

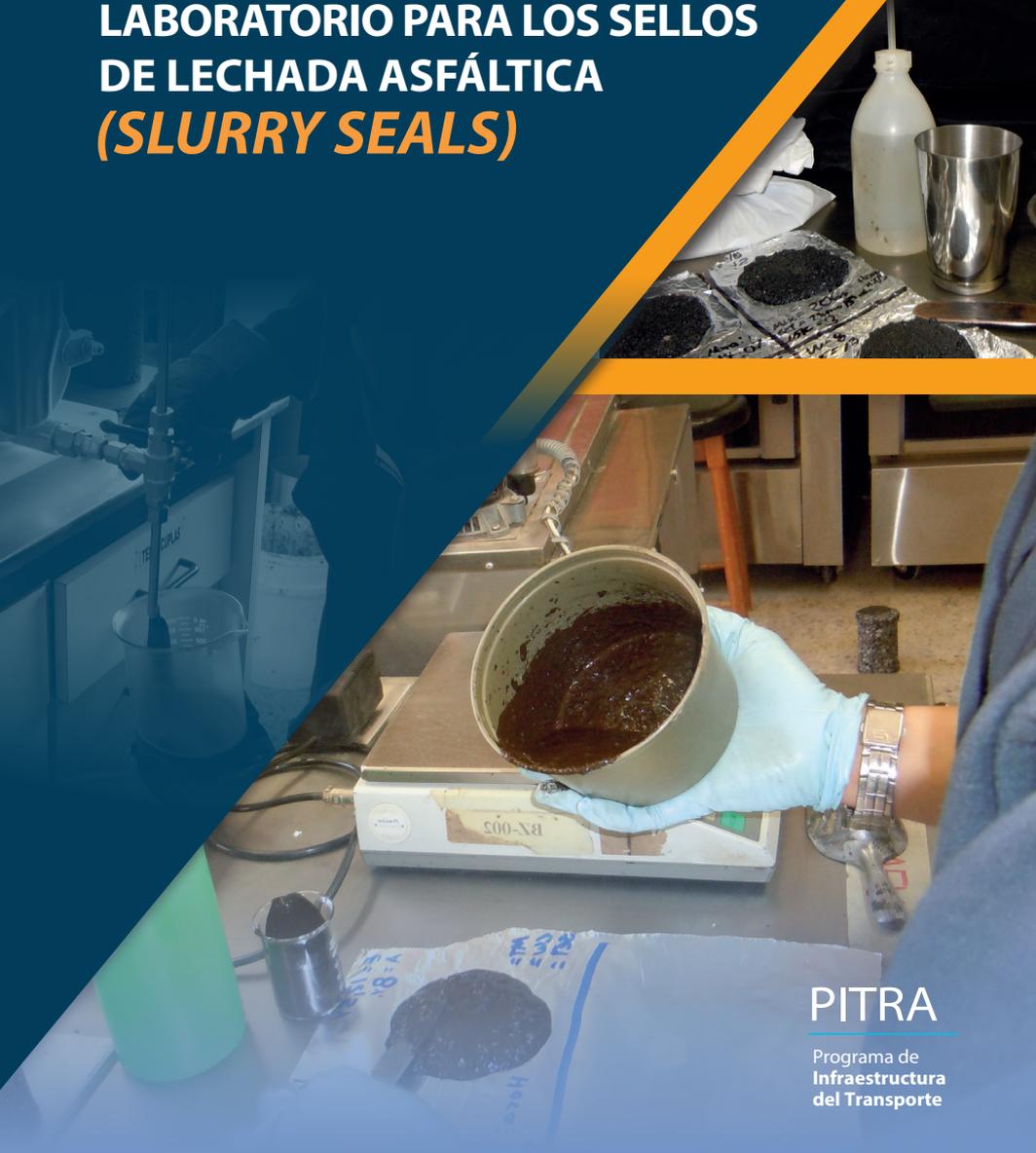


UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

GUÍA DE DISEÑO DE MEZCLA DE LABORATORIO PARA LOS SELLOS DE LECHADA ASFÁLTICA *(SLURRY SEALS)*



PITRA

Programa de
Infraestructura
del Transporte

GUÍA DE DISEÑO DE MEZCLA DE LABORATORIO PARA LOS SELLOS DE LECHADA ASFÁLTICA *(SLURRY SEALS)*

San José, Costa Rica



Esta colaboración por parte del LanammeUCR, se realiza en acatamiento a la Ley N° 8114 del 4 de julio del 2001, Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias, que le asignó recursos y tareas a la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), para lo cual, según establece el inciso e), Artículo 6) se debe proceder a la *“actualización del manual de especificaciones y publicación de una nueva edición (revisada y actualizada) cada diez años.*

Elaborado por:

Ing. Mónica Jiménez Acuña.

Ing. Andrea Ulloa Calderón.

Sr. Juan Carlos Múnera Miranda.

Editado por:

Unidad de Normativa y Actualización Técnica.

Revisado por:

Ing. José Pablo Aguiar, PhD.

Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA.

Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD.

Unidad de Transferencia Tecnológica del PITRA, LanammeUCR.

Comisión de Revisión Interna del Ministerio de Obra Públicas y Transportes.

Diseño gráfico y diagramación por:

Licda. Daniela Martínez Ortiz.

Lucía Rojas González.

Revisión de diseño por:

Óscar Rodríguez Quintana.

*Primera edición: 2016. Universidad de Costa Rica.
LanammeUCR*

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO DE LA GUÍA	8
RESUMEN	9
OBJETIVO Y ALCANCE	10
TÉRMINOS Y DEFINICIONES	10
1. GENERALIDADES Y NORMATIVA	13
1.1. Lechadas Asfálticas (Slurry Seals)	13
1.1.1. Antecedentes	13
1.1.2. Definición	13
1.1.3. Aplicaciones	15
1.2. Materiales y Especificaciones	18
1.2.1. Emulsión asfáltica	19
1.2.2. Ensayos para los agregados	21
1.2.3. Relleno mineral y aditivos	23
1.2.4. Agua	24
1.2.5. Sellos de lechada asfáltica	24
2. MÉTODO DE DISEÑO DE LA MEZCLA DE LECHADA ASFÁLTICA	25
2.1. Prueba inicial de mezclado	27
2.2. Dosificaciones iniciales: Tiempo de mezclado (mix time), tiempo de agua clara y tiempo de fijación (set time)	29
2.3. Ensayo de rueda cargada y adhesión de arena (RC)	34
2.4. Ensayo de desgaste por abrasión en ambiente húmedo (PH)	38
2.5. Método gráfico para determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica	41
2.6. Verificación del cumplimiento de especificaciones para el contenido óptimo de emulsión	43
2.6.1. Verificación de los tiempos de mezclado y fijación y el ensayo de Flotación y adhesión interna	43
2.6.2. Desnudamiento-compatibilidad	43
2.6.3. Exudación en rueda cargada	45
2.6.4. Abrasión en pista húmeda	45
2.6.5. Consistencia	45



3. COMENTARIOS FINALES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
APÉNDICE	51
1. Caracterización de la emulsión asfáltica, agregado y aditivos utilizados para el desarrollo de la metodología de diseño	51
1.1. Emulsión asfáltica CSS-1h	51
1.2. Agregado Tipo II	53
1.3. Aditivos	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la fabricación del sello de lechada asfáltica	14
Figura 2. Curva de deterioro de un pavimento flexible	15
Figura 3. Casos generales donde es adecuada la aplicación de sellos de lechada asfáltica	16
Figura 4. Casos en los que el tratamiento con el sello de lechada asfáltica no es suficiente	17
Figura 5. Rangos de curvas granulométricas para los tres tipos de sellos de lechada asfálticas	23
Figura 6. Procedimiento de diseño de una mezcla de lechada asfáltica	26
Figura 7. Verificación de los resultados para el contenido óptimo de emulsión asfáltica	27
Figura 8. Prueba de trabajabilidad y fluidez	28
Figura 9. Dosificaciones iniciales para el sello Tipo II	34
Figura 10. Resultados del ensayo de rueda cargada (ISSA TB 109)	36
Figura 11. Resultados de exudación del ensayo de rueda cargada (ISSA TB 109)	37
Figura 12. Resultados del ensayo de pista húmeda (ISSA TB 100)	39
Figura 13. Resultados del ensayo de desgaste por abrasión en pista húmeda (ISSA TB 100)	40
Figura 14. Gráfico que presenta los resultados de pista húmeda y rueda cargada	41

