla 14. Resumen de Especificaciones para Emulsiones Catiónicas utilizadas en la construcción de Sellos de Lechada Asfáltica	63
Tabla 15. Especificaciones de los Ensayos de Agregados para Slurry Seal	64
Tabla 16. Especificaciones Granulométricas para Slurry Seal	65
Tabla 17. Especificaciones de ensayos de Diseño para la mezcla Slurry Seal	68
Tabla 18. Análisis Granulométrico	76
Tabla 19. Muestras de Agregados sometidas a Emulsión.....	77

Tabla 20. Resultados de Exudación de Asfalto.....	78
Tabla 21. Resultados de pérdidas por Abrasión.....	79
Tabla 22. Porcentaje Optimo de Emulsión Asfáltica	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Esquemático de una Emulsión.....	5
Figura 2. Representación esquemática de una Emulsión Anionica y de una Catiónica.....	11
Figura 3. Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo.....	17
Figura 4. Diagrama de una Planta de Elaboración de Emulsión Asfáltica.....	18
Figura 5. Tamaños relativos y distribución de las partículas de asfalto en una Emulsión.....	20
Figura 6. Tratamiento Superficial Simple.....	34
Figura 7. Tratamiento Superficial Doble.....	35
Figura 8. Riego de Imprimación.....	36
Figura 9. Colocación de mezcla asfáltica sobre riego de liga.....	37
Figura 10. Riego de liga sobre riego de Imprimación.....	38
Figura 11. Lechada Asfáltica en camino rural.....	43
Figura 12. Lechada Asfáltica en vía urbana.....	44
Figura 13. Etapas del reciclado y equipos usados.....	46
Figura 14. Llenado de la ranura a ras.....	55
Figura 15. Llenado de la ranura a ras con venda.....	56
Figura 16. Llenado debajo de la venda.....	56
Figura 17. Venda o Curita.....	56
Figura 18. Llenado a ras.....	57
Figura 19. Ampliando la grieta o fisura con sierra mecánica.....	58
Figura 20. Colocación del material sellante dentro de la grieta o fisura.....	58

Figura 21. Acabado final del pavimento.....	59
Figura 22. Curvas granulométricas para los tipos de Slurry Seal.	65
Figura 23. Curva granulométrica.	76
Figura 24. Exudación de asfalto en muestras.....	78
Figura 25. Resultado de pérdidas en muestras por abrasión.	80
Figura 26. Contenido óptimo de Emulsión Asfáltica.	80

RESUMEN

Sabemos de la importancia para el desarrollo de un país, tener una adecuada infraestructura vial, sabiendo que los caminos de bajo volumen de tránsito no están pavimentadas, o están deterioradas debido a deficientes procedimientos constructivos, se plantean alternativas de bajo costo y que técnicamente sean aceptables, la emulsión asfáltica viene siendo una alternativa factible por tal motivo el presente trabajo tiene por objeto describir las metodologías de aplicación a base de emulsiones asfálticas.

En el desarrollo de nuestro trabajo de investigación para las emulsiones asfálticas, presento la teoría de emulsiones, su clasificación, proceso de fabricación, entre otros. A continuación se explicó en el trabajo los usos de las emulsiones para desarrollar las diferentes aplicaciones, describiendo su procedimiento constructivo dando énfasis a la utilización de la emulsión asfáltica en cada aplicación describiendo sus cuidados ventajas y formas de aplicación.

Finalmente se desarrolló un caso práctico, con una de las aplicaciones más utilizadas en nuestro país, la Lechada Asfáltica (Slurry Seal) en la cual se describió el procedimiento para el diseño de mezcla, finalmente verificando el cumplimiento de estas con las especificaciones y parámetros que recomiendan las normas.

Palabras clave: Aplicaciones, Emulsiones asfálticas, Infraestructura vial, Lechada asfáltica.

ABSTRACT

We know of the importance for the development of a country, to have an adequate road infrastructure, knowing that the roads of low volume of traffic are not paved, or are deteriorated due to deficient construction procedures, low cost alternatives are proposed and that are technically acceptable. , the asphaltic emulsion has been a feasible alternative, for this reason the present work has the objective of describing the application methodologies based on asphalt emulsions.

In the development of our research work for asphalt emulsions, we present the theory of emulsions, their classification, manufacturing process, among others. Next, the uses of the emulsions to develop the different applications are explained in the work, describing their constructive procedure, emphasizing the use of the asphalt emulsion in each application, describing its careful advantages and application forms.

Finally, the Asphalt Grout is designed in the country, the Asphalt Grout (Mud Seal) in which the procedure for the design of the mixture is described to later verify the compliance with these specifications and the parameters recommended by the standards.

Keywords: applications, emulsions, design, grout, asphalt, slurry.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El área de la infraestructura vial es imprescindible para el crecimiento económico de cualquier país, porque permite abastecer las necesidades esenciales de una población como son la educación, salud, trabajo y alimentación. Es por ello que se deben obrar nuevas redes de carreteras y mantener las ya existentes, además de buscar nuevas tecnologías, mejorar la calidad de los materiales y metodologías de construcción.

Las emulsiones asfálticas son utilizadas, debido a los diversos beneficios y ventajas que proporcionan como son: el uso de agregados húmedos, la facilidad de mezclado, temperaturas de aplicación bajas, menores problemas de contaminación ambiental, además es versátil teniendo en cuenta las características de los agregados propios de cada región lo que proporciona un ahorro de energía y bajos costos de producción.

El presente trabajo nos introduce a las emulsiones asfálticas desarrollando en forma genérica sus aspectos como: componentes, ventajas, clasificación, y enfatizando los diferentes usos y aplicaciones de las emulsiones asfálticas; a manera práctica se desarrolló una de las aplicaciones más usadas en nuestro país, el Slurry Seal (lechadas asfálticas), donde tuve en cuenta todas las especificaciones que debe seguir cada componente de la emulsión en mención, los ensayos necesarios para determinar los datos que se necesitan para el diseño, el procedimiento para el cálculo de la dosificación, finalmente un caso práctico con datos de ensayos ya realizados de una obra local y se determinó la dosificación para la emulsión.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivos generales

- ✓ Dar a conocer el uso y aplicaciones de las emulsiones asfálticas.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Desarrollar los componentes, ventajas, clasificación, proceso de fabricación de las emulsiones asfálticas.
- ✓ Determinar y describir la emulsión asfáltica de mayor uso en la región Moquegua (Slurry Seal).
- ✓ Realizar un diseño de mezcla de lechada asfáltica (Slurry Seal) y verificar que cumpla con las especificaciones.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico

En este capítulo se desarrolla la definición, aspectos básicos de las emulsiones asfálticas a manera de introducción a los usos y aplicaciones.

3.1.1. Generalidades

3.1.1.1. Definición

Definida como una dispersión de dos elementos insolubles uno en el otro, palabra que tiene su origen en el verbo latino “emulgere”, que significa ordeñar.

“Entonces la definición de una emulsión es la combinación fina estabilizada de un líquido en otro (asfalto y agua), los cuales son no mezclables entre sí y están unidos por un agente emulsificante” (Rodríguez et al., 2001, p. 15).

Por tanto las emulsiones asfálticas se definen como la combinación de asfalto, agua y un emulsionante el cual permite la mezcla de los dos componentes mencionados anteriormente. En la figura 1 apreciamos un dibujo esquemático de una emulsión asfáltica

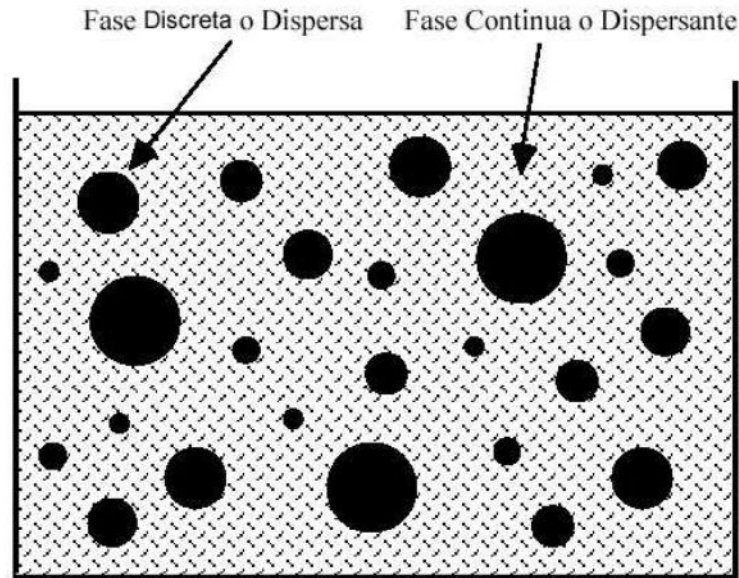


Figura 1. Diagrama Esquemático de una Emulsión
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2001

3.1.1.2. Ventajas que ofrecen las emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas tienen la ventaja de ser utilizadas en todas las capas de un pavimento, en revestimientos asfálticos por construir, en mejoramiento de pavimento y hasta en trabajos de parcheo.

Las ventajas de las emulsiones asfálticas sobre los asfaltos rebajados (líquidos) y asfaltos en caliente, siendo las siguientes:

- ✓ Es un ligante asfáltico que no pone en riesgo el ambiente, es decir no es contaminante, ya que contiene del 35 % al 40 % de agua como solvente.
- ✓ Es de manejo seguro y sencillo, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
- ✓ Su almacenamiento tiene un tiempo límite y es muy amplio, ya que puede ser almacenado por semanas o meses.
- ✓ Tiene una gran adhesión con cualquier agregado pétreo.
- ✓ Su aplicación se realiza en un corto tiempo, lo que permite la pronta funcionalidad de la obra.
- ✓ Presenta un bajo costo de la fase dispersante, que es el agua.
- ✓ Se puede utilizar materiales pétreos locales, lo que permite no realizar la transportación de estos materiales por grandes distancias.
- ✓ El equipo de aplicación es mucho más sencillo debido a que todos sus componentes se aplican a temperatura ambiente.
- ✓ Como se realiza la aplicación en frío, ayuda a no alterar el medio ambiente y no permite la emisión de humos o gases (Rodríguez et al., 2001, p. 29).

Estas ventajas podemos resaltar que las emulsiones no generan contaminación ambiental en grandes proporciones, siendo por ello, en los países de mayor desarrollo, el uso preferente de las emulsiones asfálticas en obras viales.

En la Tabla 1 nos detalla la comparación de estos materiales asfálticos siendo obviamente las emulsiones asfálticas la mejor opción.

Tabla 1
Cuadro Comparativo de los Materiales Asfálticos

Material asfáltico	Ventajas	Desventajas	Proceso de curado
Mezclas en caliente	Aplicación directa	Humos y costo de combustible	Por enfriamiento
Asfaltos rebajados	Trabajabilidad	Contaminación atmosférica	Evaporación del solvente
Emulsiones asfálticas	Menor polución, menor costo de combustible	Cuidado en el manejo de la emulsión	Rotura, coalescencia, evaporación del agua

Fuente: The Asphalt Institute's, s.f.

3.1.1.3. Composición de las emulsiones asfálticas

Según Almeida y Sánchez (2001), desarrollan la siguiente composición para las emulsiones asfálticas.

Los componentes básicos de la emulsión son:

- ✓ Cemento Asfáltico: Siendo este el principal componente de la emulsión asfáltica y representando entre un 55 % y un 70 % de la misma. Cabe resaltar que el cemento asfáltico cumple con las características físico-químicas, y debe ser compatible con el agente emulsificante para así producir una emulsión estable.

- ✓ El Agua: Sus principales funciones son humedecer y disolver; se adhiere a otras sustancias; y modera las reacciones químicas; estos factores permiten la producción de una emulsión satisfactoria.

- ✓ El emulsificante: Representa la menor proporción de la emulsión, pero aun así es esencial en la composición, ya que su función principal es de estabilizar y evitar la coalescencia (unión de los glóbulos de cemento asfáltico). El emulsionante permite el rompimiento oportuno y cambia la tensión superficial en el área de contacto (p. 10).

Ibáñez (2003), nos indica lo siguiente:

Las emulsiones como ya hemos mencionado están compuestas por cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante en las proporciones aproximadas de:

- ✓ cemento asfáltico: 50 % a 63 %
- ✓ Agua: 35 % a 50 %
- ✓ Agente emulsificante: 0,5 % a 2,0 % (p. 02).

En la Tabla 2 nos muestra esta relación porcentual, conjuntamente con las emulsiones modificadas con polímeros.

3.1.1.4. Emulsiones asfálticas modificados con polímeros

Sabemos que una emulsión asfáltica tiene tres componentes básicos: asfalto, agua y un emulsificante, en aplicaciones de mayor desempeño se agrega un ingrediente más, el polímero el cual modifica la emulsión.

“Las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros elastoméricos son partículas o glóbulos de asfalto con polímero, suspendidas en agua que contiene un agente emulsificante. Los polímeros elastoméricos pueden estar dispersos en la fase líquida de la emulsión, en forma de partículas de látex de SBR o pueden estar disueltos en el ligante asfáltico emulsificado, que es el caso del polímero SBS.

Cuando se realiza la aplicación, las partículas de asfalto modificado con polímero se depositan sobre los agregados ocasionando la ruptura de la emulsión y finalmente el curado del residuo asfáltico, dando propiedades físico-químicas mejoradas al asfalto residual” (TDM Asfaltos, 2017).

Se entiende que son modificaciones para mejorar la emulsión frente a temperaturas y situaciones críticas, incrementando propiedades como la resistencia, elasticidad, adhesividad, cohesividad, etc., tal como nos lo indica TDM Asfaltos en las ventajas para emulsiones modificadas con polímeros.

a. Ventajas

“La presencia del polímero elastomérico en el ligante asfáltico le aporta mejores propiedades, brindando elasticidad, mayor viscosidad, mayor punto de ablandamiento, menor susceptibilidad térmica y con mayor resistencia al envejecimiento debido al aire y a los rayos ultravioleta, abreviándose en mejor desempeño y mayor tiempo de vida útil” (TDM Asfaltos, 2017).

En resumen en la Tabla 2 se presenta la relación porcentual aproximado de los componentes de una emulsión asfáltica, en este caso (agua, cemento asfáltico, emulsificante y polímero).

Tabla 2
Composición de las Emulsiones Asfálticas

Elemento	Emulsión Normal	Emulsión modificada con polímero
Cemento	40 – 70	50 – 70
Asfáltico		
Emulsificante	0,2 – 1,5	0,2 – 1,5
Agua	40 – 60	35 – 45
Polímero	0	1 – 4

Fuente: The Asphalt Institute's, s.f.