Figura 15. Porcentaje óptimo de emulsión método gráfico (ISSA TB 111).	42
Figura 16. Ensayo de desnudamiento (ISSA TB 114-115)	44
Figura 17. Ensayo de consistencia ISSA TB 106	46
Figura 18. Producción de emulsión asfáltica en el laboratorio con molino coloidal	52
Figura 19. Curva granulométrica para el Agregado Tipo II	54
Figura 20. Distribución granulométrica para el cemento	55
Figura 21. Distribución granulométrica para la cal	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Selección del tipo de sello según el TPD	18
Tabla 2. Materiales componentes de los sellos de lechada asfáltica	19
Tabla 3. Resumen de especificaciones para emulsiones aniónicas, utilizadas en la construcción de sellos de lechada asfáltica	20
Tabla 4. Resumen de especificaciones para emulsiones catiónicas, utilizadas en la construcción de sellos de lechada asfáltica	21
Tabla 5. Resumen de especificaciones para los agregados finos, utilizados en la construcción de sellos de lechada asfáltica	22
Tabla 6. Resumen de especificaciones granulométricas para los agregados finos que se utilizan en la construcción de sellos de lechada asfáltica	22
Tabla 7. Especificaciones de calidad para las mezclas de lechada asfáltica	24
Tabla 8. Datos para la dosificación inicial de emulsión y agua	28
Tabla 9. Pruebas de los tiempos de mezclado con diferentes porcentajes de emulsión, agua y aditivo	31
Tabla 10. Pruebas de dosificación para establecer los tiempos de fijación con diferentes porcentajes de emulsión, agua y aditivo	32
Tabla 11. Resultados de flotación y adhesión interna	33
Tabla 12. Resultados del área de exudación	37
Tabla 13. Resultados de exudación de asfalto mediante rueda cargada	37
Tabla 14. Resultados de pérdida por abrasión mediante pista húmeda	40
Tabla 15. Resultados del tiempo de mezclado para el contenido óptimo de emulsión	46



Tabla 16. Resultados del tiempo de fijación para el contenido óptimo de emulsión asfáltica	47
Tabla 17. Resultados de flotación y adhesión interna para el contenido óptimo de emulsión	47
Tabla 18. Resultados de desnudamiento para el contenido óptimo de emulsión	47
Tabla 19. Resultados de rueda cargada para el contenido óptimo de emulsión	47
Tabla 20. Resultados de pista húmeda para el contenido óptimo de emulsión	48
Tabla 21. Resultados de consistencia para el contenido óptimo de emulsión	48
Tabla 22. Formulación para la preparación de la emulsión CSS-1h	51
Tabla 23. Caracterización de la emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento, CSS-1h	53
Tabla 24. Caracterización del Agregado Tipo II	53
Tabla 25. Granulometría para los rellenos minerales para ser utilizados en lechadas asfálticas: cemento y cal	54

CONTENIDO DE LA GUÍA

La presente guía contiene un primer apartado relacionado con definiciones técnicas necesarias para el adecuado entendimiento no solo de lo que se debe conocer como sellos, sino también de los procedimientos de diseño, además de los materiales necesarios para la fabricación de sellos y las especificaciones técnicas requeridas. De igual forma, contempla las situaciones posibles para lo cual se recomienda la aplicación de sellos y en cuáles circunstancias no resulta conveniente.

En el segundo capítulo se desarrolla la metodología de diseño, para lo cual y a manera de ilustración, se presenta un ejemplo de cálculo utilizando agregados procedentes de Guápiles y Limón, con una granulometría de Tipo II y emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento tipo CSS-1h.

Finalmente, en el tercer capítulo, se discute sobre los beneficios de la aplicación de la técnica.

RESUMEN

El sello de lechada asfáltica (“slurry seal”) es una de las técnicas de preservación de pavimentos que se ha utilizado más ampliamente a nivel mundial, pues es un tratamiento que permite alargar la vida útil de un pavimento a bajo costo, lo cual implica una mayor eficiencia de la inversión de fondos públicos en actividades de conservación vial. Esta alternativa se utiliza en superficies de ruedo que no tienen un nivel avanzado de deterioro asociado con fatiga o deformación permanente.

El uso adecuado de la lechada asfáltica permite sellar fisuras en los pavimentos que presentan un estado de oxidación muy avanzado, así como restaurar la textura superficial y proveerla de mayor resistencia al deslizamiento; igualmente es posible utilizarlo en la impermeabilización de las capas de rodadura y puede corregir el desprendimiento de partículas.

El presente documento es una guía de referencia para el diseño de mezcla de los sellos de lechada asfáltica a nivel de laboratorio. Además, presenta un resumen de las pruebas necesarias para obtener el contenido óptimo de emulsión en la mezcla.

El procedimiento para el desarrollo del diseño propuesto en esta guía, incluye las siguientes fases:

1. Dosificación inicial de emulsión y agua a partir de la medición de los tiempos de mezclado, fijación y agua clara.
2. Dosificación de 5 contenidos de emulsión variando $\pm 3\%$ y $\pm 1,5\%$ del contenido inicial, manteniendo la consistencia de la mezcla para las distintas dosificaciones.
3. Realización de los ensayos de exudación en rueda cargada y abrasión en pista húmeda.
4. Visualización de los resultados en un mismo gráfico para encontrar el contenido óptimo de emulsión asfáltica.
5. Prueba de mezclado para valorar la trabajabilidad y consistencia de la mezcla, como ajuste de las condiciones esperadas en campo.
6. Verificación de los ensayos de desempeño.

Finalmente, se presenta un ejemplo de cálculo utilizando agregados procedentes de Guápiles con una granulometría de Tipo II y emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento tipo CSS-1h para ilustrar el tema.



OBJETIVO Y ALCANCE

Esta guía va dirigida a aquellas personas con formación técnica y profesional en laboratorio vial, que tengan como función el diseño de mezclas asfálticas y afines tales como los sellos asfálticos.

El objetivo específico de esta guía es proporcionar las herramientas necesarias para la aplicación de una metodología de diseño de mezcla simplificado, apegado a la rigurosidad técnica necesaria para garantizar la calidad y el buen desempeño de los sellos de lechada asfáltica a nivel de laboratorio.

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Deformación Permanente: Es un tipo de deterioro de la mezcla asfáltica, que consiste en marcas de ahuellamientos o roderas producidas por la acumulación de los esfuerzos cortantes.

Emulsión Asfáltica: Es el resultado de la dispersión de pequeñas micro-partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa. Las emulsiones típicamente contienen entre un 40 % a un 75 % de asfalto y a temperatura ambiente presentan consistencia líquida que va desde fluida hasta muy viscosa. El tamaño de la partícula se encuentra en un rango desde 1 a 10 micrones de diámetro. Existen emulsiones catiónicas o aniónicas, de rompimiento lento, medio o rápido.

Fatiga: Consiste en una serie de grietas interconectadas causadas por la repetición de cargas vehiculares durante la vida útil de la capa.

Fisuras: Es un deterioro en la carpeta asfáltica que forman pequeñas grietas de espesores menores a 6 mm.

LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, que bajo lo estipulado en el artículo 20 del Decreto Ejecutivo N°37016, del 7 de marzo de 2012, Reglamento al artículo 6 de la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria N° 8114, tiene como función la creación de un Manual de Especificaciones integral.

Ligante Asfáltico: Es un producto natural que también se puede obtener a través del destilado del petróleo crudo y con el cual se generan mezclas asfálticas.

Mezcla Asfáltica: Una mezcla asfáltica es una combinación de asfalto y agregados minerales graduados, mezclados a una temperatura adecuada y compactada para formar una capa relativamente densa que forma parte de una estructura de pavimento.

Microcapa: Es una mezcla de agregado fino bien graduado, relleno mineral "filler", emulsión asfáltica de rompimiento controlado "QS" modificada con polímero, agua y otros aditivos, adecuadamente proporcionados y mezclados, colocados sobre la superficie del pavimento.

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.

Oxidación de una mezcla asfáltica: Reacción de las moléculas de asfalto con el oxígeno, lo cual produce a largo plazo un endurecimiento del ligante asfáltico, volviéndolo más rígido y por lo tanto susceptible a agrietamiento.

Pavimento: Estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas, de diferentes materiales, adecuadamente compactados, que se construyen sobre la subrasante de la vía con el objeto de soportar las cargas del tránsito durante un período de varios años, brindando una superficie de rodamiento uniforme, cómoda y segura.

Pavimento Flexible: Pavimento cuya superficie de ruedo está constituida principalmente por mezcla asfáltica. En estos pavimentos la totalidad de la estructura interviene en la distribución de cargas. Dicha distribución depende de la trabazón entre agregados, la fricción entre partículas y cohesión (estabilidad).

Rehabilitación de un Pavimento Asfáltico: Es el proceso por medio del cual la estructura de pavimento, es restaurada a su condición original de soporte. Se obtiene de la recuperación con o sin estabilización, del pavimento existente en combinación con material de aporte si es necesario. En este proceso, los materiales provenientes de los pavimentos existentes, formarán parte de la nueva estructura.

Reconstrucción de un Pavimento Asfáltico: Se refiere a la acción de volver a construir o fabricar un pavimento, removiendo la estructura existente.

Sellos de lechada asfáltica: son una mezcla de agregado fino bien graduado, relleno mineral "filler", emulsión asfáltica de rompimiento lento "SS" o controlado "QS" y agua, que adquiere un aspecto "cremoso" cuando es mezclado que se coloca sobre la superficie del pavimento.

Tamaño máximo nominal de agregados: Es el tamaño del tamiz inmediatamente superior al primero que retiene una cantidad superior a diez por ciento.



1. GENERALIDADES Y NORMATIVA

1.1. Lechadas Asfálticas (Slurry Seals)

1.1.1. Antecedentes

Este tipo de sellos se aplicaron por primera vez a principios de la década de los años 30 en Alemania. Sin embargo, su mayor desarrollo se produjo principalmente en la década de los años 60, gracias a la aparición de equipos de flujo continuo (Figura 1) y a los avances en la tecnología de emulsiones asfálticas.

La Asociación Nacional de Sellos de Lechada Asfáltica (NSSA por sus siglas en inglés) se formó en 1963. Posteriormente, a partir de la NSSA se formó la Asociación Internacional de Sellos de Lechada Asfáltica (ISSA por sus siglas en inglés "International Slurry Seal Association"). Finalmente, en 1990 la palabra "seal" se cambió por "surfacing".

1.1.2. Definición

Los sellos de lechada asfáltica son una mezcla de agregado fino bien graduado, relleno mineral "filler", emulsión asfáltica de rompimiento lento "SS" o controlado "QS" (ésta no se debe confundir con la emulsión de rompimiento rápido "RS" que se utiliza para otras aplicaciones) y agua, que adquiere un aspecto "cremoso" cuando es mezclado. Es un tratamiento preventivo utilizado generalmente en autopistas, calles y carreteras, para extender su vida útil. En este tratamiento, la lechada asfáltica es fabricada por el equipo de aplicación, justo antes de su colocación.

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

- **Tipo I:** pasando 2,36 mm, tamiz N° 8
- **Tipo II:** pasando 4,75 mm, tamiz N° 4
- **Tipo III:** pasando 9,5 mm, tamiz N° 3/8

Al igual que los ligantes y la mezcla asfáltica, la emulsión asfáltica y las lechadas asfálticas tienen que cumplir con estrictos controles y especificaciones de calidad.

A este tipo de aplicación también se le identifica en ciertas referencias como sistema de lechada asfáltica (Slurry system). Dicha mezcla se puede clasificar según su rompimiento y su uso dependerá de las características específicas del proyecto:

- a. Sistema rompimiento lento/tránsito lento (Slow set/Slow traffic): rompen y se curan principalmente por evaporación del agua.
- b. Sistema rompimiento controlado/tránsito lento (Quick set/Slow traffic): rompen por reacción química y se curan principalmente por evaporación.
- c. Sistema rompimiento controlado/tránsito acelerado (Quick set/Quick traffic): rompen y se curan principalmente por reacción química.

El sello de lechada asfáltica es aplicado en la superficie del pavimento existente por medio de un dispositivo de distribución de tipo encofrado ("spreader box"), incorporado a la unidad de mezclado. La lechada asfáltica se introduce dentro de la caja de distribución, la cual coloca el recubrimiento mientras que todo el ensamblaje es movido hacia delante. (Ver Figura 1)

La caja de distribución es capaz de distribuir el sello de lechada sobre el ancho de un carril en una sola pasada y está diseñada de tal manera que se mantiene con un contacto constante sobre la superficie. Esto asegura una aplicación uniforme del nuevo recubrimiento, en las distintas configuraciones geométricas del pavimento, como la corona, las superficies elevadas o las pendientes de los espaldones.

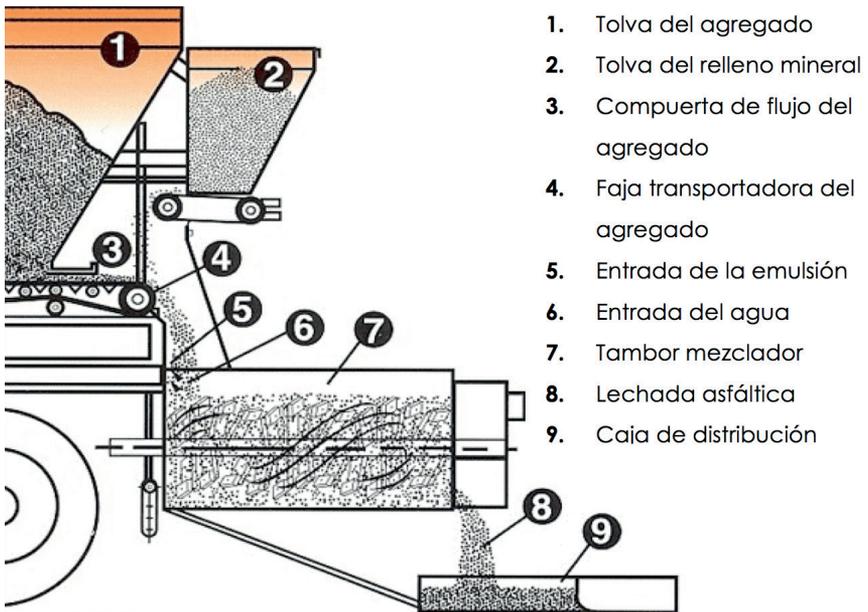


Figura 1. Esquema de la fabricación del sello de lechada asfáltica.

Fuente: Figura tomada de <http://www.a-1chipseal.com/img/imgUpload/slurrySealApplied.gif>

Es importante hacer notar que la diferencia entre una lechada asfáltica y una microcapa no radica sólo en incorporar polímero en la emulsión asfáltica. Una microcapa es una mezcla hecha con agregados de mayor calidad que las lechadas (en cuanto a parámetros mecánicos se refiere), emulsión modificada con polímero, y se requiere además que el sistema clasifique como “Quick-Traffic”, es decir, que rompa en poco tiempo después del mezclado y que se pueda abrir al tráfico en máximo una hora. **Esto normalmente se consigue usando emulsiones diseñadas para cada agregado en particular.** Por lo tanto, una lechada fabricada con emulsión asfáltica modificada (con polímero) no es una microcapa, es sólo una lechada modificada, de mejor desempeño que una convencional.

En esta guía sólo se tratarán las lechadas asfálticas, tanto convencionales como modificadas. Sin embargo, la mayoría de los conceptos pertinentes a lechadas asfálticas son también aplicables en el caso de microcapas.

1.1.3. Aplicaciones

El momento oportuno en que se aplican los sellos de lechada asfáltica o técnicas similares a ésta, es primordial, para reducir los costos de inversión con respecto a rehabilitaciones y reconstrucciones, de manera que el efecto sobre los pavimentos sea efectivo, tal como se muestra en la Figura 2.

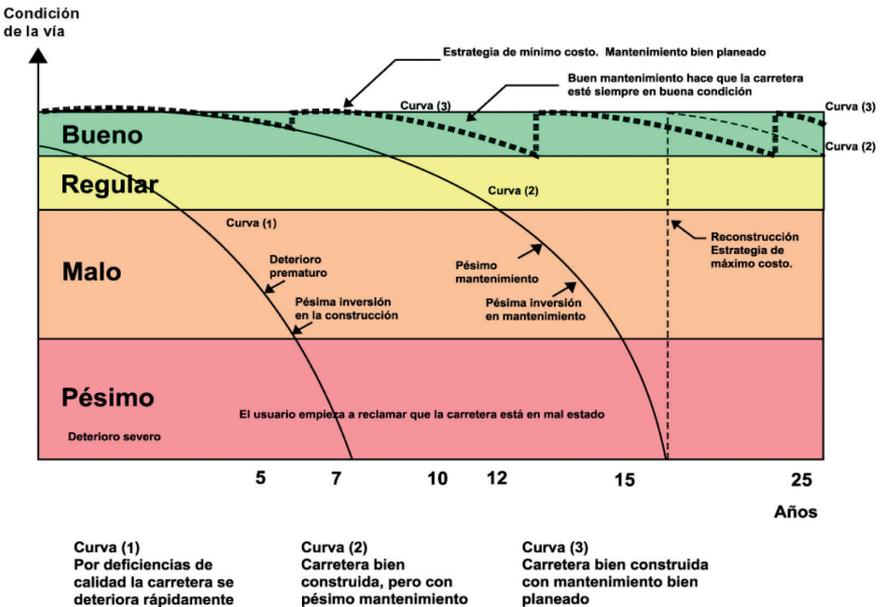


Figura 2. Curva de deterioro de un pavimento flexible.
Fuente: Figura adaptada de la curva desarrollada por Prithvi S. Kandhal

Se observa de manera cualitativa en la curva de deterioro de Kandhal, el concepto de tratamiento preventivo, donde se muestra el beneficio de la aplicación de estos sellos en el momento en que el pavimento se encuentra en buen estado (curva 3), es decir cuando aún no se ha presentado la deformación permanente o la fatiga, por ejemplo, se destinaría \$1 dólar en este tipo de sellos en contraposición a invertir entre \$5 y \$10 dólares cuando haya que realizar una reconstrucción (curva 2), además se muestra que, si se aplican sucesivos tratamientos preventivos (curva 3) se retarda la condición de estado pésimo del pavimento.