3.1.1.5. Clasificación de las emulsiones asfálticas

De acuerdo con los emulsificantes usados, se obtienen dos clasificaciones de emulsiones asfálticas:

a. Emulsiones aniónicas

Almeida y Sánchez (2001) nos define “La emulsión aniónica (sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos de cadena compleja) es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga negativa y descargan en el ánodo ideal (ideales para agregados calizos que ionizan positivamente)” (p. 10). Sintetizando es una emulsión cargada negativamente que trata de unir elementos cargados positivamente.

b. Emulsiones catiónicas

Contrario a las emulsiones aniónicas que se trató anteriormente, son partículas de asfalto que están cargadas positivamente, por lo que son afines a grupos cargados negativamente. La Figura 2 nos ilustra la representación esquemática de los tipos de emulsión.

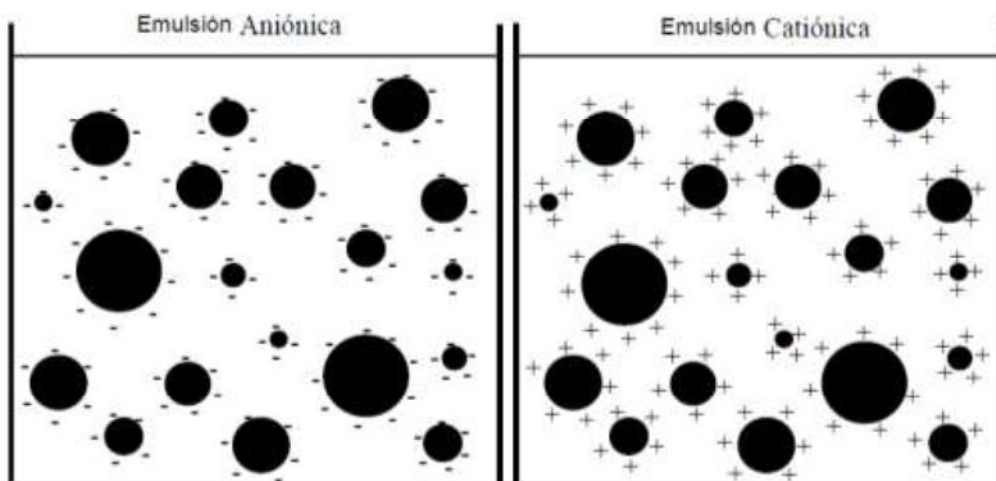


Figura 2. Representación esquemática de una Emulsión Anionica y de una Catiónica
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2001

La carga eléctrica en cada tipo de emulsificante envuelve a las partículas de asfalto en toda su superficie, apartadas por las partículas de agua, impulsando que se alejen entre ellas por un lapso de tiempo determinado.

El tiempo en que las partículas de asfalto permanecen separadas, conlleva a una segunda categorización y es de acuerdo a su reactividad (velocidad para que ocurra la unión entre las partículas de asfalto).

Por tanto, las emulsiones según a qué velocidad de rotura se produzcan se catalogaran de la siguiente forma:

- ✓ RS (Rapid-setting): emulsiones de rompimiento rápido.
- ✓ MS (Medium-setting): emulsiones de rompimiento medio.
- ✓ SS (Slow-setting): emulsiones de rompimiento lento.
- ✓ QS (Quick-setting): emulsiones de rompimiento controlado.

Según Ulloa (2012), indica lo siguiente:

La ruptura comienza en el instante que la emulsión entra en contacto con el agregado al mezclarse y cuando se pone sobre el pavimento, debido a la separación del agua en el asfalto. La reacción química para una emulsión RS ocurre rápidamente al mezclarse con cualquier agregado, una emulsión MS es afín para mezclarse con agregado grueso pero no agregado fino, las emulsiones SS y QS por el contrario, ostentan mayor afinidad para mezclarse con agregado fino, aunque la rotura en una QS se manifiesta más rápido que en una SS.

Para determinar el tipo de emulsión se utiliza letras y números. Si se pone una letra “C” delante de una nomenclatura, representa a una emulsión asfáltica catiónica, por ejemplo, una CRS significa que es una emulsión catiónica de rompimiento rápido; mientras que no se coloque alguna letra enfrente de una nomenclatura indica una emulsión aniónica. Si se asigna un número después a la nomenclatura hará referencia a la viscosidad de la emulsión; por lo que una CSS-2 será más viscosa que una CSS-1. Ahora, si se aumenta una “h” o una “s” después del número indicará la dureza del asfalto utilizado, “h” para un asfalto con cierto grado de dureza y “s” para un asfalto suave. Y Finalmente, si se adiciona la letra “L”, “S” o “P” al final de toda la nomenclatura indicará que la emulsión contiene algún aditivo o polímero, el cual suele ser látex (p. 19).

En la Tabla 3 nos describe la nomenclatura para los tipos de emulsión que, según la AASHTO y la ASTM, resumimos en la siguiente tabla.

Tabla 3
Nomenclatura para los diferentes Tipos de Emulsión

Emulsión aniónica	Emulsión catiónica
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
MS-1	-----
MS-2	CMS-2
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	-----
HFMS-2	-----
HFMS-2h	-----
SS-1h	CSS-1
SS-1h	CSS-1h

Fuente: Normas AASHTO Y ASTM, s.f.

En la citada información nos explica de forma fácil y entendible la rapidez de rotura, celeridad con que las partículas de asfalto recubren el agregado pétreo desprendiéndose del agua, a continuación desarrollamos dicha clasificación en función a sus aplicaciones:

a. Emulsiones de rompimiento rápido

Según Almeida y Sánchez (2001), indica que “Estas no tienen ninguna capacidad para mezclarse con agregados, se emplean para riegos de sello, sellos de arena y tratamientos superficiales; para reaccionar rápidamente con el agregado y volver al estado del asfalto” (p. 11).

Siendo por tanto que en riegos de sello de altas viscosidades muy esenciales, “se evita el fenómeno de escurrimiento, da mejor embebido del pétreo y aporta a la adherencia (mayor espesor de película sobre la superficie del pétreo)” (Almeida y Sánchez, 2001, p. 11), motivo por el cual es utilizada principalmente en riegos de liga, tratamiento superficial para unir capas.

b. Emulsiones de rompimiento medio

“Designadas para ser mezcladas con agregados porque NO rompen al instante cuando se une con el agregado. Esta cualidad permite que la mezcla sea manejable por un periodo de tiempo determinado” (Almeida y Sánchez, 2001, p. 11).

Este tipo de emulsión trabaja de manera adecuada con pétreos de E.A. > 75 % y finos < 5 %. Se usan para mezclas in-situ, mezclas con plantas estabilizadoras y estabilización in-situ. Sobre mezclas de gradación abierta con fines de bacheo, renivelaciones y reciclados.

También utilizada para carpetas de mezcla en frío que son fabricadas en planta, cuando el contenido de finos es menor o igual al 2 %, así como en trabajos de mejoramiento como son bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.

c. Emulsiones de rompimiento lento

“Se diseñan para mezclarse con agregados finos, se utilizan comúnmente para carpetas asfálticas en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas” (Almeida y Sánchez, 2001, p. 12).

Elegidas para dar máxima estabilidad de mezclado. Estas emulsiones tienen tiempos más largos de manejabilidad para asegurar un buen mezclado con materiales densamente gradados. Dan buenos resultados con agregados de E.A > 60 % y finos de 5 % a 12 %. Se utilizan principalmente para mezclas de gradación densa, mezclas de arena y reciclados.

3.1.1.6. Rompimiento de las emulsiones asfálticas

Para el uso de las emulsiones asfálticas es necesario controlar la estabilidad de la emulsión, es decir su ruptura. Debido a que pasado un lapso de tiempo, las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto se acople como una capa sobre el material pétreo. Esto se debe a que la carga eléctrica que tiene el material pétreo contrarresta la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, causando la atracción unas a otras para formar agregados de gran tamaño; estos son los que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica.

Mientras ocurre este proceso de desestabilización, la emulsión como va perdiendo agua, pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, formando pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales son eliminadas cuando se coloca la capa de asfalto.

Los factores que influye principalmente en la ruptura de la emulsión aniónica son: La evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo.

Mientras que la ruptura de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulgente por los agregados, provocando la ruptura de la emulsión y haciendo que las partículas del asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad.

En la Figura 3 podemos observar el proceso de ruptura de una emulsión como se explicó en párrafos anteriores, se observa la emulsión, luego cuando se inicia el rompimiento, finalmente cuando se produce la ruptura completa y queda el material pétreo cubierto por el asfalto (Rodríguez et al., 2001, p. 25).

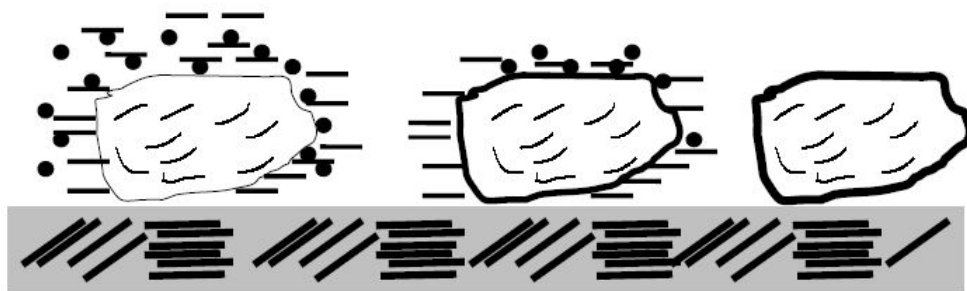


Figura 3. Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2001

3.1.1.7. Proceso de fabricación de las emulsiones asfálticas

a. Equipo de emulsión

El equipo principal para la preparación de emulsiones asfálticas consiste “un dispositivo mecánico de lata, velocidad de altas tensiones de corte (Usualmente un molino coloidal) para dividir el asfalto en pequeñas gotitas” (González et al., 2007, p. 62). Como también se necesita un tanque para el asfalto caliente, bombas, y medidores de caudal. En la Figura 4 se muestra un diagrama de cómo se elabora las emulsiones asfálticas en una planta.

El molino coloidal tiene un motor de alta velocidad (17-100 Hz ó 1000-6000 RPM) con gálibos de paso en el orden de 0,25 a 0,50 mm. Las gotitas de las emulsiones asfálticas tienen tamaños inferiores al diámetro de un cabello humano esto es alrededor de 0,001 a 0,010 mm. Se utilizan analizadores de tamaños de partículas para describir la calidad de la emulsión. Para la medición de cantidades de asfalto y de solución emulsiva que ingresan en el molino coloidal se manejan sendas bombas (González et al., 2007, p. 62).

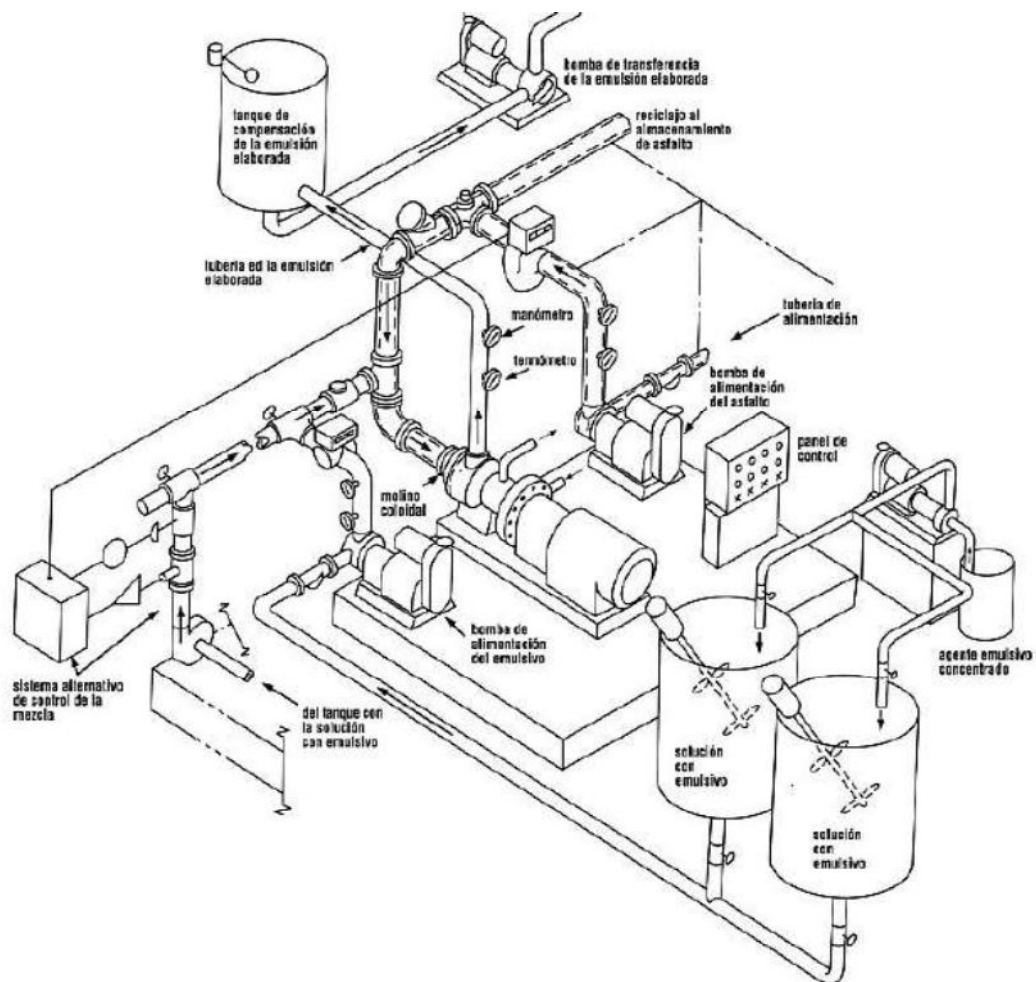


Figura 4. Diagrama de una Planta de Elaboración de Emulsión Asfáltica
Fuente: González, 2007

b. Proceso de emulsificación

En este proceso se introduce asfalto en caliente al molino coloidal, dividiéndolo en pequeñas gotitas, al mismo tiempo se ingresa el agua que contiene el agente emulsivo. El asfalto se calienta para obtener una baja viscosidad en el molino coloidal, se ajusta la temperatura del agua para optimizar el proceso de emulsificación, las temperaturas varían dependiendo de las características y compatibilidad entre los componentes. Considerando que la temperatura de salida de la emulsión debe ser menor al punto de ebullición del agua, el asfalto no debe llegar a temperaturas extremas. Luego las emulsiones son bombeadas a tanques de almacenamiento.

La mezcla de la emulsión al agua varía según el proceso empleado por el fabricante. Según González et al., (2007) “Para ser solubles en agua, algunos emulsivos, como las aminas, deben mezclarse y reaccionar con el ácido; otros, como los ácidos grasos, deben mezclarse y reaccionar con un álcali.

La mezcla de emulsivo se hace comúnmente en un tanque de mezclado por pastones. El emulsivo es incorporado al agua caliente que contiene ácidos o álcali, y es agitado hasta su completa disolución” (p. 64). La emulsión mostrara reacciones para que sean solubles en agua, ya que deben ser disueltas entre sí.