Los sellos de lechada asfáltica **se aplican sobre pavimentos con deterioros de índole funcional (no estructural)** que se han identificado de manera visual, tales como:

- Sellado de fisuras con grietas menores a 3 mm.
- Sellado de pavimentos que se encuentran en buen estado pero presentan cierto grado de oxidación (Figura 3.a)
- Corrección del desprendimiento de partículas (Figura 3.b)
- Restauración de la textura superficial y la resistencia al deslizamiento (Figura 3.c)
- Reducción del ruido e impermeabilizar. (Figura 3.d)
- Mejoramiento de la superficie de ruedo por restricciones de peso, o cuando no es posible colocar capas de mayor espesor (ej. puentes, accesos).
- Mejoramiento del confort del usuario y la regularidad superficial de la carretera.
- Corrección de ahuellamientos menores a 6 mm.



a. Pavimento oxidado



b. Desprendimiento de partículas



c. Superficies lisas



d. Superficies muy abiertas y permeables

Figura 3. Casos generales donde es adecuada la aplicación de sellos de lechada asfáltica.

Fuente: Figuras tomadas de varias fuentes

Se ha observado que **no es conveniente utilizar sellos de lechada asfáltica** en vías que presenten deterioros muy avanzados, como por ejemplo:

- Agrietamiento por fatiga: cuero de lagarto y rupturas en bloque (Figura 4.a)
- Desprendimiento severo de partículas (Figura 4.b)
- Grietas transversales con desprendimiento severo en el borde (Figura 4.c)
- Ahuellamiento o roderas severas (Figura 4.d)

En estos casos, los sellos de lechada asfáltica pueden ser utilizados siempre y cuando sean precedidos o complementados con otras técnicas de mantenimiento extensivas e intensivas, que permitan dar una solución real al problema, que probablemente se relaciona con deficiencias a nivel estructural.

En la Figura 4 se muestran ejemplos claros donde es estrictamente necesario llevar a cabo trabajos previos antes de colocar un sello de lechada asfáltica.



a. Agrietamiento severo



b. Desprendimiento de partículas



c. Agrietamiento transversal con desprendimiento de borde



d. Ahuellamiento severo

Figura 4. Casos en los que el tratamiento con el sello de lechada asfáltica no es suficiente.

Fuente: Figuras tomadas de varias fuentes

Por otro lado, una vez que se cuente con la inspección visual y resulte factible su aplicación, se tomará en consideración la cantidad de tránsito diario de la vía a intervenir. En la Tabla 1 se presentan valores recomendados para la escogencia del tipo de sello de lechada asfáltica a aplicar de acuerdo con la cantidad de tránsito promedio diario.

Tabla 1. Selección del tipo de sello según el TPD.

Tipo	Detalle	Descripción	TPD (Tránsito Promedio Diario) ¹
Tipo I		Área de parqueos Vías urbanas y residenciales Pistas de aterrizaje en aeropuertos	< 10 000
Tipo II		Vías urbanas y residenciales Pistas de aterrizaje en aeropuertos	10 000 a 25 000
Tipo III		Rutas interurbanas y primarias	> 25 000

¹Moulthrop, James. FUGRO CONSULTANS LP. ISSA Annual meeting, 2006.

Fuente: Tabla tomada de A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, 2003.

1.2. Materiales y Especificaciones

En la Tabla 2 se muestra de manera resumida los componentes básicos para fabricar una mezcla para sellos de lechada asfáltica.

Tabla 2. Materiales componentes de los sellos de lechada asfáltica.

Materiales componentes	Límites de especificación
Emulsión asfáltica¹	Tipo I: (16,5 - 26,4) % Tipo II: (12,4 - 22,3) % Tipo III: (10,7 - 19,8) % (sobre peso de agregado seco)
Asfalto residual	Tipo I: (10-16) % Tipo II: (7,5-13,5) % Tipo III: (6,5-12) % (sobre peso de agregado seco)
Relleno mineral	0 % a 3,0 % (sobre peso de agregado seco)
Aditivos	Lo que se requiera
Agua	Lo que se requiera para alcanzar una buena consistencia de la mezcla

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

Fuente: Tabla tomada de A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, 2010.

1.2.1. Emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas son el resultado de la dispersión de pequeñas micro-partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa. Las emulsiones típicamente contienen entre un 40 % a un 75 % de asfalto y a temperatura ambiente presentan consistencia líquida que va desde fluida hasta muy viscosa. El tamaño de la partícula se encuentra en un rango desde 1 a 10 micrones de diámetro.

Según la especificación AASHTO R5 las emulsiones que pueden ser empleadas para la construcción de sellos de lechada asfáltica son las emulsiones aniónicas: **SS-1, SS-1h y QS-1h** y las emulsiones catiónicas: **CSS-1h y CQS-1h**.

Para designar la viscosidad de la emulsión se utilizan números donde "1" se refiere a una baja viscosidad de la emulsión y "2" contrariamente se refiere a una alta viscosidad. En cuanto a la rigidez o dureza del asfalto residual, se utiliza la letra minúscula "h" ("hard") para indicar un asfalto residual de rigidez alta, si no lleva ninguna letra indica un residuo de rigidez media, si tiene una "H" quiere decir que tiene una rigidez muy alta y finalmente, si lleva una letra minúscula "s" ("soft") indica un asfalto residual mucho más blando.



La emulsión asfáltica se debe diseñar en función del tipo de agregado y de las condiciones geométricas (pendientes y tránsito) de la ruta y ambientales (temperatura, humedad y precipitación) de la zona en donde se ubica dicha ruta.

Las características reactivas de la emulsión (aniónicas o catiónicas) tienen que ver con su afinidad con el agregado (polaridad, tipo y concentración de



emulsificante, etc.). Existe una prueba que permite determinar la polaridad eléctrica de los glóbulos de asfalto en las emulsiones, con el propósito de identificarlas como aniónicas cuando los glóbulos tienen una carga eléctrica negativa, y como catiónicas cuando su carga es positiva. El procedimiento consiste en inducir una corriente eléctrica a través de la emulsión, mediante dos electrodos y observar a cuál de ellos son atraídos los glóbulos de asfalto.

En la actualidad, salvo en el caso de utilizar agregados calcáreos, se usan principalmente emulsiones catiónicas, debido a su mayor afinidad con el agregado de tipo silíceo, el cual es el predominante en Costa Rica.

Emulsión asfáltica aniónica

Debe cumplir con las propiedades establecidas en la norma AASHTO M 140 o ASTM D 977. Los aspectos más importantes en cuanto a especificaciones se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Resumen de especificaciones para emulsiones aniónicas, utilizadas en la construcción de sellos de lechada asfáltica.

TIPO DE ENSAYO	SS-1		SS-1h		QS-1h	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
En la emulsión						
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C (SFS)	20	100	20	100	20	100
Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24 h (%)	-	1	-	1	-	1
Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico (%)	-	2,0	-	2,0	-	NA
Porcentaje retenido en el tamiz (%)	-	0,10	-	0,10	-	0,10
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	-

NA: No aplica.

Fuente: Tabla adaptada de AASHTO M 140 ("Table 1: Requirements for emulsified asphalt")

Emulsión asfáltica catiónica

Debe cumplir con las propiedades establecidas en la norma AASHTO M 208 o ASTM D 2397. Los aspectos más importantes en cuanto a especificaciones se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Resumen de especificaciones para emulsiones catiónicas, utilizadas en la construcción de sellos de lechada asfáltica.

TIPO DE ENSAYO	SS-1		SS-1h		CQS-1h	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
En la emulsión						
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C (SFS)	20	100	20	100	20	100
Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24 h (%)	-	1	-	1	-	NA
Ensayo de la carga de la partícula	Positiva		Positiva		Positiva	
Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico (%)	-	2,0	-	2,0	-	NA
Porcentaje retenido en el tamiz (%)	-	0,10	-	0,10	-	0,10
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: Tabla adaptada de AASHTO M 208 ("Table 1 Requirements and typical applications for cationic emulsified asphalt")



Es recomendable verificar el valor de acidez de la emulsión asfáltica con la medición del pH, este valor debe ser menor a 3.

1.2.2. Ensayos para los agregados

El agregado que se utiliza para la fabricación de sellos de lechada asfáltica está expuesto a la acción abrasiva del tránsito. Si no es lo suficientemente resistente entonces se desgastará de manera muy rápida y causará que el pavimento se deteriore más rápidamente, con la consecuente pérdida de resistencia a la fricción cuando el pavimento está mojado.