Las cantidades de asfalto y de solución emulsificante se calculan con medidores de caudal, también con verificaciones de temperatura de cada fase y la

descarga del molino, es decir es muy importante el caudal y la temperatura para determinar las proporciones de asfalto y emulsión. Este método se realiza calculando la temperatura deseada de los componentes de salida de la emulsión ya elaborada; así se controla el porcentaje de contenido de asfalto (González et al., 2007, p. 64).

Sabiendo la importancia del tamaño de las partículas de asfalto para la fabricación de una emulsión estable. Se muestra una fotografía a nivel microscópico, en promedios de tamaños de partículas de una típica emulsión, en la Figura 5.

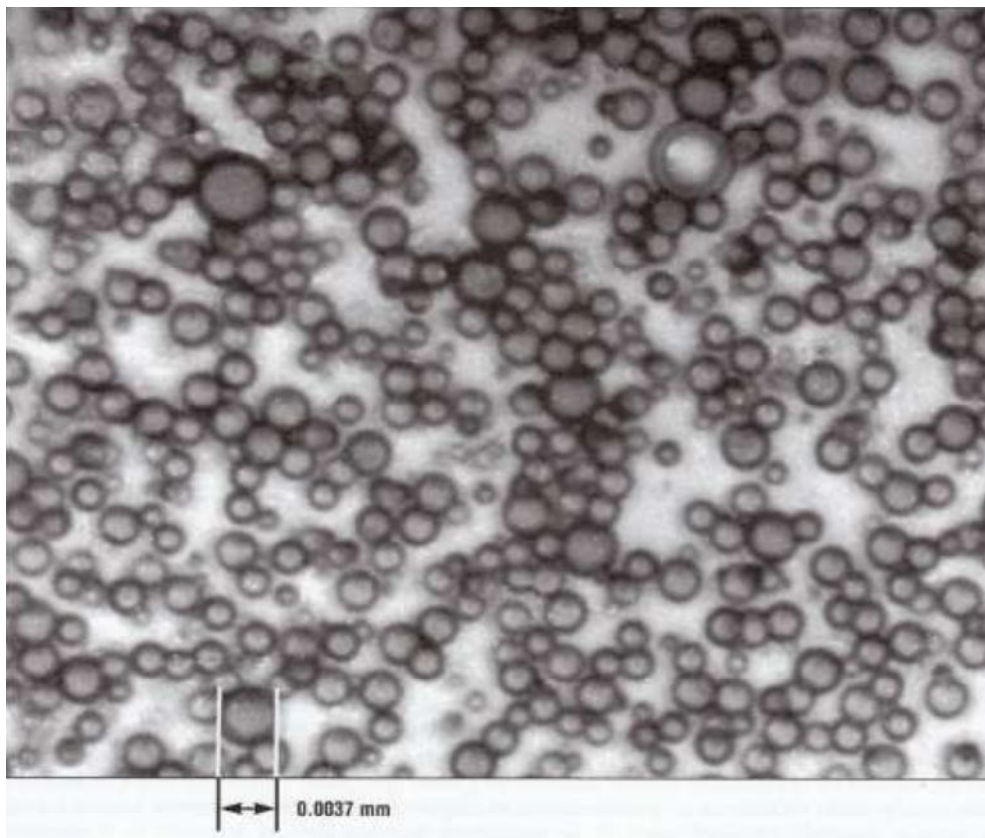


Figura 5. Tamaños relativos y distribución de las partículas de asfalto en una Emulsión
Fuente: González, 2007

Del cual se identifican los siguientes tamaños según González et al. (2007)

Menor de 0,0001 mm (1µm).....	28 %
0,001 – 0,005 mm (1 – 5 µm).....	57 %
0,005 – 0,010 mm (5 – 10 µm).....	15 %

3.1.2. Uso de las emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas tienen diferentes usos diseñados específicamente, en el área de la construcción podemos resaltar como principales

- ✓ Juntas para pavimentos hidráulicos.
- ✓ Adhesivos.
- ✓ Selladores.
- ✓ Impermeabilizantes.

Para tratamientos superficiales, para pavimentos asfálticos, en carreteras y aeropistas resaltan:

- ✓ Riegos de impregnación.
- ✓ Riegos de imprimación o penetración.
- ✓ Riegos de liga.
- ✓ Riegos de sello con arena o gravilla seleccionada.

En Tabla 4 muestra los usos generales de tipos y grados normalizados de emulsiones asfálticas.

Tabla 4

Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas

Tipo de construcción	ASTM D977 / AASHTO M208									ASTM D2397 / AASHTO M 140					
	RS-1	RS-2	HFRS-2	MS-1, HFMS-1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2h	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Mezclas de Asfalto y Agregados:															
Mezcla en Planta (en caliente)						X ^A									
Mezcla en Planta (en frío)															
Granulometría Abierta					X	X						X	X		
Granulometría Cerrada							X	X	X					X	X
Arena							X	X	X					X	X
Mezclado In-situ															
Granulometría Abierta					X	X						X	X		
Granulometría Cerrada							X	X	X					X	X
Arena							X	X	X					X	X
Suelo Arenoso							X	X	X					X	X
Aplicaciones de Asfalto y Agregado															
Tratamientos Superficiales (Simples y Múlt)	X	X	X							X	X				
Sellado con Arena (Sand Seal)	X	X	X	X						X	X				
Lechada Asfáltica (Slurry Seal)							X	X	X					X	X
Micro-aglomerado (Micro-sufacing)															X ^E
Sellado doble (Sandwich Seal)			X	X							X				
Cape Seal		X									X				
Aplicaciones Asfálticas															
Riego Pulverizado (Fog Seal)				X ^B					X ^C	X ^C				X ^C	X ^C
Imprimación (Prime Coat)					X ^D				X ^D	X ^D				X ^D	X ^D
Riego de Liga (Tack Coat)				X ^B					X ^C	X ^C				X ^C	X ^C
Paliativo de Polvo (Dust Palliative)									X ^C	X ^C				X ^C	X ^C
Protección con Asfalto (Mulch treatment)									X ^C	X ^C				X ^C	X ^C
Sellado de Fisuras (Crack filler)									X	X				X	X
Mezclas de Mantenimiento															
Uso Inmediato							X					X	X		
Acopio							X								

^A pueden emplearse otros grados que el HFMS-2h cuando la experiencia demuestra que han tenido un comportamiento satisfactorio.

^B diluido en agua por el fabricante

^C diluido con agua

^D mezclado solo para imprimación

^E el polímero debe incorporarse durante o previamente a la emulsificación

Fuente: Bracho, 2005

3.1.2.1. *Uso de las emulsiones catiónicas*

Son usadas generalmente para la pavimentación, se clasifican de acuerdo al proceso constructivo donde van a ser empleadas (Tabla 5).

Tabla 5
Uso de las Emulsiones Asfálticas

ROTURA RÁPIDA		ROTURA MEDIA	ROTURA LENTA		
CRR-1	CRR-2	CRM	CRL-0	CRL-1	CRL-1h
Riegos de liga		Mezclas abiertas		Mezcla densa	
Tratamientos superficiales simples y dobles		Micro-aglomerados en frío		Bases estabilizadas	
Sello arena asfalto				Mezcla en vía	
					Riegos de Imprimación

Fuente: Sarmiento, 2012

3.1.2.2. *Recomendaciones para el uso de emulsiones asfálticas*

Para el uso de las emulsiones asfálticas se dan las siguientes recomendaciones según Rodríguez et al. (2001):

- ✓ Si el depósito se usó para almacenar emulsiones aniónicas y se van a almacenar emulsiones catiónicas, es necesario el lavado del tanque, primero realizarlo con agua y luego con ácido clorhídrico diluido al 1 %.

- ✓ Por el contrario, si el depósito se usó para almacenar emulsiones catiónicas y se quiere almacenar emulsiones aniónicas, se utilizara agua para el lavado y luego neutralizarlo con sosa cáustica al 0,3 %.
- ✓ Para descargar y/o almacenar más emulsión sobre la ya guardada, es necesario que el tubo de descarga llegue al fondo del depósito para no romper la nata superficial, caso contrario taparía las bombas.
- ✓ Cuando una fábrica o compañía está ubicada en una región con temperaturas bajas, los tanques deberá estar protegidos con un sistema de aislamiento o calentamiento adecuado para evitar el congelamiento.
- ✓ Al recibir una emulsión en obra, se recomienda antes corroborar su calidad y tipo de emulsión de que se trate y sea el que se ha solicitado, realizando los respectivos ensayos de verificación.
- ✓ Si la emulsión cumple con las especificaciones de calidad, puede almacenarse más de un año, si se recircula sistemáticamente para mantenerla homogénea.
- ✓ Como se menciona en el punto anterior los tanques de almacenamiento deberán tener un sistema de recirculación, con el fin de evitar el asentamiento del asfalto incluido en la emulsión.

- ✓ La temperatura ambiente al aplicarse la emulsión, deberá ser de 10 °C mínimos y en ascenso, más nunca debe de hacerse cuando baje la temperatura durante la noche.
- ✓ La emulsión, una vez que es desestabilizada (o sea que ya se produjo el rompimiento), no debe de re-emulsificarse aún en presencia de agua y del paso de los vehículos; por este motivo es muy importante que el emulsificante sea el adecuado (p. 30).

3.1.3. Aplicaciones de las emulsiones asfálticas

La aplicación de las emulsiones asfálticas es principalmente considerada como un método para la conservación o construcción de un pavimento. Entre los principales, según Ulloa (2012), tenemos las siguientes aplicaciones:

a. Tratamientos a la superficie

- ✓ Tratamientos superficiales (Chip seal)
- ✓ Sellos de niebla (Fogseal)
- ✓ Sellos de lechada asfáltica (Slurryseal)
- ✓ Microcapas (Microsurfacing)
- ✓ Combinación de tratamientos superficiales con sellos de lechada (Cape seal)

b. Asfaltos reciclados

- ✓ Reciclado en frío en sitio (Cold in-place)
- ✓ Mejoramiento de base (Full depth)
- ✓ Reciclado en caliente en sitio (Hot in-place)
- ✓ Reciclado en caliente en planta

c. Otras aplicaciones

- ✓ Estabilización de suelos y bases
- ✓ Bacheo
- ✓ Riego de imprimación
- ✓ Riego de liga
- ✓ Sellado de grietas
- ✓ Impermeabilizante (p. 20).

En función a cada tipo de emulsión se puede tener una o varias aplicaciones, en la Tabla 6 se presentan las diferentes aplicaciones por cada tipo de emulsión asfáltica.

Tabla 6
Técnicas de Aplicaciones para cada tipo de Emulsión Asfáltica

Tipo de emulsión Aplicación	Aniónica			Catiónica			
	RS	MS	SS	CRS	CM S	CSS	CQS
Riegos de emulsión							
Tratamientos superficiales (TS)	•			•			
Sellos de niebla		•	•		•	•	•
Riego de liga		•	•	•	•	•	
Riego de imprimación		•	•			•	
Lechadas asfálticas							
Sellos de lechada asfáltica		•	•			•	•
Microcapas (modificada con polímero)						•	
Combinación de TS + Sellos de lechada asfáltica	•			•			
Mezcla en planta							
Granulometría abierta / semi-densa		•			•		
Granulometría densa		•	•			•	•
Reciclado en caliente (RAP)		•				•	•
Bacheo		•				•	
Mezcla en sitio							
Reciclado en frío (RAP)		•			•	•	•
Estabilización de bases			•				•
Granulometría densa			•			•	•
Bacheo		•			•		

Fuente: Ulloa, 2012

A continuación se desarrollan las aplicaciones principales de las emulsiones asfálticas describiendo principalmente su aplicación, se desarrollan procesos constructivos y recomendaciones para su aplicación.

3.1.3.1. Tratamientos superficiales

Un tratamiento superficial consiste en la colocación de una o más capas conformado por un producto bituminoso y un agregado pétreo aplicados sobre la superficie de una base imprimada o cualquier otra que esté preparada para tal finalidad, el cual dependiendo del número de capas se conocen como de un solo riego, doble riego y triple riego.

Los objetivos principales que se quiere lograr con los tratamientos superficiales son:

- ✓ Lograr una carpeta asfáltica que permita resistir el pavimento contra el efecto abrasivo de los neumáticos y conservar así la capacidad portante del pavimento durante varios años.
- ✓ Proteger la estructura vial contra las acciones climáticas, especialmente del agua.
- ✓ Dar a la superficie de rodadura cierta rugosidad para evitar el deslizamiento tanto longitudinal como transversal de los vehículos.

Si se quiere lograr los resultados esperados en los tratamientos superficiales, es necesario que la superficie donde se aplicara, tenga las características adecuadas

de textura y en su toda longitud posea una estructura suficiente que pueda disipar los esfuerzos producidos por el tránsito.

La emulsión asfáltica en los tratamientos superficiales, aplicadas con emulsiones catiónicas, permiten el servicio vehicular casi de inmediato. Así la exudación disminuye casi en su totalidad.

a. Materiales

Según Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), los materiales para ejecutar estos trabajos serán:

- ✓ Agregados pétreos: Los agregados pétreos para la aplicación del tratamiento deberán regirse con las especificaciones de calidad, indicadas en siguiente Tabla 7.

Tabla 7
Especificaciones para Agregados Pétreos

Ensayos	Especificaciones
Partículas fracturadas del agregado grueso con una cara facturada (MTC E 210)	85 % mín.
Partículas del agregado grueso con dos caras fracturadas (MTC E 210)	60 % mín.
Partículas chatas y alargadas (ASTM D 4791-NTP 400.4)	15 % máx.
Abrasión (MTC E 207)	40 % máx.
Pérdida en sulfato de magnesio (MTC E 209)	18 % máx.
Adherencia (ASTM D 1664-AASHTO T 182)	+95
Terrones de arcilla y partículas friables (MTC E 212)	3 % máx.
Sales solubles total (MTC E 219)	0,5 % máx.

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013

- ✓ Material bituminoso: El material bituminoso a ser aplicado, podrá ser: cemento Asfáltico, asfaltos Diluidos o emulsión asfáltica catiónica. El material bituminoso se elegirá de acuerdo a la aplicación y al tipo de tratamiento ya definido, será calentado de manera general referencial dentro de los parámetros de temperatura establecidos en la Tabla 8 y establecidos de manera definitiva mediante la carta viscosidad-temperatura (ASTM D 341).

Tabla 8
Rangos de Temperatura de Aplicación (°C)

Tipo y Grado del Asfalto	Temperaturas de Esparcido ⁽²⁾		Temperaturas de Mezclado en Planta ⁽¹⁾	
	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
MC-30	--	30	--	--
RC-70 o MC-70	20	50	--	--
RC-250 o MC-250	40	75	55-80	--
RC-800 o NC-800	55	95	75-100	--
Emulsiones Asfálticas				
CRS-1	--	50-85	--	--
CRS-2	--	50-85	--	--
CMS-2	20-70	--	10-70	--
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	--	10-70	--
Cemento Asfáltico	140 máx ⁽⁴⁾		140 máx ⁽⁴⁾	
Todos los grados				

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.

(2) La Máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma

(3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones.

(4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad-temperatura

Fuente: The Asphalt Institute's, s.f.

- ✓ Aditivos mejoradores de adherencia: Sera requerida cuando se establezca en el proyecto o sea requerida por el Supervisor, no siendo indispensable sólo cuando se requiera.

b. Equipo

Para la ejecución del tratamiento superficial se requieren, básicamente:

- ✓ Equipos para la explotación de agregados
- ✓ Una planta de trituración y clasificación de agregados (incluye una trituradora primaria una trituradora secundaria, así como una clasificadora y un equipo de lavado)
- ✓ Equipo para la limpieza de la superficie
- ✓ Distribuidor del material bituminoso (camión imprimador)
- ✓ Esparcidor de agregado pétreo
- ✓ Compactadores neumáticos

c. Preparación de la superficie existente

La construcción del tratamiento superficial deberá proceder siempre y cuando la superficie tenga la compactación y densidad adecuada, las cotas y dimensiones indicadas en los planos y aprobados; además de que la superficie deberá estar seca y libre de cualquier impureza.

“La construcción del tratamiento no se permitirá la aplicación, hasta que la capa de imprimación haya terminado su curado y mucho menos antes de las 24 horas, transcurridas desde su aplicación” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013, p. 511).

d. Aplicación del material bituminoso

Nos sugiere que “antes de la aplicación del material bituminoso se marcará una línea guía en la calzada para controlar el paso del distribuidor y se determinara el tramo de la carretera que quedará cubierta, según con la cantidad de material bituminoso disponible en el distribuidor y la capacidad de extensión del esparcidor de agregados pétreos” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013, p. 511).

Se nos recomienda también que por ningún motivo se permita la ejecución de los trabajos bajo temperaturas ambientales menores de 6 °C o haya lluvia.

e. Extensión y compactación del agregado pétreo

Se realizará luego de la aplicación del ligante bituminoso de manera uniforme. Los trabajos de compactación se realizarán inmediatamente después de la aplicación del agregado pétreo con el rodillo neumático, en zonas en tangente, la compactación comenzará por el borde exterior hacia el centro, en curvas se iniciará desde el borde inferior hacia el borde superior. Se deberá compactar hasta obtener una superficie lisa y estable en un tiempo máximo de 30 minutos, desde el esparcido del agregado pétreo, con un mínimo de tres pasadas completas del rodillo neumático (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013, p. 512).

f. Retiro de sobrantes

El retiro de residuos de agregados debe realizarse en un corto plazo y lo más pronto para evitar:

- ✓ Que ejerzan una acción de desgaste con los materiales que quedaron adheridos por acción misma del tráfico.
- ✓ Peligrosos para la circulación de los vehículos.
- ✓ Que se opongan al escurrimiento o libre flujo de aguas lluvias hacia las obras de drenaje.

g. Apertura al tránsito

Debe evitarse el tránsito sobre la capa recién ejecutada durante las 24 horas después de la aplicación, de no ser posible se deberán tomar medidas para que los vehículos no circulen a una velocidad mayor a 30 km/h. En ningún caso se permitirá el tránsito vehicular antes de las 2 horas de concluida la compactación.

Mediante los siguientes esquemas se describe la ejecución del tratamiento simple (Figura 6) y el tratamiento doble (Figura 7).

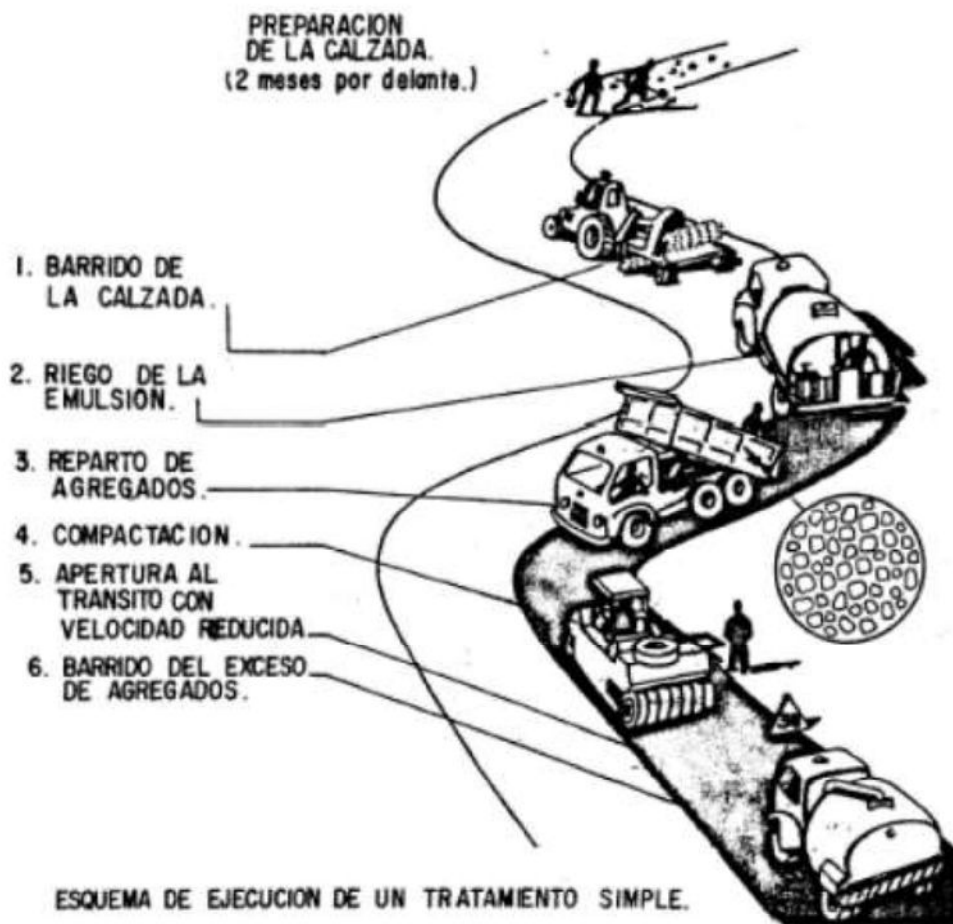


Figura 6. Tratamiento Superficial Simple
Fuente: Ministerio de Obras y Transporte - Colombia, 1992

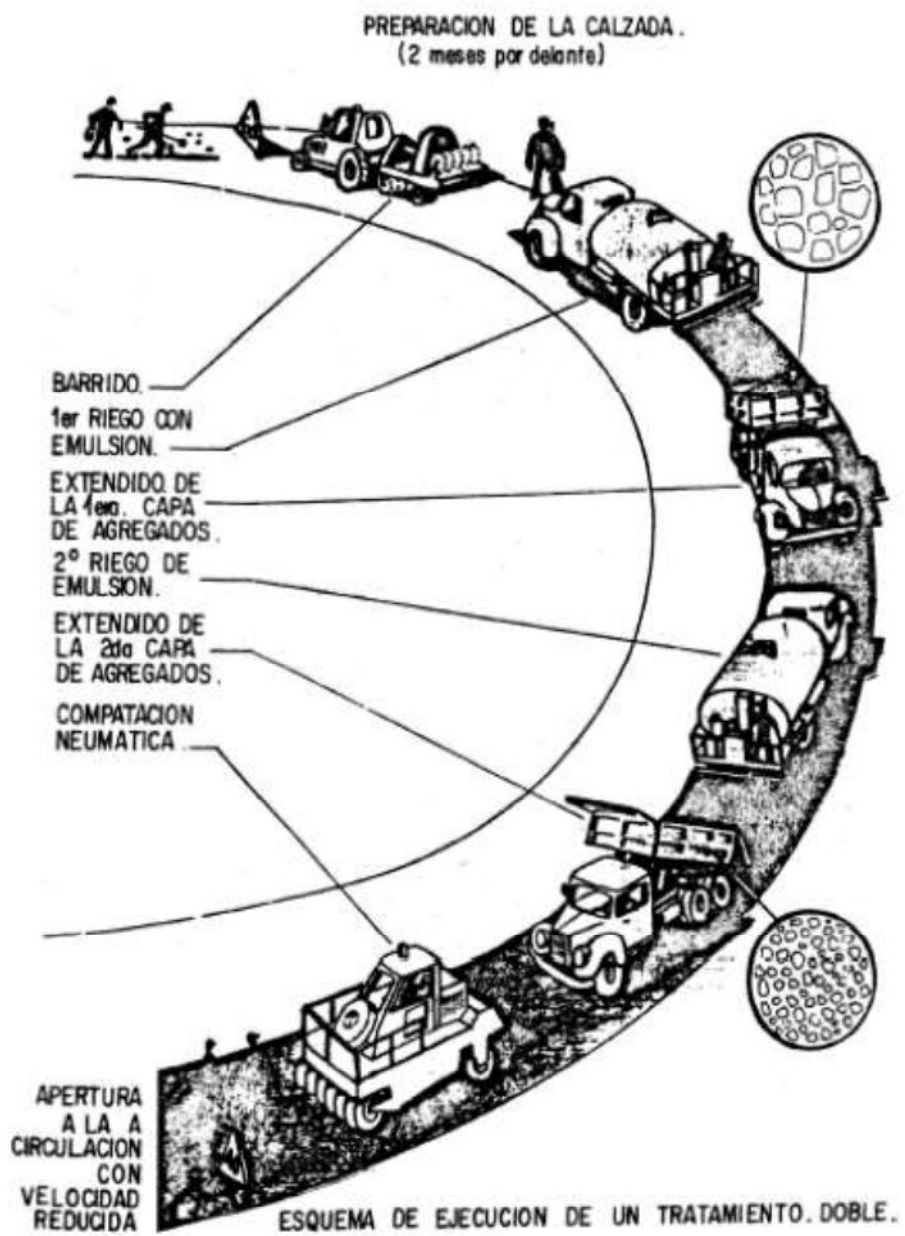


Figura 7. Tratamiento Superficial Doble
Fuente: Ministerio de Obras y Transporte - Colombia, 1992

3.1.3.2. Riego de imprimación

Definida como la aplicación de un ligante bituminoso sobre una capa granular previamente a la colocación de una capa bituminosa sobre la misma, ver Figura 8.



Figura 8. Riego de Imprimación
Fuente: Alonzo, 2012

Se utilizaran ligantes muy fluidos de rotura lenta, siendo recomendables los diseñados específicamente para tal fin la emulsión especial de imprimación (EAI, ECI). El ligante penetra por capilaridad en la capa granular brindando un mejor agarre entre las capas, aplicándose mediante un tanque regador, antes de ello se sugiere realizar un barrido y humectación del área de trabajo para luego proceder con el extendido del ligante y así facilitar su penetración en la capa granular. Su dosificación se determina mediante un proceso aproximado que comprende en dos fases según Alonzo et al. (2012):

- ✓ La dosificación inicial se determina según la cantidad de ligante que es posible absorber la capa granular en un tiempo de 24 horas, y que generalmente suele ser 1 kg/m².
- ✓ En obra se rectifica, según el caso si se observa que hay zonas secas se añade ligante y en caso que hay exceso de riego se extiende arena para que ayude absorberlo.

Se debe realizar de tal forma que la mezcla se distribuya de forma continua y homogénea. Así mismo se deberá prohibir el tránsito vehicular dentro de las 4 horas a su puesta en obra, y si fuese posible dentro de las 24 horas. Luego se colocará la capa bituminosa como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Colocación de mezcla asfáltica sobre riego de liga
Fuente: Alonzo, 2012

3.1.3.3. Riego de liga

Ligera aplicación de riego usado principalmente lograr unificar el pavimento existente y la capa asfáltica a colocar, la cual debe ser aplicada en cada capa de refuerzo como se aprecia en la Figura 10.



Figura 10. Riego de liga sobre riego de Imprimación
Fuente: Alonzo, 2012

Usualmente se emplearan las emulsiones SS-1, SS.1h, CSS-1 y CSS.1h diluidas (emulsiones de rotura lenta). Para ello antes se realiza una dilución de prueba entre la emulsión y agua mismas cantidades, para recién realizar la dilución en obra.

Se recomienda agregar agua, caliente de preferencia, para evitar una rotura prematura a la emulsión y no la emulsión al agua.

Para resultados óptimos el riego de liga se aplica sobre una superficie seca y con una temperatura que supere los 25 °C (80 °F). El área donde aplicara el riego de liga deberá estar libre de material suelto para una buena adherencia. Si excedemos con la aplicación de riego de liga ocasionara un plano resbaladizo entre las dos capas de pavimento, por ello se debe obtener una capa muy fina de riego y uniforme.

La exudación sobre la superficie del pavimento puede ocasionar superficies resbaladizas en el pavimento, se recomienda la compactación con rodillos neumáticos, el cual permitirá a extender el asfalto y reducir la probabilidad de manchas gruesas. Luego de aplicado el riego de liga, y antes de colocar el recapado, se deberá esperar un tiempo para que se produzca la completa rotura de la emulsión diluida (que pasa del color marrón al color negro). Así mismo se debe restringir el tráfico en la zona a tratarse con riego de liga (Alonzo et al., 2012, p. 57).

3.1.3.4. Sello de niebla asfáltica

Un sello de niebla (Fog seal) es la leve aplicación de asfalto emulsificado o diluido para sellar los vacíos superficiales en una sobrecapa, además de minimizar el desprendimiento de agregados, corregir deficientes aplicaciones de asfalto en tratamiento superficiales muy secos u oxidados.

a. Aplicaciones

El sello de niebla está abocado más a un tipo de tratamiento de preservación la cual puede tener las siguientes aplicaciones:

- ✓ Aumentar asfalto a una superficie de pavimento para mejorar las propiedades impermeabilizantes de la sobrecapa.
- ✓ Prevenir futuras pérdidas de agregado en el sitio.
- ✓ Retardar el efecto del envejecimiento o mejorar la apariencia superficial del pavimento.

Se debe tener cuidado con su aplicación ya que un inadecuado uso o mala aplicación pueden ocasionar en una superficie resbalosa y peligrosa.

Entonces en otras palabras el sello de niebla aplica una nueva capa de asfalto fresco aumentando la vida útil del pavimento.

Ya explicado el fin de la aplicación del Fog Seal, entonces se necesitara una emulsión de rompimiento lento diluida en agua que permita que durante su aplicación debe tener una viscosidad lo suficientemente baja como para penetrar los vacíos superficiales antes de romper.

b. *Materiales*

Generalmente se utiliza emulsión y agua, a veces las emulsiones son modificadas con aditivos para propósitos especiales. Por ejemplo, se puede agregar aceites rejuvenecedores para suavizar y revitalizar el ligante envejecido en el pavimento; para ello se pueden utilizar estos tipos de emulsión pueden ser CSS-1h (Catiónicas de rompimiento lento) y SS-1h (aniónicas de rompimiento lento). Y si se quiere una mayor velocidad de rompimiento se podrían utilizar CQS-1h (Catiónicas de rompimiento entre lento y medio) o LMCQS-1h (Catiónicas de rompimiento entre lento y medio modificadas con latex).