El agregado debe de cumplir las especificaciones de resistencia a la abrasión, tamaño, forma, limpieza de finos y durabilidad. La forma ideal del agregado es que sea cúbico, evitando las partículas elongadas y planas, pues estas se alinean en su lado plano y no quedan totalmente recubiertas con el asfalto, pudiendo desprenderse. Se recomienda evitar el uso de agregado redondeado, como agregado de río sin quebrar el cual tenderá a rodar y desplazarse con el tránsito.

La limpieza del agregado es muy importante. Si las partículas están llenas de polvo, o cubiertas con arcilla o limo, la emulsión no tendrá una buena adherencia con los agregados. A manera de resumen se enlista en la Tabla 5, las especificaciones que debe cumplir el agregado para ser utilizado en los sellos de lechada asfáltica.

Tabla 5: Resumen de especificaciones para los agregados finos, utilizados en la construcción de sellos de lechada asfáltica.

Ensayo	Norma	Especificación
Granulometría	AASHTO T 27 y T 11	Tabla 6
Abrasión Los Ángeles	AASHTO T 96 INTE 06-02-27	35 % máx
Equivalente de arena	AASHTO T 176	45 % mín
Durabilidad por acción de los sulfatos	AASHTO T 104 INTE 06-02-24	15 % máx (Sodio) 25 % máx (Magnesio)
Azul de metileno	-	10 mg/g máx (Basalto) 7 mg/g máx (Arenisca)

Fuente: Tabla tomada de A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, 2010.

La granulometría define el **tipo de sello de lechada asfáltica** requerido de acuerdo con el uso que se desea aplicar, y que anteriormente se describieron en la Tabla 1.

En la Tabla 6 y Figura 5 se presentan las especificaciones de granulometría para los tres tipos de sellos de lechada asfáltica.

Tabla 6: Resumen de especificaciones granulométricas para los agregados finos que se utilizan en la construcción de sellos de lechada asfáltica.

Tamiz	Tipo de sello de lechada asfáltica			Tolerancia en el apilamiento
	I	II	III	
9,5 mm (Nº 3/8)	-	100	100	-
4,75 mm (Nº 4)	100	90 – 100	70 – 90	± 5 %
2,36 mm (Nº 8)	90 – 100	65 – 90	45 – 70	± 5 %
1,18 mm (Nº 16)	65 – 90	45 – 70	28 – 50	± 5 %
600 µm (Nº 30)	40 – 65	30 – 50	19 – 34	± 5 %
300 µm (Nº 50)	25 – 42	18 – 30	12 – 25	± 4 %
150 µm (Nº 100)	15 – 30	10 – 21	7 – 18	± 3 %
75 µm (Nº 200)	10 – 20	5 – 15	5 – 15	± 2 %

Fuente: Tabla tomada de A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, 2010

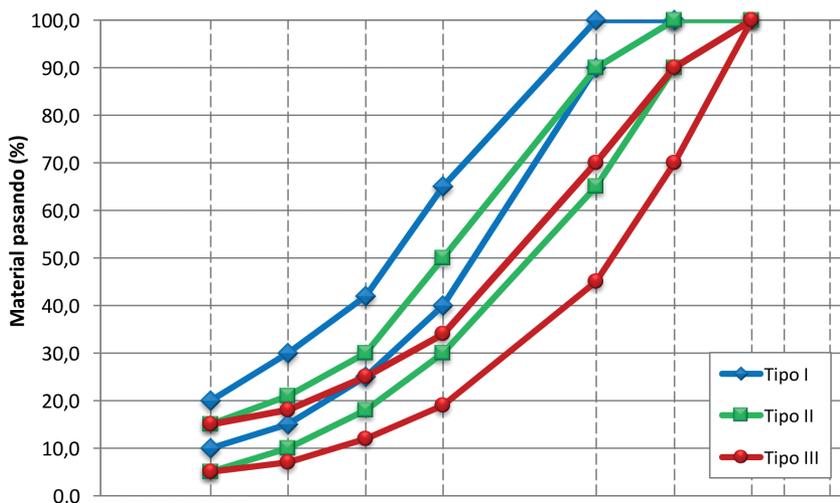


Figura 5. Rangos de curvas granulométricas para los tres tipos de sellos de lechada asfálticas.
Fuente: LanammeUCR, 2011

1.2.3. Relleno mineral y aditivos

El objetivo del relleno mineral es evitar la segregación pues corrige la curva granulométrica produciendo una mezcla de mayor consistencia y menos propensa a este fenómeno. También ayuda a acelerar el rompimiento de la emulsión asfáltica debido a que aumenta el área de contacto entre el agregado y la emulsión.

El relleno mineral deberá consistir en una matriz de agregado mineral como polvo de roca, cenizas, cal hidratada, cemento hidráulico, limos finos u otros materiales adecuados. En el momento de su uso debe estar completamente seco para permitir que flote libremente y que no se aglomere.

Otros aditivos también se pueden adicionar a la emulsión asfáltica, algunos de ellos actúan como retardantes pues afectan la reacción del agregado con la emulsión asfáltica. Ejemplos de estos aditivos son soluciones emulsificadas de sulfato de aluminio, cloruro de aluminio y bórax. Generalmente, al incrementar la concentración de los aditivos, se retardan los tiempos de rompimiento y curado, lo que es muy útil cuando la temperatura aumenta durante el día.

1.2.4. Agua

El agua utilizada para la fabricación de los sellos de lechada asfáltica debe estar libre de aceites, ácidos, álcalis, materias orgánicas u otras sustancias contaminantes. No debe utilizarse agua salada ni salobre (con mayor contenido de sal que el agua salada de mar). Se deberá usar agua potable de calidad conocida, que esté de acuerdo con la norma AASHTO T 26. Cuando la calidad del agua sea cuestionable, se debe cumplir con lo establecido en la tabla 2 de la Especificación AASHTO M 157.

1.2.5. Sellos de lechada asfáltica

Las especificaciones para la lechada asfáltica están relacionadas con el diseño de la mezcla y se muestran en la siguiente Tabla 7.

Tabla 7: Especificaciones de calidad para las mezclas de lechada asfáltica.

Ensayo	Norma (ISSA)	Especificación	Unidad
Tiempo de mezclado ¹	A 105	180 mínimo 300 máximo	segundos
Tiempo de fijación (set) ¹	A 105 TB 113	3 mínimo 180 máximo	minutos
Tiempo de agua clara	TB 113	45 máximo	minutos
Desgaste por abrasión en Pista Húmeda	TB 100	807	g/m ²
Exceso de asfalto en la Rueda Cargada	TB 109	538	g/m ²
Cohesión a 30 minutos Cohesión a 60 minutos	TB 139	12 20	kg-cm kg-cm
Desnudamiento por humedad	TB 114	90 mínimo	%
Consistencia del sello de lechada asfáltica	TB 106	2,5 ± 0,5	cm

¹Definidos en la sección 3.2 de este documento.

Fuente: Tabla tomada de A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, 2010

2. MÉTODO DE DISEÑO DE LA MEZCLA DE LECHADA ASFÁLTICA

El desempeño de los sellos de lechada asfáltica depende de la calidad de los materiales componentes y de cómo éstos interactúan durante y luego del curado. Una vez determinado el tipo de sello a utilizar, es recomendable probar distintos tipos de emulsificantes y aditivos para establecer la compatibilidad con el agregado y además establecer de una manera rápida los tiempos de rompimiento y curado.

Para el diseño se llevan a cabo las siguientes fases, las cuales se presentan también el esquema que resume el proceso de diseño (Figura 6):

1. Dosificación inicial de emulsión y agua a partir de la medición de los tiempos de mezclado, fijación y agua clara.
2. Dosificación de 5 contenidos de emulsión variando en $\pm 3\%$ y $\pm 1,5\%$ el contenido inicial, manteniendo la consistencia de la mezcla para las distintas dosificaciones.
3. Realización de los ensayos de exudación en rueda cargada y abrasión en pista húmeda.
4. Método gráfico para determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica.
5. Prueba de mezclado para valorar la trabajabilidad y consistencia de la mezcla, como ajuste de las condiciones esperadas en campo.
6. Verificación del cumplimiento de especificaciones para el contenido óptimo de emulsión asfáltica (Figura 7).



Figura 6. Procedimiento de diseño de una mezcla de lechada asfáltica.
Fuente: LanammeUCR, 2011



Figura 7. Verificación de los resultados para el contenido óptimo de emulsión asfáltica.

Fuente: LanammeUCR, 2011

En los siguientes apartados se explica cada fase descrita (Figura 6) paso a paso, además se incluye un ejemplo de diseño realizado en el laboratorio como referencia a cada fase del procedimiento de diseño. Las características de los materiales utilizados en el ejemplo se muestran en el Apéndice 1.