Las emulsiones asfálticas nacionales contienen entre un 35 % y 40 % de agua, sin embargo, cuando se hace referencia a dilución en el tema de “fog seal”, es agua adicional a la emulsión y el asfalto residual es el remanente luego que el agua se haya evaporado (la adicionada y el contenido de la emulsión original).

c. *Condiciones de sitio*

Para que la aplicación sea óptima deberá romper a una velocidad promedio y deberá curar completamente, y así lograr que el tránsito se restablezca sin el desprendimiento de la emulsión por el tráfico; siendo así el ligante deberá recubrir con una película continua en toda la superficie. Teniendo en consideración que el clima templado y sin lluvia favorecerá para una aplicación exitosa. Además no

deberá ser aplicado cuando la temperatura del pavimento sea menor de 15 °C y la temperatura ambiente es menor de 10 °C.

d. Preparación de los materiales

Como ya se sabe las emulsiones asfálticas nacionales contienen entre un 35 % y 40 % de agua; sin embargo, debe ser diluida aún más antes de usarse, una dilución de un 50 % (1:1) es requerida. Se recomienda que no sea diluida con agua por más de 24 horas antes de ser usada, para evitar asentamientos. Es importante que el agua se agrega a la emulsión y no viceversa, además debe ser removida usando una bomba centrífuga u otro método apropiado para garantizar la homogeneidad de la mezcla.

e. Tasas de aplicación y rociado

Para su aplicación la emulsión debe ser calentada a una temperatura máxima de 50 °C; pero, es rociada generalmente a temperatura ambiente. El control de tráfico es necesario para proteger la integridad de la aplicación. El tiempo de curado para los materiales del sello de niebla dependerá de las condiciones superficiales del pavimento, en condiciones ideales es recomendable detener el tráfico por al menos 2 horas o hasta cuando se logre la resistencia al deslizamiento permitido en el pavimento.

3.1.3.5. Lechadas asfálticas

Definida como una mezcla de agregados de granulometría cerrada, compuesta por (emulsión asfáltica, aditivos y agua) ver Figura 8, aplicada generalmente como un tratamiento de superficie a manera de mantenimiento y mejoramiento. El tratamiento no aumenta la resistencia estructural de un pavimento por tanto el pavimento que esté estructuralmente débil en áreas identificadas, deberá ser reparado antes de la aplicación de lechada asfáltica, como son los ahuellamiento, ondulaciones, depresiones a lo largo de los bordes, u otras imperfecciones de la superficie que afecten la transitabilidad de la vía, deberán corregirse antes de la colocación de la lechada asfáltica.

Siendo óptimo para superficies de pavimentos gastados, llenando las fisuras superficiales ver Figura 11 y 12, frenara el desprendimiento de agregados, además regenerara la resistencia al deslizamiento, disminuirá el deterioro por oxidación y agua, por tanto prolongara la vida útil del pavimento (Alonzo et al., 2012, p. 57).



Figura 11. Lechada Asfáltica en camino rural
Fuente: Alonzo, 2012



Figura 12. Lechada Asfáltica en vía urbana
Fuente: Alonzo, 2012

Las lechadas asfálticas tienen varias ventajas entre las cuales Alonzo y et al. (2012) nos detalla:

- ✓ Son de aplicación en corto plazo, permitiendo restablecer el tránsito lo más antes posible.
- ✓ Mejorará la adherencia del agregado evitando el desprendimiento.
- ✓ Obtendrá resistencia a la fricción.
- ✓ Capacidad para corregir irregularidades superficiales menores.
- ✓ Mínima pérdida de altura del cordón.
- ✓ No hay necesidad de ajustes por la presencia de bocas de inspección y otras estructuras.
- ✓ Bajo costo de construcción con excelentes resultados par calles urbanas.

La lechada asfáltica se aplica en un espesor de 3 a 9 mm (1/8 a 3/8 pulgadas). El equipo utilizado para la mezcla y la aplicación es una unidad independiente, de mezcla de flujo continuo, la cual alimenta con exactitud a la cámara de mezclado con cantidades ya determinadas de agregado, filler mineral, aditivos, agua y emulsión asfáltica.

Los agregados a ser empleados en una lechada, deberán cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Equivalente de arena ASTM D 2419 (AASHTO T 176) = 45 como mín.
60
- ✓ Durabilidad, ASTM C 88 (AASHTO T 104) = 15 % como máximo (utilizando sulfato de sodio, Na_2SO_4), o 25 % como máx. (utilizando sulfato de magnesio, MgSO_4)
- ✓ Pérdida en el ensayo Los Ángeles, ASTM C 131 (AASHTO T 96)
Composición C ó D = 35 % como máx.

A dicha mezcla se le puede agregar pequeñas cantidades de aditivos (líquido o polvo) para mejorar las características de la mezcla, rotura u otras propiedades que se manifiestan luego del curado. Las cuales pueden ser como cemento Portland, cal y sulfato de aluminio en adición a algunas sustancias químicas orgánicas. El agua para la mezcla debe ser potable.

3.1.3.6. Pavimentos reciclados

El reciclado es reutilizar un pavimento gastado, viejo mediante un tratamiento incorporándole estabilizadores como asfaltos, emulsiones asfálticas o el cemento sea en planta o in situ, de este modo contribuyendo al medio ambiente evitando la explotación de canteras.

En planta, el reciclado se realiza transportando el material a un depósito central donde se realiza el procesamiento del material (con un mezclador continuo), que es recuperado de un pavimento existente, In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil. Las etapas del reciclado in-situ pueden notarse en la Figura 13. (Mercado et al., 2008).



Figura 13. Etapas del reciclado y equipos usados
Fuente: Mercado, 2008

Para que una mezcla de emulsión gane resistencia debe expulsar el exceso de agua, o curar, esto puede tardar más de un año para algunos materiales, debido a varios factores como el contenido de humedad del terreno, la interacción emulsión/agregado, el clima local (temperatura, precipitación y humedad) y el contenido de vacíos de la mezcla.

Si adicionamos cemento nos permitirá ganar resistencia (Siendo útil cuando el tráfico debe ser acomodado en una capa reciclada poco tiempo después del tratamiento.)

a. Tipos de reciclados

- ✓ Reciclaje superficial: para espesores menores a 4cm, la adición asfalto y la compactación que consiste en fresar y luego recapear.
- ✓ Reciclado en caliente: consistente principalmente en fresar y transportar a planta, ser reclasificado con la adición de asfalto para posteriormente ser transportado a obra.
- ✓ Reciclado en sitio: para espesores menores a 40cm, la adición asfalto o emulsión, filler finalmente la compactación y terminado.
- ✓ Reciclado en caliente en sitio: Levantamiento + tratamiento y calentamiento + asfalto + colocación.
- ✓ Recuperación total de espesores: rehabilitación profunda, transportes, DME, canteras, más costoso.

Para diferenciar el reciclado de pavimentos in situ y en planta se presenta la Tabla 9 comparando sus diferentes ventajas y desventajas.

Tabla 9
Cuadro Comparativo reciclado in situ vs en planta

Reciclado en planta	Reciclado in situ
✓ Material debe ser transportado	✓ Rapidez de ejecución
✓ Mejor producto final por adición de material virgen	✓ Maquinas modernas permiten grandes avances: + 1000 ml día.
✓ Almacenamiento del material de entrada en acopios.	✓ Proceso limpio y ecológico
✓ Material puede ser sometido a más ensayos.	✓ Material sobrante se puede almacenar y reutilizar
✓ Se puede cambiar la proporción de los materiales	✓ Ahorros en transportes
✓ Material se puede almacenar y usarse cuando sea necesario.	✓ Se trabajan espesores hasta de 40cm
	✓ Trafico inmediato.

Fuente: Galvis, 2010

La estabilización del reciclado se realiza aplicando emulsiones, (también pudiendo usar estabilizadores como cemento y asfaltos) la Tabla 10 nos muestra en forma resumida las ventajas y desventajas de la aplicación de la emulsión.

Tabla 10
Estabilización con Emulsión

Ventajas	Desventajas
✓ Flexibilidad del material obtenido.	✓ Debe diseñarse la emulsión según el agregado que se tenga en obra.
✓ Facilidad de aplicación.	✓ Costo del emulsificante para prepararla, es caro.
✓ Normatividad existente y vigente.	✓ Estricto control de producción y humedad.
✓ Material se puede acopiar y guardar.	✓ Costo alto del transporte por ser casi 50% agua.
✓ Se puede mezclar efectivamente con material húmedo y frío.	✓ Debe controlarse el régimen de la rotura y del curado posterior.

Fuente: Galvis, 2010

La emulsión como estabilizador para pavimentos reciclados presenta desventajas las cuales se solucionan con aplicación de cemento (considerando que la principal desventaja es el tiempo de curado) para alcanzar la resistencia en un menor periodo de tiempo.

b. Proceso para el reciclado

- ✓ Evaluación del pavimento existente
 - Verificación visual (fallas, drenajes, tránsito, clima)
 - Investigación del estado del pavimento, mediante calicatas (perfilómetro laser, y diamantinas).
 - Verificación de espesores y tener sectores homogéneos, diferentes diseños. Hasta 40 cm.
 - Verificación del estado de la sub rasante, ensayos de capacidad de soporte CBR, límites, humedad, granulometría.
 - Tomar muestras de material pulverizado por la máquina para obtener granulometrías reales y elaborar diseños de mezcla, variando porcentajes de agua y asfalto.

- ✓ Proceso pre constructivo
 - Ingresar a la máquina % de agua, asfalto o emulsión, peso material
 - Nivelación de baches con material adecuado
 - Demarcación de las zonas de trabajo.
 - Distribución de los carriles de trabajo.
 - Distribución del cemento.
 - Marcado de sobre anchos en curvas.
 - Distribución de boquillas.

✓ Controles en obra

- Espesores.
- Humedad.
- Toma de briquetas.
- Temperatura del asfalto.
- Maniobras de reversa.
- Asfalto en el material.
- Picas de la recicladora.

✓ Controles posteriores

- Verificación visual : posibles acolchonamientos
- Toma de densidades.
- Ensayos tracción indirecta en laboratorio de briquetas: secas y húmedas curadas a 40 °C por 72 hr.
- Riego de protección.
- Colocación de capa de rodadura.

3.1.3.7. Sello de fisuras y grietas

Viene a ser un mantenimiento preventivo y se realizan cuando son muy visibles, las cuales aparecen de forma longitudinal o transversalmente, entonces se impermeabiliza la capa del pavimento preservando su estructura, impidiendo la aparición de fallas “piel de cocodrilo” y/o aparición de baches. Se recomienda aplicar dicha actividad en los presentes casos:

- ✓ En áreas donde las grietas formen bloques interconectados de carácter poliédrico.
- ✓ Cuando empiecen a aparecer deflexiones en las grietas, denotando que ya existe un daño en la base.
- ✓ Cuando los pavimentos se observen en mal estado, con bacheo. Las Fisuras y grietas a repararse no deben separarse más de 12 mm.

a. Equipo

- ✓ Máquina para cortar pavimento

Constituida por un cabezal cortado, permite al operador seguir las curvas de las grietas de manera rápida y efectiva para las operaciones de limpieza y preparación de grietas y fisuras.

- ✓ Compresor neumático

Compresor neumático de un mínimo de 185 CFM (pies cúbicos por minuto), siendo su función limpiar tanto el espacio de la junta como el área alrededor a la misma, para que esté libre de cualquier impureza, que impida la adherencia.

- ✓ Caldera de calentamiento para el material sellante

Compuesta por una caldera de doble fondo para el calentamiento del material sellante, el espacio entre los dos fondos deberá estar lleno de aceite para la transferencia de calor.

b. Materiales

- ✓ Material sellante

Este material debe ser según a la Norma ASTM D 6690, y se muestran a continuación algunos requisitos según Alonzo et al., 2012:

- El sellador su composición será de materiales que forme una mezcla elástica y adhesiva, idóneo para sellar efectivamente juntas, grietas en pavimentos asfálticos y concreto, evitando la filtración de humedad y partículas sueltas.

- Que a temperaturas ambiente, no fluya hacia fuera de la junta, ni sea desprendidas por el tránsito.
- El material debe ser idóneo para tener una consistencia uniforme, y así esparcirse de manera que llene en su totalidad las juntas sin dejar espacios de aires grandes y discontinuidades, sobre todo no dañar el material.
- El material deberá permanecer con sus características de aplicación, es decir sin cambios, por lo menos 6 horas al a temperatura aplicada en obra. .
- El compuesto sellador deberán estar en sus contenedores de fábrica, además deben ser distinguido con el nombre del fabricante, marca del sellador, número de lote, el número y tipo de especificación (como la temperatura mínima de aplicación y la temperatura máxima de calentamiento) las cuales son establecidas por el fabricante.
- La temperatura máxima de calentamiento debe ser por lo menos 11 °C (20 °F) más alta que la temperatura minina de aplicación (p. 85).

- ✓ Material secante (arena)

La arena de granulometría que pase el tamiz No. 8. La arena podrá ser triturada o natural, de granos densos, limpios y duros, libres de arcilla y cualquier impureza que pueda afectar la adhesión.

c. Procedimiento para reparación de fisuras y grietas

- ✓ Tipos de configuraciones de sellado de grietas o fisuras

Para el sellado de las grietas y fisuras se plantean diferentes formas de sellado o configuraciones según Alonzo et al., (2012), de las cuales se optará por la más conveniente según sea el caso.

- Llenado de la ranura a ras (ver Figura 14).
- Llenado de la ranura a ras con venda (ver Figura 15).
- Llenado debajo de la venda (ver Figura 16).
- Venda ó curita (ver Figura 17).
- Llenado a ras (ver Figura 18).

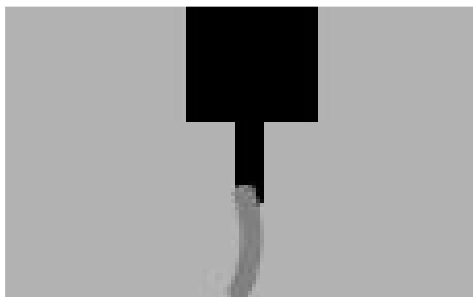


Figura 14. Llenado de la ranura a ras
Fuente: Alonzo, 2012

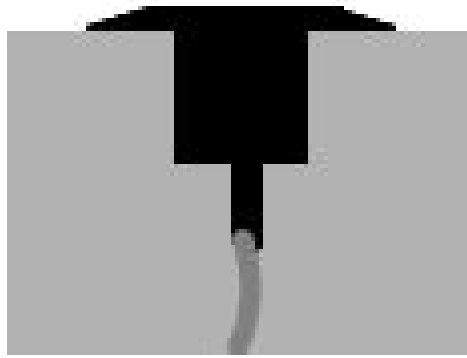


Figura 15. Llenado de la ranura a ras con venda
Fuente: Alonzo, 2012



Figura 16. Llenado debajo de la venda
Fuente: Alonzo, 2012

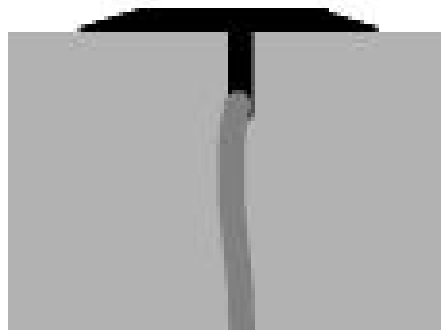


Figura 17. Venda o Curita
Fuente: Alonzo, 2012



Figura 18. Llenado a ras
Fuente: Alonzo, 2012

Para determinar qué solución seleccionar se deberá tener en cuenta la parte técnica y que a la vez sea económica.

- ✓ Identificar las grietas y fisuras a reparar

La identificación de las grietas y fisuras a reparar, se iniciara con la supervisión donde se indicara las áreas de grietas a sellar, marcándolas sobre el pavimento para que sean visibles (preferiblemente con yeso, tiza blanco), donde se delimitara la fisura o grieta que será cortada y limpiada, para su posterior reparación.

Seguidamente a través de una cortadora (sierra mecánica), se amplía la grieta en una relación de 2:1 entre la profundidad y el ancho de la grieta en toda su dimensión, para que el material sellante penetre la fisura o grieta. (Ver Figura 19).



Figura 19. Ampliando la grieta o fisura con sierra mecánica
Fuente: Alonzo, 2012

- ✓ Colocación del material sellante dentro de la grieta o fisura

El material sellante se aplicará como se ve en la Figura 20, teniendo un estricto control de temperatura, así como también de la manguera, el cual debe estar entre los rangos permisibles para su aplicación y no se dé una oxidación.



Figura 20. Colocación del material sellante dentro de la grieta o fisura
Fuente: Alonzo, 2012

✓ Acabado final del pavimento

Finalizado el proceso de reparación de grietas y fisuras la apariencia de la calzada debe quedar como se observa en la Figura 21, a pesar de la forma en como se observa, es de la forma como se aplica y se obtiene el pavimento reparado.



Figura 21. Acabado final del pavimento
Fuente: Alonzo, 2012

3.2. Caso práctico

A continuación se realizó el diseño de mezcla de una las aplicaciones más utilizadas con emulsiones asfálticas, como es la lechada asfáltica Slurry Seal, se desarrolló todas las especificaciones que debe seguir cada componente de la emulsión en mención, los ensayos necesarios para determinar los datos que se necesitan para el diseño, el procedimiento para determinar la dosificación, finalmente un caso práctico con datos de ensayos ya realizados de una obra local y calcular la dosificación para la emulsión.

3.2.1. Lechada asfáltica (Slurry Seal)

Ya habiendo desarrollado en el Capítulo anterior, los sellos de lechada asfáltica son una combinación de agregado fino bien graduado, relleno filler mineral (relleno), emulsión asfáltica (rompimiento lento “SS” o acelerado “QS”) y agua, que al mezclarse adquiere un aspecto “cremoso” cuando es mezclado.

Estos sellos se clasifican en Tipo I, II, ó III según el tamaño de los agregados utilizado:

- ✓ Tipo I (pasando 3,2 mm, tamiz N° 1/8).
- ✓ Tipo II (pasando 6,4 mm, tamiz N° 1/4).
- ✓ Tipo III (pasando 9,5 mm, tamiz N° 3/8).

3.2.1.1. Materiales y especificaciones

En la Tabla 11 se muestra un resumen de los componentes que son necesarios para fabricar la mezcla de los sellos de “slurry seal”.

Tabla 11
Materiales componentes de los Sellos de Lechada Asfáltica

Materiales Componentes	Límites de Especificación
Emulsión Asfáltica ¹	Tipo I: (16,5 -26,4)% Tipo II: (12,4 – 22,3)% Tipo III: (10,7 – 19,8)%
Asfalto Residual	Tipo I: (10 - 16)% Tipo II: (7,5 – 13,5)% Tipo III: (6,5 – 12)% (sobre peso del agregado seco)
Relleno Mineral	0,5 % a 2,0 % (sobre peso de agregado seco)
Aditivos	lo que se requiera
Agua	Lo que se requiera para alcanzar una buena consistencia de la mezcla

¹ Asumiendo un porcentaje de asfalto de 60% en la emulsión asfáltica.

Fuente: International Slurry Surfacing Association (ISSA) - A 105, 2005

a. Emulsión asfáltica

Según AASHTO R-5 las emulsiones para lechadas asfálticas son emulsiones aniónicas SS-1, SS-1h, pero también se pueden utilizar emulsiones catiónicas CSS-1h y CQS-1h.

La elección de la emulsión para la dosificación se determinó según las condiciones climáticas de la zona donde se tomó el ejemplo, y en la Tabla 12 se ve los diferentes tipos de emulsión según la condición climática.

Tabla 12*Elección del tipo de Emulsión de acuerdo con las condiciones climáticas*

Emulsión Asfáltica	Condición Climática
SS-1 o CSS-1	Clima Frio
SS-1h, QS-1h o CSS-1h, CQS-1h	Clima Caluroso

Fuente: Dávila, s.f.

Además se presenta las principales especificaciones que se siguió según el tipo de emulsión:

- ✓ Emulsión Asfáltica aniónica

En el caso aniónico deberá cumplir las propiedades en las presentes normas AASHTO M-140 o ASTM D-977, a continuación se presenta los aspectos más importantes en la Tabla 13.

Tabla 13*Resumen de Especificaciones para Emulsiones Aniónicas utilizadas en la construcción de Sellos de Lechada Asfáltica*

TIPO DE ENSAYO	SS-1		SS-1h		QS-1h	
	min	max	min	max	min	max
En la Emulsión						
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (seg)	20	100	20	100	20	100
Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24h (%)	-	1	-	1	-	1
Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico (%)	-	2	-	2	-	NA
Porcentaje Retenido en el tamiz (%)	-	0,1	-	0,1	-	0,1
Destilación Porcentaje de residuo (%)	57	-	57	-	57	-
En el residuo de la destilación						
Penetración a 25°C	100	200	40	90	40	90
Ductilidad a 25°C (cm)	40	-	40	-	40	-
Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (%)	97,5	-	97,5	-	97,5	-

Fuente: AASHTO – M 140, s.f.

✓ Emulsión asfáltica catiónica

De igual forma para los catiónicos se presenta los aspectos más importantes en la Tabla 14.

Tabla 14

Resumen de Especificaciones para Emulsiones Catiónicas utilizadas en la construcción de Sellos de Lechada Asfáltica

TIPO DE ENSAYO	CSS-1		CSS-1h		CQS-1h	
	min	max	min	max	min	max
En la Emulsión						
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (seg)	20	100	20	100	20	100
Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24h (%)	-	1	-	1	-	NA
Ensayo de la carga de la Partícula	Positiva		Positiva		Positiva	
Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico (%)	-	2	-	2	-	NA
Porcentaje Retenido en el tamiz (%)	-	0,1	-	0,1	-	0,1
Destilación Porcentaje de residuo (%)	57	-	57	-	57	-
En el residuo de la destilación						
Penetración a 25°C	100	250	40	90	40	90
Ductilidad a 25°C (cm)	40	-	40	-	40	-
Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (%)	97,5	-	97,5	-	97,5	-

NA: No aplica

Fuente: AASHTO – M 208, s.f.

A la vez se tuvo y se tendrá que tener en cuenta que las emulsiones catiónicas, que por propiedades propias de fraguar químicamente, tienen la ventaja de un curado rápido. Y sabiendo que la mayoría de los agregados están cargados negativamente, las emulsiones catiónicas, por tener carga positiva en las partículas de asfalto tendremos gran afinidad arido-ligante.

b. Agregado

Teniendo un buen agregado evitara la degradación de manera rápida, de la perdida de resistencia a la fricción cuando el pavimento este húmedo y que estará expuesto a la acción abrasiva del tránsito

El agregado que se seleccionó para la aplicación deñ sello se rigió según la Tabla 15 donde se muestran los ensayos que realizaron al agregado para la producción de “slurry seal”.

Tabla 15
Especificaciones de los Ensayos de Agregados para Slurry Seal

ENSAYO	ASSHTO	ASTM	ESPECIFICACIÓN
Muestreo	T-2	D-75	
Granulometría por vía húmeda	T-27	C-136	Ver Tabla 3.16
Equivalente de Arena	T-176	D-2419	50% Min
Abrasión	T-96	C-131	45% Max
Durabilidad	T-104	C-88	15% Max
Gravedad Especifica y Absorción	T-84	C-128	
Peso Unitario	T-19	C-29	
Sales Solubles Totales	USRB E-8		0.5% Max

Fuente: International Slurry Surfacing Association (ISSA) - A 105, 2005

Tabla 16
Especificaciones Granulométricas para Slurry Seal

Tipo de Slurry	I		II		III		
Uso General	Sello fino y relleno de grietas		Sello general superficies de textura media		1ra y/o 2da capa, superficie textura alta		
# Tamiz	d(mm)		Porcentaje que pasa				
3/8"	9,5	100	100	100	100	100	100
#4	4,75	100	100	90	100	70	90
#8	2,37	90	100	65	90	45	70
#16	1,18	65	90	45	70	28	50
#30	0,59	40	65	30	50	19	34
#50	0,279	25	42	18	30	12	25
#100	0,149	15	30	10	21	7	18
#200	0,074	10	20	5	15	5	15
% R.A. En peso del seco	10-15		7,5-13,5		6,5-12		
kg/m2 en el seco	3-5,5		5,5-8		8 o mas		
Espesor Mínimo	4mm		6mm		8mm		

Fuente: International Slurry Surfacing Association (ISSA) - A 105, 2005

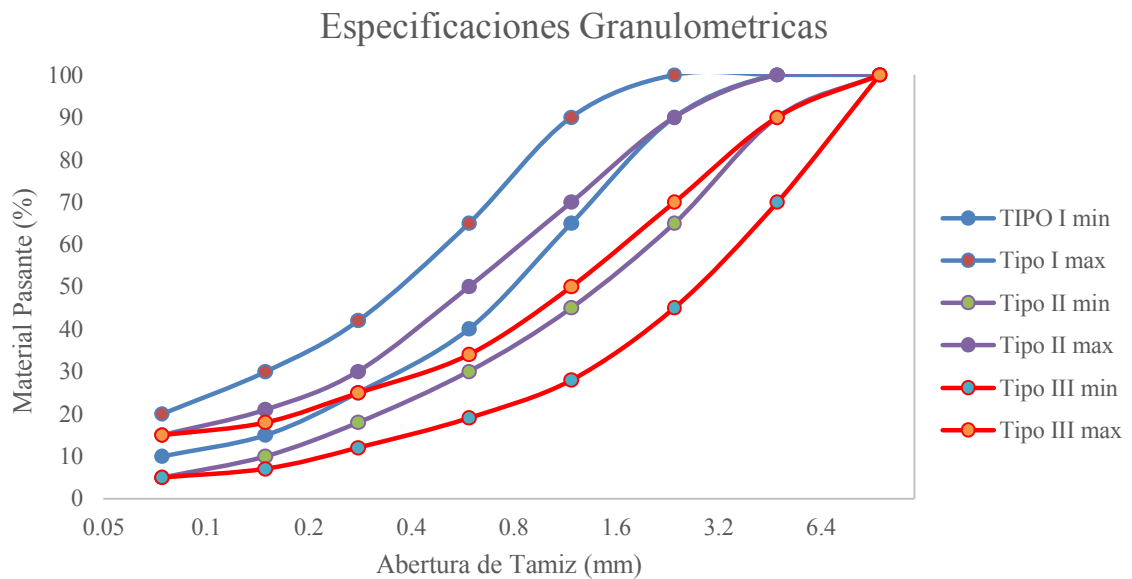


Figura 22. Curvas granulométricas para los tipos de Slurry Seal
Fuente International Slurry Surfacing Association (ISSA) - A 105, 2005

c. Filler mineral

El relleno mineral es usado en el mortero principalmente para proporcionar a la superficie de rodadura la alta resistencia al desgaste además de mejorar la gradación del agregado. También produce una mezcla de mayor consistencia y con menor posibilidad a segregarse. Finalmente acelera el rompimiento de la emulsión asfáltica debido al aumento de área de contacto entre el agregado y la emulsión.

Para el diseño se rigió con las especificaciones ASTM D-242 o AASHTO M-17. La cantidad que entrara en la dosificación será usarse entre 0,5 % al 2 % en peso respecto al agregado seco. Además para la dosificación se diseñó en laboratorio, mediante el ensayo de abrasión por inmersión bajo tráfico simulado y el ensayo de la rueda cargada para morteros asfálticos. Los filler más comunes son el cemento portland tipo I y la cal hidratada.

d. Agua

Es el insumo que controla la consistencia de la mezcla. Por eso compone del 4 % al 12 % del agregado seco. El agua debe humedecer previamente al agregado para que funcione como lubricante ante la emulsión, reduce la tensión superficial de las partículas de agregado facilitando a la emulsión el cubrimiento. Debe estar libre de sales solubles, suciedad y sedimentos. No debe ser dura. En caso de dudas, se realizara el ensayo de Control de Calidad al Agua (NTP 339.088).

3.2.1.2. Método de diseño de mezcla de lechada asfáltica (Slurry Seal)

La dosificación consiste en determinar una fórmula que establezca las proporciones adecuadas de agregado, filler, emulsionante y aditivos opcionales. Esta fórmula nos asegura una buena respuesta a los solicitantes de tráfico, carga, agentes atmosféricos y conservarla ante el tiempo. Los diseños se realizaron con los equipos propuestos por la International Slurry Surfacing Association (I.S.S.A.), estos son los ensayos de abrasión en inmersión (Wheel Track Abrasion Testing W.T.A.T.) y los de control de exudación mediante la rueda cargada (Loaded Wheel Tester L.W.T.). En el caso del mortero asfáltico Slurry Seal, también es necesario indicar la cantidad de agua que facilite la puesta.

El criterio utilizado para el diseño del Slurry Seal está basados en diferentes ensayos empíricos en laboratorio como se mencionó en el párrafo anterior, donde se tratan de representar las sollicitaciones tanto en estado fresco como después de curada la mezcla. El punto crucial lo constituye el contenido óptimo de emulsión en la mezcla.

Para realizar la dosificación se llevó a cabo los siguientes pasos:

- ✓ Prueba inicial de mezclado para cuantificar la trabajabilidad y consistencia de la mezcla.

- ✓ Dosificación inicial de emulsión y agua a partir de la medición de los tiempos de mezclado y fijación.
- ✓ Realización de ensayos de exudación en rueda cargada y abrasión en pista húmeda.
- ✓ Representación de los resultados en un mismo gráfico y así obtener el contenido óptimo de emulsión asfáltica.