2.1. Prueba inicial de mezclado

Paso #1

Inicialmente se debe suponer un porcentaje de emulsión asfáltica para un valor intermedio en el rango especificado, según el tipo de sello (Mostrados en la Tabla 2).

Paso #2

Se deben realizar algunas pruebas de mezclado de agregado, emulsión (usando el porcentaje definido Paso #1) y agua para aproximar las dosificaciones iniciales. Esto con el fin de que la mezcla alcance una trabajabilidad y fluidez adecuada, es decir, que sea fácil de homogenizar en el proceso de mezclado, que permita una consistencia suficiente (trabajabilidad), y que visualmente no sea muy líquida (fluidez) (Ver Figura 8).



Es importante realizar una prueba en el rango bajo para asegurar un buen recubrimiento del agregado

Paso #3

Una vez escogido el valor inicial de emulsión, se debe adicionar un contenido de agua para obtener un recubrimiento adecuado y una buena trabajabilidad de la mezcla, hasta alcanzar un porcentaje aproximado de fluidos totales (emulsión + agua) de 25,0 % respecto al peso del agregado seco (PTA). Se debe mantener este contenido de fluidos totales, cambiando las dosificaciones iniciales del contenido de emulsión y agua sin afectar el recubrimiento.

Ejemplo de diseño

Para el caso más común con una granulometría de Tipo II el rango de emulsión asfáltica abarca desde 12,4 % hasta 22,3 %, por lo que se escoge un valor de 17,4 % para iniciar con las pruebas.

Para el sello Tipo II y la emulsión asfáltica tipo CSS-1h, las dosificaciones iniciales obtenidas se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Datos para la dosificación inicial de emulsión y agua.

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Especificación
% Emulsificante	1,0	1,0	1,0	1,0% - 1,4%
% Asfalto Residual	60,5	60,2	58,9	20,0-100,0
pH	2,6	4,0	2,0	< 3,0
% Emuls. inicial mínimo	12,4	12,5	12,7	-
% Agua	9,6	9,5	9,3	-
% Asfalto mezcla	7,5	7,2	7,1	7,5 - 13,5
% Fluidos (PTA)	22,0	22,0	22,0	25,0 % máximo

Fuente: LanammeUCR, 2011.



Figura 8. Prueba de trabajabilidad y fluidez.

Fuente: LanammeUCR, 2011

2.2. Dosificaciones iniciales: Tiempo de mezclado (mix time), tiempo de agua clara y tiempo de fijación (set time)

El tiempo disponible para mezclar una lechada se determina mediante pruebas de mezclado, que consisten en medir el tiempo que tarda en romper una determinada mezcla de prueba. El rompimiento de la emulsión asfáltica consiste en la separación de las moléculas de asfalto suspendidas en el agua. La determinación del rompimiento de la emulsión se hace visualmente.



Durante estas pruebas es importante simular en el laboratorio las condiciones reales que se darán en sitio, ya que el comportamiento del curado de la lechada es altamente dependiente de las condiciones climáticas prevalecientes.

Por ejemplo, se tiene que simular la humedad relativa y temperatura ambiente que se vayan a presentar en el proyecto así como la humedad de los agregados.

Este procedimiento está descrito en la norma titulada "Procedimiento de mezclas de prueba para el diseño de sellos de lechada asfáltica" (ISSA TB 113) y se utiliza para determinar los porcentajes de los componentes de la mezcla por medio de la variación de los porcentajes de composición, y establecer el tiempo de rompimiento o agotamiento de emulsión libre (tiempo de mezclado después de agregar la emulsión). A continuación se detalla:

Paso #1

Se debe mezclar en estado húmedo (aprox. 2% - 5%) 200 g aproximadamente de agregado combinado, luego se añade el agua y se mezcla por 20 segundos. Observar que la distribución sea uniforme.



Todas las dosificaciones de emulsión, agua, aditivo y relleno mineral se calculan sobre el peso seco del agregado.

Paso #2

Se añade la emulsión asfáltica y se mezcla vigorosamente por 30 segundos hasta que la mezcla esté homogénea, se toma una porción de la muestra mezclada y se coloca sobre una superficie lisa, como papel aluminio, esta debe quedar extendida a la altura del tamaño máximo del agregado, y al lado de la muestra se anotarán: % de emulsión, % de agua, tiempo de mezclado, tiempo de agua clara y tiempo de fijación (paso # 4). Durante este proceso hay que observar la mezcla: no debe haber presencia de líquidos libres, o por el contrario que la mezcla esté excesivamente seca y rígida. Esto con el propósito de ajustar la cantidad de agua añadida en las siguientes muestras de prueba (Figura 8).



Paso #3

Luego del mezclado inicial , se continúa mezclando ligeramente la muestra (a una revolución por segundo aproximadamente) en el recipiente, se debe observar en qué momento la muestra empieza a romper o rigidizar (cambio de color y textura), se anota este tiempo el cual debe ser de al menos 180 segundos pero no mayor a los 300 segundos (5 min).

Paso #4

Seguidamente se debe medir el tiempo de agua clara, este corresponde al momento en el cual al colocar una toalla de papel absorbente sobre la mezcla, ésta ya no se manche, además se debe medir el tiempo de fijación, periódicamente se presiona la muestra con el dedo índice, hasta que el sello toma forma y no se aprecia un desplazamiento bajo la acción de la presión, en este momento se anota el tiempo y se establece como el tiempo de fijación (set time). Estos tiempos no deben ser menores a 180 segundos (3 minutos).



No es recomendable que el tiempo de agua clara y fijación (los cuales se miden simultáneamente) sean mayores a 4 horas pues es un indicador aproximado del tiempo en que se alcanza la resistencia a la torsión en el momento de la apertura del tránsito.

Paso #5

Se examina la muestra para observar si es pegajosa (tackiness) y brillante (shininess), esto puede indicar: (1) drenaje de finos o (2) flotación de la película de asfalto.

Paso #6

Además, es necesario examinar la muestra para observar la presencia de una costra de color gris sobre la superficie del sello (flotación de finos). Esto puede indicar un exceso de agua en la mezcla, agregado supersaturado, relleno mineral no compatible, alto contenido de alcalinos o bajo pH en la emulsión.

Paso #7

Finalmente, se debe examinar por adhesión interna, esto consiste en una evaluación subjetiva, que se realiza descascarando la mezcla con los dedos para observar que las partículas más grandes se pueden separar fácilmente. Esta condición puede indicar un bajo contenido de emulsión, mucha agua de mezcla, mucho relleno mineral, una emulsión pobre, o pocos finos. Luego de este proceso se debe tomar la muestra para el ensayo de desnudamiento TB 114, para revisar la compatibilidad del sistema.



Adhesión, se recomienda realizar alguna prueba de compatibilidad entre el aditivo (cal o cemento) y la emulsión.

Paso #8

De acuerdo con el método ISSA TB 113, una vez que se tiene la dosificación inicial de fluidos, se puede añadir como relleno mineral cal o cemento en porcentajes entre 1 % y 2 % sobre el peso de agregado seco.



Los tiempos de mezclado y fijación no pueden ser menores a los tiempos en que un operador puede tardar en la colocación de los sellos de lechada asfáltica, estos aproximadamente están entre 120 a 180 segundos antes de que comience a romper la emulsión.

Ejemplo de diseño

Continuando con la fase anterior y de acuerdo a los pasos descritos, se muestran en las Tabla 9 y Tabla 10 los resultados obtenidos del tiempo de mezclado y tiempo de fijación para la mezclas probadas.

Tabla 9. Pruebas de los tiempos de mezclado con diferentes porcentajes de emulsión, agua y aditivo.

Muestra	Emulsión (%)	Agua (%)	Tiempo de mezclado (s)	Requerimiento a cumplir
Sin aditivo	12,0	11,0	149	Entre 180 s y 300 s
	11,0	10,0	135	
	11,0	12,0	75	
	12,0	10,0	210	
1% Cal	11,0	14,0	No rigidizó	
		13,0		
		12,0		
2% Cal	11,0	14,0		
		13,0		
		12,0		
5% Cal	11,0	10,0	135	
2% Cal	12,0	10,0	600	
5% Cal	12,0	10,0	45	
6% Cal	12,0	10,0	75	
1% Cemento	12,0	12,0	No rigidizó	
	11,0	12,0		
	11,0	14,0		
2% Cemento	11,0	13,0		
	11,0	14,0		
3% Cemento	12,0	13,0		

Fuente: Pruebas de diseño realizadas en el Laboratorio de Mezclas Bituminosas, LanammeUCR, 2011

Tabla 10. Pruebas de dosificación para establecer los tiempos de fijación con diferentes porcentajes de emulsión, agua y aditivo.