Para ello se tomó en cuenta la siguiente Tabla 17, con los ensayos mencionados y sus valores especificados:

Tabla 17
Especificaciones de ensayos de Diseño para la mezcla Slurry Seal

ENSAYO ISSA N°	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
ISSA TB 106	Consistencia de Slurry Seal	
ISAA TB 113	Tiempo de Mezclado	Controlable a 180 seg mínimo
ISSA TB 109	Ensayo de Rueda cargada y adhesión de arena (LWT)	50 g/pie ² máximo (538 g/m ² máximo)
ISSA TB 100	Perdida por abrasión en pista húmeda	75 g/pie ² (807g/m ²)

Fuente International Slurry Surfacing Association (ISSA) - A 105, 2005

a. Prueba inicial de mezclado

- ✓ Primero se propuso un porcentaje de emulsión asfáltica para un valor intermedio en el rango especificado según el tipo de sello.
- ✓ Luego se realizaron las primeras pruebas de mezclado entre el agregado, la emulsión y el agua de mezclado para obtener las dosificaciones iniciales. Esto se realizó para que la mezcla alcance una trabajabilidad, fluidez adecuada, y que a la vista la mezcla no se note muy líquida.
- ✓ Ya precisado el valor inicial de emulsión, se agregó agua para lograr un recubrimiento adecuado y trabajabilidad de la mezcla, y teniendo en cuenta de no superar el 25 % de fluidos totales (emulsión + agua). Dicho procedimiento se realizó para mantener los fluidos totales, y variar las dosificaciones iniciales del contenido de emulsión y agua, buscando un buen recubrimiento del agregado pero sin exceso de agua.

b. Dosificaciones iniciales (tiempo de mezclado y tiempo de fijación)

El tiempo que se necesita para la mezcla de una lechada se determinó mediante pruebas de mezclado, que consiste en medir el tiempo que tarda en romper una determinada mezcla de prueba. Esto se hizo visualmente. El proceso que se siguió es el siguiente:

- ✓ Primero se mezcló en seco 100 g aproximadamente de agregado combinado añadiendo agua y removemos por 20 segundos, asegurándonos que la distribución sea uniforme.
- ✓ Seguidamente se agregó la emulsión asfáltica y se remueve vigorosamente por 30 segundos hasta que la mezcla esté homogénea.
- ✓ Mientras se realizó la mezcla se observó: si hay presencia de líquidos en exceso, o la mezcla esté seca y rígida. Según lo observado se determinó la cantidad de agua a añadir en las siguientes muestras de prueba.
- ✓ Finalizado el mezclado inicial, agitando el recipiente, se observó en qué momento la muestra empezó a romper, tomando apunte del tiempo, siendo el límite de los 5 min.
- ✓ Luego se tomó una porción de la muestra colocándolo sobre una superficie lisa, como papel aluminio y se anotó: % de emulsión, % de agua, tiempo de mezclado y tiempo de fijación.
- ✓ Para medir el tiempo de fijación se verificó con una toalla de papel absorbente tocando la muestra con la toalla hasta el momento que no manche y no se deforme por la presión de los dedos, en ese momento se estableció el tiempo de fijación.

- ✓ De acuerdo con el método ISSA TB 113, una vez que se tiene la dosificación inicial de fluidos, se podrá adicionar relleno mineral (cal o cemento) representando el 1 % o 2 % sobre el peso de agregado.

c. Ensayo de Rueda Cargada y adhesión de arena

Este ensayo (ISSA TB 109) se utiliza para la dosificación del sello con la finalidad de medir la exudación de asfalto bajo la acción de las cargas de tránsito, la cual se debe evitar. El procedimiento es el siguiente:

- ✓ Primero se preparó 5 muestras de agregado de 300 gramos para los diferentes porcentajes de emulsión ($\pm 3\%$ y $\pm 1,5\%$ del contenido inicial) y el mismo porcentaje de agua, cada espécimen se cura durante 15 horas a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar peso constante.
- ✓ Luego se colocó la muestra en el equipo y se aplicaron 1000 ciclos con una carga de 56,7 kg sobre la rueda, mientras se realizó el procedimiento se añade agua, evitando que la llanta de hule disgregue el agregado.
- ✓ Finalizado los 1000 ciclos, la muestra se lavó eliminando las partículas que se han desagregado.
- ✓ Después se seca al horno por 15 minutos a masa constante y este peso anotamos como peso inicial.

- ✓ Nuevamente se somete a 100 ciclos más, añadiendo 100 gramos de arena, la arena agregada es con el fin de que se adhiera al asfalto exudado y, teniendo la diferencia de pesos, se determinó la cantidad de asfalto que exuda la mezcla.
- ✓ Al finalizar este proceso se desmonta la muestra y se elimina el exceso de arena que no está adherida a la huella de exudación y se vuelve a pesar (anotándolo como peso final); con este dato determinaremos la exudación.
- ✓ Se realizó el cálculo de la diferencia entre el peso inicial y final, luego se mide el largo y el ancho 3 veces en diferentes puntos de la huella, debida a la exudación del asfalto marcada por la arena adherida, para obtener el área.
- ✓ El límite máximo, donde no se presenta problemas de exudación según ISSA) es de 538 g/m². Con dicho dato también podemos determinar el contenido máximo de asfalto.

Para determinar el contenido de asfalto tenemos la siguiente Ecuación (1):

$$Exudación \left(\frac{g}{m^2} \right) = \frac{(P. Arena + mezcla + plato) - (P. mezcla + plato)}{Area} \quad (1)$$

d. Ensayo de abrasión en Pista Húmeda

Este ensayo (ISSA TB 100) mide la resistencia del sello a la exposición de la abrasión bajo condiciones de humedad.

- ✓ El ensayo consiste en moldear un espécimen circular que se deja secar a 60 °C durante 15 horas donde alcanzara un peso constante.
- ✓ Posteriormente, el espécimen se sumergió en agua durante 1 hora a una temperatura de 25 °C y se aplicó abrasión con un tubo de hule que se hace pasar sobre la muestra durante 5 minutos.
- ✓ El espécimen erosionado se lavó para eliminar el material suelto, luego se seca a 60 °C y se pesa, la pérdida de peso se puede expresar en gramos totales perdidos, en gramos perdidos por unidad de área o gramos por metro cuadrado.
- ✓ Para el diseño se preparó varios especímenes de agregado con un peso de 800 gramos con distintos contenidos de emulsión asfáltica, los resultados obtenidos se graficaron para obtener el comportamiento de desprendimiento de partículas del sello.

Para determinar la perdida por abrasión se calcula con la Ecuación (2) que se mostrara a continuación:

$$\text{Perd. por abrasion } \left(\frac{g}{m^2} \right) = \frac{(P. mezcla ensayo + plato) - (P. mezcla + plato)}{\text{Area}} \quad (2)$$

Siguiendo las especificaciones de ISSA, el máximo valor de pérdida será 807 g/m², porque si supera este valor mostraría que la dosificación no tendría un buen comportamiento en servicio.

e. Resultados por el método grafico para encontrar el contenido óptimo de emulsión asfáltica

Se utilizara los criterios propuestos por ISSA TB 111, para determinar el contenido óptimo de asfalto:

- ✓ Se determinó el contenido mínimo de emulsión asfáltica según el ensayo de pista húmeda con la intersección del límite máximo de rueda cargada.
- ✓ También se determinó el contenido máximo de asfalto según el ensayo rueda cargada con su límite máximo.
- ✓ El contenido de emulsión asfáltica óptimo se encontró en el grafico en la intersección de las curvas de ambos ensayos.

3.3. Representación de resultados

Para este caso se tomó los datos del proyecto de “Mantenimiento de la Infraestructura Vial Calle Cahuide Cuadra 4”, ubicada en el departamento de Moquegua, distrito de Samegua, donde se realizó la aplicación de una capa de desgaste que consistió en un mortero asfáltico “Slurry Seal”, a continuación explico paso a paso para obtener la dosificación:

Paso 1: Determinación de la emulsión asfáltica:

Como se explicó en la parte descriptiva, para la determinación de la emulsión es necesario saber el clima que se registra en la zona; siendo en el departamento de Moquegua, zona costera con temperaturas que oscilan entre 20 °C – 25 C°, se determinó que es un clima caluroso, y según la Tabla 12 se utilizara la emulsión del tipo:

CSS-1h

Paso 2: Determinar el tipo de lechada asfáltica:

Siguiendo las especificaciones de los tipos de lechadas asfálticas (I, II, III), siendo la calle donde se aplicó una zona urbanizada, con tránsito ligero se determina que se utilizara:

Lechada Asfáltica TIPO II

Del agregado, su análisis granulométrico cumplió con las especificaciones dadas en la Tabla 16, para ello se hizo el análisis granulométrico con el agregado que se trabajó, como se muestra a continuación en la siguiente Tabla 18.

Tabla 18
Análisis Granulométrico

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			ESPECIFICACIÓN	
Malla	mm	% Pasante	Slurry Seal Tipo II	
3/8"	9,5	100	100	100
#4	4,76	97,12	90	100
#8	2,38	77,97	65	90
#16	1,19	58,64	45	70
#30	0,59	42,62	30	50
#50	0,279	29	18	30
#100	0,149	19,27	10	21
#200	0,074	13,13	5	15

Fuente. Mantenimiento de la Infraestructura Vial Calle Cahuide Cuadra 4, 2016

De la siguiente tabla se obtuvo la curva granulométrica, Figura 23 junto a las especificaciones (límite máximo y mínimo) para una lechada asfáltica TIPO II:

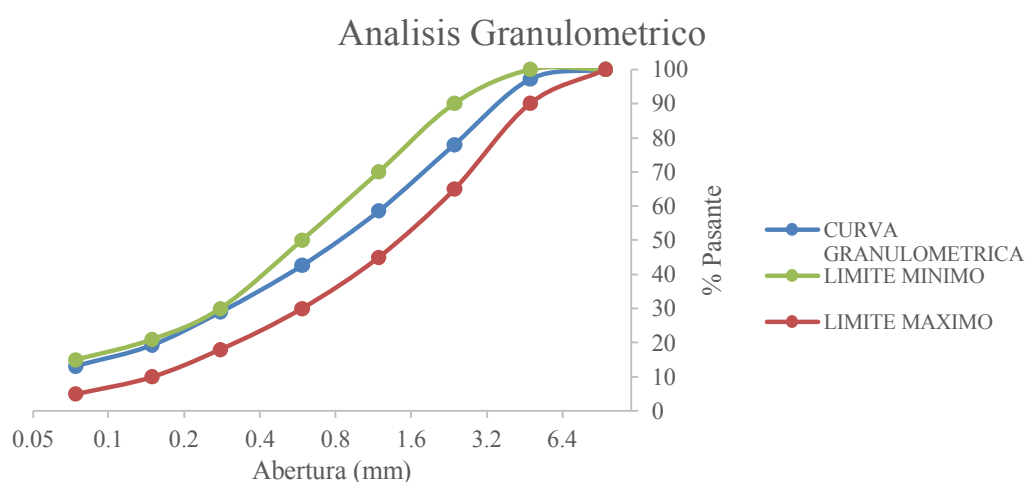


Figura 23. Curva granulométrica

Fuente: Mantenimiento de la Infraestructura Vial Calle Cahuide Cuadra 4

Paso 3: Determinación de % emulsión teórico:

Determinada una granulometría del Tipo II el rango abarca desde 12,4% hasta 22,3 %, por lo que se escogió un valor de 12,4 % para comenzar con los ensayos iniciales. Ya obtenido el valor inicial de Emulsión, se añade un contenido de agua para lograr un recubrimiento adecuado y buena trabajabilidad de la mezcla será de 10 %.

Paso 4: Ensayo de Rueda Cargada y adhesión de arena

Se proporcionaron 5 porciones de agregado de 300 gramos, además que los porcentajes de emulsión varíen entre $\pm 3 \%$ y $\pm 1,5 \%$ del contenido inicial y el mismo porcentaje de agua.

Para el sello Tipo II, con la dosificación asumida inicialmente de emulsión asfáltica y agua, se muestran los resultados (Tabla 19 y Tabla 20).

Tabla 19
Muestras de Agregados sometidas a Emulsión

Contenido de Agua	Contenido de Emulsión (%)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (m²)
10%	11,00	2,83	34,20	0,00968
	12,50	2,80	34,90	0,00977
	14,00	2,73	34,30	0,00936
	15,50	2,93	35,80	0,01049
	17,00	3,00	35,10	0,01053

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20
Resultados de Exudación de Asfalto

Contenido de Agua	Contenido de Emulsión (%)	Peso mezcla + plato (g)	Peso de arena + mezcla + plato (g)	Exceso de Asfalto (g/m ²)	Especificación (g/m ²)
10 %	11,00	418	418,9	92,99	537
	12,50	429,8	431,4	163,73	537
	14,00	465,2	467,8	277,66	537
	15,50	439,1	442,1	286,00	537
	17,00	449,3	453	351,38	537

Fuente: Elaboración Propia

De manera gráfica se presentan los resultados de la exudación (Figura 24)

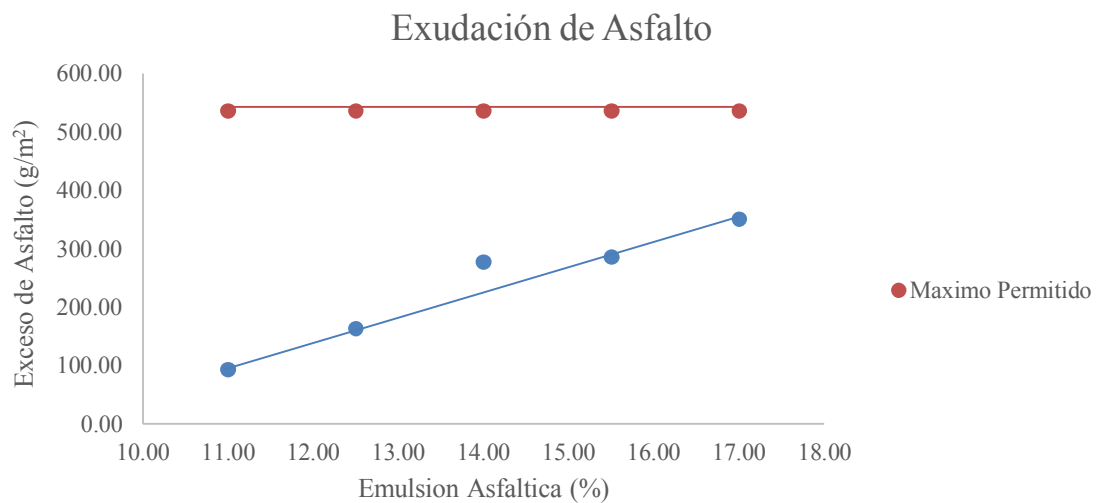


Figura 24. Exudación de asfalto en muestras
Fuente: Elaboración Propia

Paso 5: Ensayo de abrasión en Pista Húmeda

Para el ensayo se proporcionó especímenes de 800 g con diferentes contenidos de emulsión ($\pm 3\%$ y $\pm 1,5\%$ del contenido inicial), los resultados se representó a través de gráficos para así saber cuál es el comportamiento de desprendimiento de partículas.