Muestra	Emulsión (%)	Agua (%)	Tiempo de fijación (min)	Requerimiento a cumplir
Sin aditivo	16,0	11,0	-	No menor a 3 min
	12,0	11,0	No se pudo registrar	
	11,0	10,0	80	
	11,0	12,0	No se pudo registrar	
	12,0	10,0	123	
1% Cal	11,0	14,0	No rigidizó	
		13,0		
		12,0		
2% Cal	11,0	14,0		
		13,0		
		12,0		
5% Cal	11,0	10,0	80	
10% Cal	11,0	10,0	No rigidizó	
2% Cal	12,0	10,0		
5% Cal	12,0	10,0		
6% Cal	12,0	10,0	45	
1% Cemento	12,0	12,0	243	
	11,0	12,0	No rigidizó	
	11,0	14,0		
2% Cemento	11,0	13,0		
	11,0	14,0		
3% Cemento	12,0	13,0		
6% Cemento	12,0	11,0		

Fuente: Pruebas de diseño realizadas en el Laboratorio de Mezclas Bituminosas, LanammeUCR, 2011

En la Tabla 11 se presentan los resultados del análisis de la flotación y adhesión. Dados los resultados se recomienda realizar alguna prueba de compatibilidad entre el aditivo (cal y cemento) y la emulsión.

Tabla 11. Resultados de flotación y adhesión interna.

Muestra	Emulsión %	Agua %	Flotación	Adhesión	Observaciones
Sin aditivo	16	11	No se da flotación	La adhesión no es adecuada	Valores de dosificación inicial de acuerdo a la cantidad de fluidos y porcentaje residual de asfalto solicitado por la norma TB 113. Sin embargo, los resultados en las pruebas de consistencia y tiempos de mezclado no cumplieron.
Sin aditivo	12	11	Se da flotación	Sí hay adhesión	No se logró conocer el tiempo set, dado que tardó más de 15 horas en secarse la muestra.
Sin aditivo	11	12	Se da flotación	Sí hay adhesión	No se logró conocer el tiempo set, dado que tardó más de 15 horas en secarse la muestra.
Sin aditivo	12	10	No se da flotación	Sí hay adhesión	Dosificación óptima inicial.
Con 1% Cal	11	12	Se da flotación	No hay adhesión	Produjo un aumento en el tiempo de mezclado. La cal podría estar hidratada aportando mayor humedad.
Con 2% Cal	12	10	Se da flotación	No hay adhesión	
Con 1% Cemento	12	10	Se da flotación	No hay adhesión	Produjo un aumento en el tiempo de mezclado. El cemento podría estar húmedo y no reduce el tiempo de mezclado.
Con 2% Cemento	11	13	Se da flotación	No hay adhesión	
Con 5% Cal	12	10	Se da flotación	No hay adhesión	Color gris al día siguiente
Con 6% Cal	12	10	Se da flotación	No hay adhesión	Color gris al día siguiente
Con 6% Cemento	12	11	Se da flotación	No hay adhesión	Color gris al día siguiente

Fuente: LanammeUCR, 2011

De acuerdo con estos resultados, se escoge la mezcla sin aditivo con un porcentaje de emulsión asfáltica de 12 % y un contenido de agua de 10 % como la dosificación inicial. En la Figura 9 se muestran las pruebas realizadas para encontrar la dosificación inicial.



Figura 9. Dosificaciones iniciales para el sello Tipo II.

Fuente: LanammeUCR, 2011

2.3. Ensayo de rueda cargada y adhesión de arena (RC)

Este método de ensayo (ISSA TB 109) se utiliza para el diseño de mezcla del sello con la finalidad de medir la exudación de asfalto bajo la acción de las cargas de tránsito. A continuación se describe:

Paso #1

Se deben preparar 5 muestras de agregado de 300 gramos para distintos porcentajes de emulsión ($\pm 3\%$ y $\pm 1,5\%$ del contenido inicial) y el mismo porcentaje de líquidos (% agua más % emulsión) para todos los casos, esto significa que al variar el contenido de emulsión se debe ajustar el porcentaje de agua añadida para mantener constante el porcentaje de líquidos. Se tiene que verificar que las mezclas tengan la misma Consistencia (ISSA TB 106). El contenido inicial de emulsión y porcentaje de líquidos fue obtenido de la fase anterior 2.2 Dosificaciones iniciales.

Paso #2

Todos los especímenes se deben curar durante 15 horas a 60 °C. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se tiene que tomar el peso a masa constante.

Paso #3

Seguidamente se debe colocar la muestra en el equipo de rueda cargada (Figura 10) y se aplican 1000 ciclos con una carga de 56,7 kg sobre la rueda. Durante la prueba se agrega agua a la muestra para evitar que la llanta de hule desprenda el agregado, una vez finalizados los 1000 ciclos, la muestra se lava eliminando las partículas que se han desprendido con mucho cuidado evitando que no se desprendan más.

Paso #4

A continuación se debe secar al horno a una temperatura de 60 °C, a masa constante, esto implica pesar el espécimen cada 15 minutos hasta que el peso se mantenga constante entre mediciones con una diferencia máxima de 0,1%. Se designa como el peso inicial.



La arena se agrega con el fin de que se adhiera al asfalto exudado y, mediante diferencia de pesos, contabilizar la cantidad de asfalto que exuda la mezcla.

Paso #5

Posteriormente se debe colocar la muestra en el equipo de rueda cargada nuevamente y aplicar 100 ciclos con una carga de 56,7 kg sobre la rueda y agregando 100 gramos de arena Ottawa.

Paso #6

Al finalizar este proceso se debe desmontar la muestra y eliminar el exceso de arena que no está adherida a la huella de exudación, y volver a pesar la muestra (este peso se anota como peso final); dicho peso se utiliza para determinar la exudación.

$$\text{Exudación (g/m}^2\text{)} = \frac{(\text{Peso de arena+mezcla+plato}) - (\text{peso mezcla+plato})}{\text{área}}$$

Ecuación 1

Se calcula la diferencia entre el peso inicial y final, además para calcular el área se debe medir el largo y 3 veces el ancho (en diferentes puntos de la huella) debido a la exudación del asfalto que se aprecia en la marca que deja la arena adherida (Figura 10).

Se registra el exceso de asfalto (exudación) en la mezcla para las 5 dosificaciones.



El límite máximo de exudación presentado en el sello de lechada asfáltica para que no se presenten problemas de deformación debido a esta propiedad es de 538 g/m^2 , de acuerdo a la especificación ISSA.



Figura 10. Resultados del ensayo de rueda cargada (ISSA TB 109).

Fuente: Lanamme, 2011

Ejemplo de diseño

Continuando con la fase anterior y de acuerdo a los pasos descritos, para el sello Tipo II sin aditivo, con la dosificación inicial de emulsión asfáltica de 12% y un contenido de agua de 10%, se tienen los siguientes resultados (Tabla 12 y Tabla 13).

Tabla 12. Resultados del área de exudación.

Contenido de agua	Contenido de emulsión	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)
10 %	9,0 %	2,83	34,2	0,00968
	10,5 %	2,80	34,9	0,00977
	12,0 %	2,73	34,3	0,00936
	13,5 %	2,93	35,8	0,01049
	15,0 %	3,00	35,1	0,01053

Fuente: LanammeUCR, 2011

Tabla 13. Resultados de exudación de asfalto mediante rueda cargada.

Contenido de agua	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso de arena + mezcla + plato (g)	Exceso de asfalto (g/m ²)	Especificación
10 %	9,0 %	418,0	418,9	93	538 g/m ² máximo
	10,5 %	429,8	431,4	164	
	12,0 %	465,2	467,8	278	
	13,5 %	439,1	442,1	286	
	15,0 %	449,3	453,0	351	

Fuente: LanammeUCR, 2011

De manera gráfica se presentan los resultados de la exudación (Figura 11).

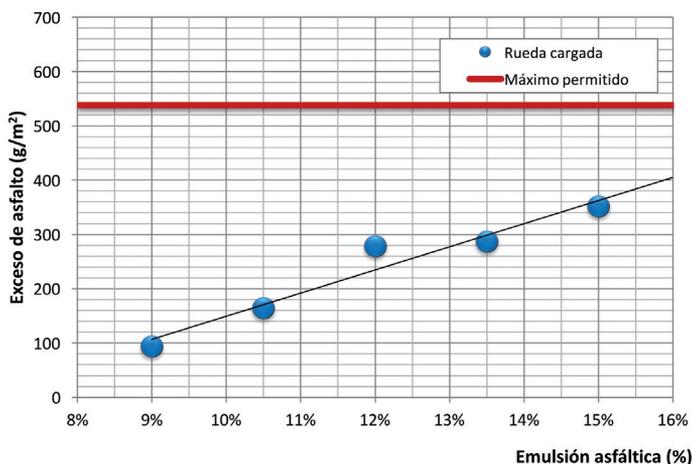


Figura 11. Resultados de exudación del ensayo de rueda cargada (ISSA TB 109).