Para el sello Tipo II, con la dosificación asumida inicialmente de emulsión asfáltica y agua, se muestran los resultados a continuación. (Tabla 21).

Tabla 21
Resultados de pérdidas por Abrasión

Contenido de Agua	Contenido de Emulsión (%)	Peso mezcla + plato (g)	Peso de mezcla de ensayo + plato (g)	Perdida por Abrasión (g/m ²)	Especificación (g/m ²)
10%	11,00	2597,3	2566,9	889	807
	12,50	2667,5	2649,3	532	807
	14,00	2610,3	2601,0	272	807
	15,50	2640,6	2636,7	114	807
	17,00	2653,5	2652,1	41	807

Fuente. Elaboración Propia

Mediante gráficos se representa los resultados obtenidos por el ensayo de abrasión de exudación Figura 25.

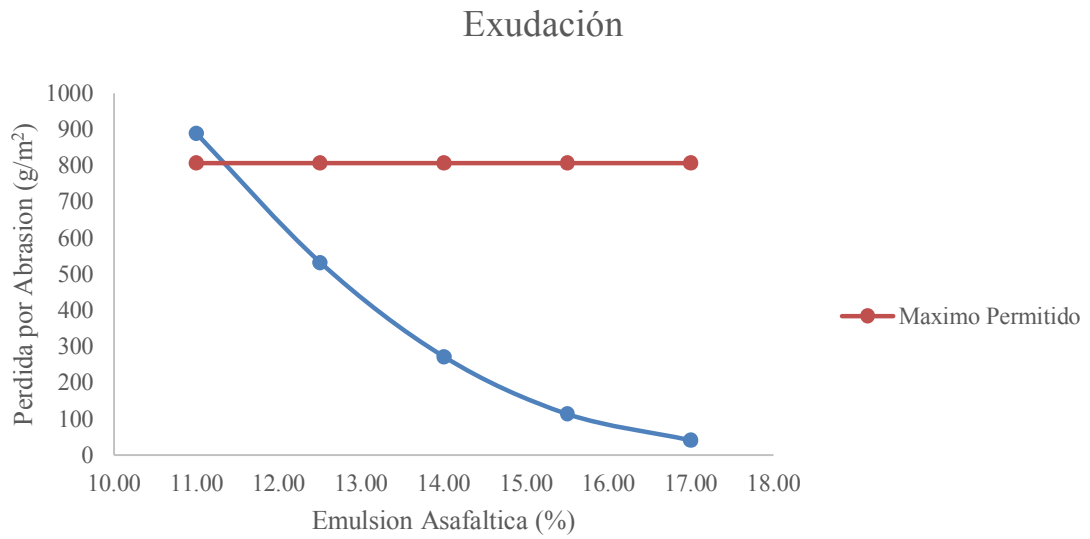


Figura 25. Resultado de pérdidas en muestras por abrasión
Fuente: Elaboración propia

Paso 6: Determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica

Como se explicó en la parte descriptiva del diseño, el contenido de emulsión asfáltica óptima se encuentra en la intersección de las curvas de ambos ensayos, como se muestra en el siguiente Figura 26.

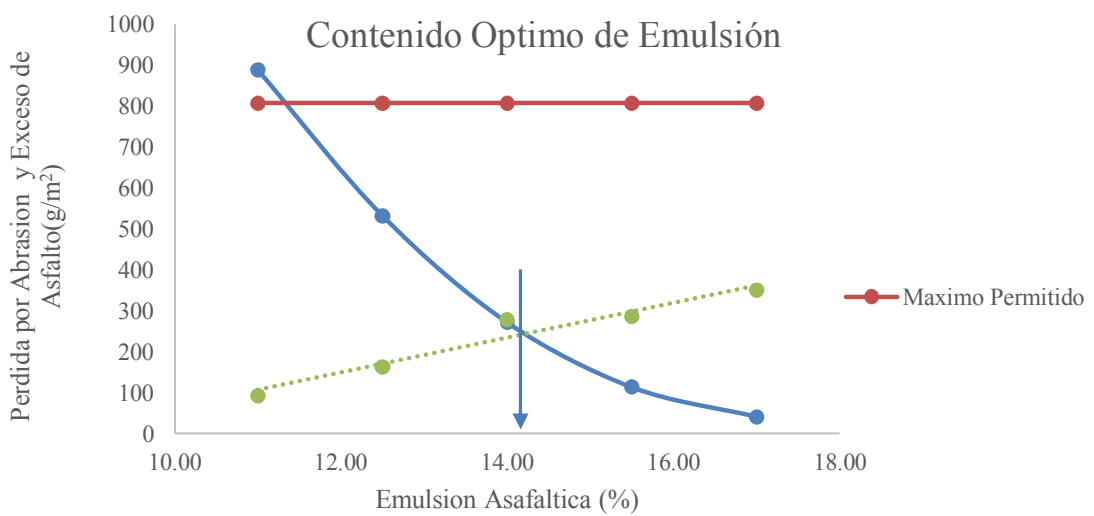


Figura 26. Contenido óptimo de Emulsión Asfáltica.
Fuente: Elaboración Propia

Donde se obtuvo el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para la mezcla, y los resultados se aprecian en la Tabla 22:

Tabla 22
Porcentaje Óptimo de Emulsión Asfáltica

% EMULSION	% AGUA	% FILLER
14,2	10	0,5

Fuente.: Elaboración Propia.

3.4. Interpretación de resultados

El objetivo de esta simulación de diseño de una lechada asfáltica, fue describir los elementos teóricos – prácticos que fundamentan, los pasos a seguir para realizar dicho diseño.

3.4.1. Materiales

3.4.1.1. Agregados

Para los agregados, las especificaciones presentadas (Tabla 15), son los límites permisibles que deberán cumplir para que puedan ser utilizados en el diseño; entonces según la International Slurry Surfacing Association (I.S.S.A.), establece que se deben realizar previamente estos ensayos de laboratorio a los agregados para así determinar: Peso específico, Equivalente de arena, Resistencia al desgaste, Peso unitario suelto y la granulometría esencialmente con ello determinar el Tipo de Agregado para una lechada asfáltica (I, II, III), las cuales se mostraron a través de tablas y gráficos (curva granulométrica).

3.4.1.2. Emulsiones

Para las emulsiones de igual forma los ensayos experimentales se realizaron previamente antes de preparar la dosificación y obviamente antes de la aplicación en campo, con ello se conoció las características de la emulsión con el que se trabajó y que estas cumplan con las especificaciones provenientes por la I.S.S.A. como se muestra en la Tabla 14.

3.4.1.3. Agua

El agua que se utilizó en las lechadas asfálticas, se basaron en las especificaciones dadas en el NTP 339.088, a veces por la escasez de equipos para realizar ensayos al agua y verificar la calidad de la misma, se recomienda que sea potable, y que a simple observación no se note la presencia de sustancias extrañas, además de la turbidez.

3.4.2. Diseño de mezclas

Ya verificado los resultados de los ensayos preliminares a los diferentes componentes de la mezcla asfáltica y su posterior análisis con el cumplimiento de las especificaciones (I.S.S.A.), se procedió a realizar los diseños en base a las características y propiedades obtenidas de cada material.

Para el diseño se realizó ensayos para obtener el porcentaje óptimo de emulsión (Consistencia, Abrasión en Pista Húmeda y Rueda Cargada):

3.4.2.1. Análisis del ensayo de abrasión en Pista Húmeda

Estos ensayos se realizaron bajo la norma I.S.S.A. T 114. Permitiendo cuantificar las pérdidas de peso (g/m^2) obtenidas en las mezclas, producto del desgaste generado por la abrasión de la rueda metálica con goma de las probetas ensayadas.

3.4.2.2. Análisis del ensayo de Rueda Cargada

Este ensayo, permitió medir la resistencia a la exudación y deformación de las mezclas asfálticas. Además se cuantificó el ligante exudado después de someter las probetas de las lechadas asfálticas (Slurry Seal) a un proceso de compactación de 1000 ciclos. Este ensayo se realizó siguiendo la norma I.S.S.A. T 109.

3.4.2.3. Análisis del contenido óptimo de Emulsión Asfáltica

Ya interpretado los resultados de los ensayos de Abrasión en Pista Húmeda y de Rueda Cargada en gráficos, se determinó el porcentaje óptimo de emulsión, que es la intersección de las curvas de ambos ensayos, como se deseaba obtener valores exactos se procedió a determinar la ecuación de cada curva y luego estas dos ecuaciones se igualó.

Adicionalmente, ya encontrado el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para la mezcla, se procedió a verificar el cumplimiento de las especificaciones para el porcentaje encontrado.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Primera. Se mencionó los diferentes usos que se da a las emulsiones asfálticas según su clasificación y tipo de rotura, a la vez se desarrolló las aplicaciones más comunes en nuestra región y país.

Segunda. Durante el proceso de búsqueda de información para el presente trabajo no se halló información técnica, normativa nacional que permitiera seguir parámetros, se optó con información de diferentes autores a fin de explicar los componentes, clasificación, proceso de fabricación entre otros; adaptándolo con las características de nuestro país.

Tercera. Se verifico que en las diferentes fichas de mantenimiento realizadas en la región con emulsiones asfálticas, que la emulsión asfáltica de mayor uso es de la Lechada Asfáltica (Slurry Seal), debido a la protección, economía y seguridad que brinda, además de la facilidad de la dosificación, mediante cuadros y gráficos.

Cuarta. El diseño de mezcla de la lechada asfáltica (Slurry Seal) se desarrolló cumpliendo con las especificaciones requeridas, los resultados estuvieron dentro de los parámetros, por lo cual concluí que el diseño es correcto.

4.2. Recomendaciones

Primera. La información sobre los usos y aplicaciones, en su mayoría están basados en manuales y/o bibliografía de otros países, y la escasa información que hay en nuestro país son de empresas fabricantes, consorcios formuladoras y ejecutoras de obras de pavimentación, quienes su información y conocimientos ganados se manejan de manera privada. Ante ello se recomienda que todo trabajo dedicado al presente tema sea publicado y así compartir información, con nuestros colegas y futuros ingenieros interesados que se aboquen al área de pavimentos.

Segunda. En nuestro país el uso de las Emulsiones Asfálticas se ha masificado por su versatilidad, pero la bibliografía, reglamento y/o normativa, sigue siendo insuficiente. Así que será importante seguir con la investigación, y continuar con los aportes mejorando la experiencia, costos, rendimientos a favor de la región y país.

Tercera. Se recomienda inculcar nuevas tecnologías que se pueden implementar, por medio de congresos, foros, convenciones, capacitaciones, seminarios, etc., y así analizar que otras aplicaciones pueden ser utilizadas en la región además de “Lechadas Asfálticas (Slurry Seal)”.

Cuarta. Las especificaciones con las que se verificó fueron con estándares internacionales al no contar en nuestro país con alguna normativa. Por ello se recomienda que cuando se realice dosificaciones de mezcla de emulsiones asfálticas, los Ingenieros y/o Técnicos encargados tengan en cuenta criterios propios, considerando las propiedades de los materiales y componentes de una Emulsión (Agregados y Agua) que se encuentran en el lugar, además de las características de la superficie donde se hará la aplicación del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. & Sánchez, E. (2011). *Estabilización de suelos con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas de rotura lenta. Caso de estudio vía las Mercedes – Puerto Nuevo, provincia de Santo Domingo de los Tsachilas (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica, Ecuador, Quito. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/2653>
- American Association of State Highway and Transportation Officials Emulsified Asphalt. (27ava Edición). (2007). *M 140*. Washington D.C., Estados Unidos.
- American Association of State Highway and Transportation Officials Emulsified Asphalt. (27ava Edición). (2007). *M 208*. Washington D.C., Estados Unidos.
- Asphalt Institute. (3ra Edición). (2005). *A basic asphalt emulsion manual, MS-19*. Kentucky, Estados Unidos.
- Bracho, C. (2005). *Emulsiones Asfálticas (Módulo de enseñanza)*. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Recuperado de <https://es.slideshare.net/erucito/13-emulsiones-asfalticas>
- Dávila, L. *Guía básica para el diseño de mezclas asfálticas densas semilíquidas morteros asfálticos (Slurry seal) y micropavimentos (microsurfacing)*. Perú.
- Galvis, W. (2010). *Reciclado de pavimentos, tecnología moderna para mantenimiento de carreteras*, Perú. Recuperado de http://www.cip.org.pe/Cvista/publicaciones/documentos/congresos/201010-huanuco/cncd03_huanuco_reciclado_de_pavimentos_08-10-10x.pdf

- González, W., Jiménez, M. & López, R. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en el Salvador (Tesis de pregrado)*. Universidad de El Salvador, San Salvador. Recuperado de http://ri.ues.edu.sv/2177/1/Guia_basica_para_el_uso_de_emulsiones_asfalticas_en_la_estabilizacion_de_bases_en_caminos_de_baja_intensidad_en_El_Salvador.pdf
- Ibáñez, H. (2003). *Uso de emulsiones en pavimentos asfálticos; asfaltos calientes y fríos (Tesis de pregrado)*. Universidad Austral, Valdivia, Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfci.12u/doc/bmfci.12u.pdf>
- International Slurry Surfacing Association. (2005). *A-105 Recommended performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal*. Maryland, Estados Unidos.
- TDM ASFALTOS. (2017). *Emulsiones Asfálticas Convencionales y Modificados Con Polímeros*. Recuperado de <http://www.tdmasfaltos.com.pe/listaaplicaciones/emulec/>
- Ulloa, A. (2012). *Métodos y materiales. Volumen 2, Artículo: Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio*. Costa Rica. Recuperado de <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/13469/13365>
- Mercado, R., Bracho, C. & Avendaño, J. (2008). *Emulsiones Asfálticas Usos - Rompimiento (Módulo de enseñanza)*. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Recuperado de <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S365A.pdf>

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013*. Lima, Perú.
- Ministerio de Obras y Transporte. (1992). *Manual de utilización de Emulsiones Asfálticas en Carreteras*. Bogotá, Colombia.
- Sarmiento, M. (2012). *Estudio del Comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con emulsión (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/9015/1/Marcoantoniosarmiento00t%C3%A1llora.2012.pdf>
- Rodríguez, R., Castaño, V. & Martínez, M. (2001). *Emulsiones Asfálticas* (Documento Técnico). Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, México. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>
- Alonzo, R., Flores, J. & Sánchez, J. (2012). *Manual de mantenimiento en vías urbanas, utilizando mezcla asfáltica en caliente, tibia y en frío (Tesis de pregrado)* Universidad de El Salvador, San Salvador. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/128463871/Manual-de-mantenimiento-en-vias-urbanas-utilizando-mezcla-asfaltica-en-caliente-tibia-y-en-frio>
- Municipalidad Distrital de Samegua. (2016). *Mantenimiento de la Infraestructura Vial Calle Cahuide Cuadra 4. (Ficha Técnica)*. Moquegua, Perú.
- Instituto de la Construcción y Gerencia (2009). *Pavimentos*. Perú.