Fuente: Lanamme, 2011



2.4. Ensayo de desgaste por abrasión en ambiente húmedo (PH)

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

Paso #1

Se deben preparar 5 muestras de agregado de 800 gramos para distintos porcentajes de emulsión ($\pm 3\%$ y $\pm 1,5\%$ del contenido inicial) y el mismo porcentaje de líquidos (% agua más % emulsión) para todos los casos, esto significa que al variar el contenido de emulsión se debe ajustar el porcentaje de agua añadida para mantener constante el porcentaje de líquidos. Se tiene que verificar que las mezclas tengan la misma Consistencia (ISSA TB 106). El contenido inicial de emulsión y porcentaje de líquidos fue obtenido de la fase anterior 2.2 Dosificaciones iniciales.

Paso #2

Se debe moldear un espécimen circular (Figura 12) para cada muestra, y se debe curar cada espécimen en el horno a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 15 horas. Se tiene que medir el peso a masa constante.

Paso #3

Posteriormente, cada espécimen debe ser sumergido en agua durante 1 hora a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Paso #4

Utilizando el equipo mostrado en la Figura 12 se debe montar la muestra y añadir agua hasta apenas cubrir el espécimen y aplicar abrasión con un tubo de hule que se hace pasar sobre la muestra durante 315 ± 5 segundos.

Paso #5

Una vez ensayado el espécimen se retira del equipo y se lava para eliminar las partículas que se puedan desprender por la abrasión del ensayo, la muestra se lava eliminando las partículas que se han desprendido con mucho cuidado evitando que no se desprendan más.

Paso #6

Seguidamente se debe secar al horno a masa constante, esto implica pesar el espécimen cada 15 minutos hasta que el peso se mantenga constante entre mediciones con una diferencia máxima de $0,1\%$.

Paso #7

Finalmente se debe pesar, la pérdida de peso se expresa en gramos totales perdidos o en gramos perdidos por unidad de área como gramos por metro cuadrado.



Los resultados obtenidos se grafican para obtener el comportamiento de desprendimiento de partículas del sello.



a. Equipo de ensayo



b. Aplicación de la llanta de hule



c. Desprendimiento de partículas



d. Muestra al final del ensayo

Figura 12. Resultados del ensayo de pista húmeda (ISSA TB 100).

Fuente: Lanamme, 2011

La pérdida por abrasión se calcula con la ecuación dada en la norma TB 100, la cual depende del equipo de ensayo.

Pérdida abrasión (g/m^2) = $[(\text{Peso de mezcla ensayada} + \text{plato}) - (\text{peso mezcla} + \text{plato})] \times (37,5 \times 0,78)$

Ecuación 2



De acuerdo con la especificación ISSA, un valor de pérdida mayor a 807 g/m^2 indicaría que el sello de lechada no tendrá un buen comportamiento en servicio, dicho valor se puede considerar como límite máximo permisible, y permite a su vez determinar el contenido mínimo de asfalto necesario.

Ejemplo de diseño

Continuando con la fase anterior y de acuerdo a los pasos descritos, para el sello Tipo II sin aditivo, con la dosificación inicial de emulsión asfáltica de 12 % y un contenido de agua de 10 %, se tienen los siguientes resultados (Tabla 14).

Tabla 14. Resultados de pérdida por abrasión mediante pista húmeda.

Contenido de agua	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso de mezcla ensayo + plato (g)	Pérdida por abrasión (g/m ²)	Especificación
10 %	9,0 %	2597,3	2566,9	889	807 g/m ² máximo
	10,5 %	2667,5	2649,3	532	
	12,0 %	2610,3	2601,0	272	
	13,5 %	2640,6	2636,7	272	
	15,0 %	2653,5	2652,1	41	

Fuente: LanammeUCR, 2011

De manera gráfica se presentan los resultados de la abrasión (Figura 13).

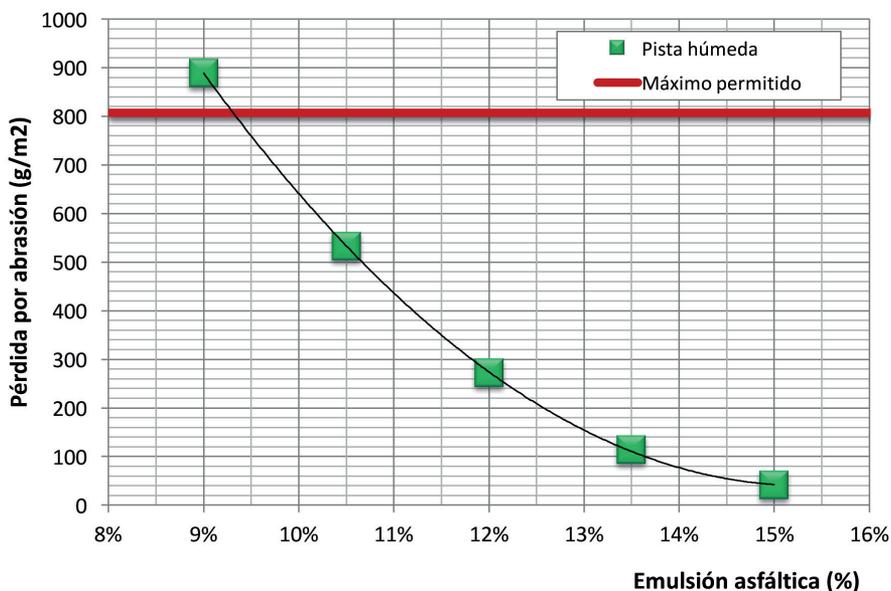


Figura 13. Resultados del ensayo de desgaste por abrasión en pista húmeda (ISSA TB 100).

Fuente: LanammeUCR, 2011.

2.5. Método gráfico para determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se recomienda usar el criterio propuesto por la ISSA TB 111, siguiendo los pasos descritos a continuación:

Paso #1

Se debe determinar el contenido mínimo de emulsión asfáltica de acuerdo al ensayo de pista húmeda con la intersección del límite máximo de rueda cargada.

Paso #2

Se debe determinar el contenido máximo de asfalto según el ensayo rueda cargada con su límite máximo.

Paso #3

El contenido de emulsión asfáltica óptimo se encuentra en el punto medio de las verticales que intersecan los límites de especificación para rueda cargada y pista húmeda (Figura 14).

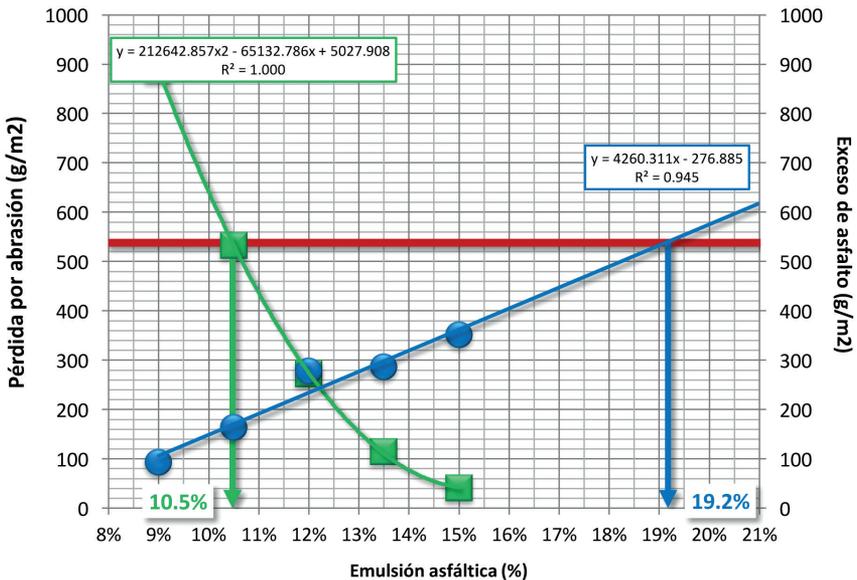


Figura 14. Gráfico que presenta los resultados de pista húmeda y rueda cargada.

Fuente: LanammeUCR, 2011.

Ejemplo de diseño

Para el caso del estudio desarrollado:

- a) El contenido mínimo por pista húmeda (PH) es 10,5 %
- b) El contenido máximo por rueda cargada (RC) es 19,1 %
- c) El contenido óptimo sería igual al punto medio entre estos dos porcentajes.

$$\text{Porcentaje óptimo de emulsión} = \frac{19,1\% - 10,5\%}{2} = 14,9\%$$

Ecuación 3

- d) El rango de trabajo sería el contenido óptimo de emulsión $\pm 1,5\%$, en este caso tendríamos (Figura 15):

$$\text{Porcentaje óptimo de emulsión} = (14,9 \pm 1,5) \%$$

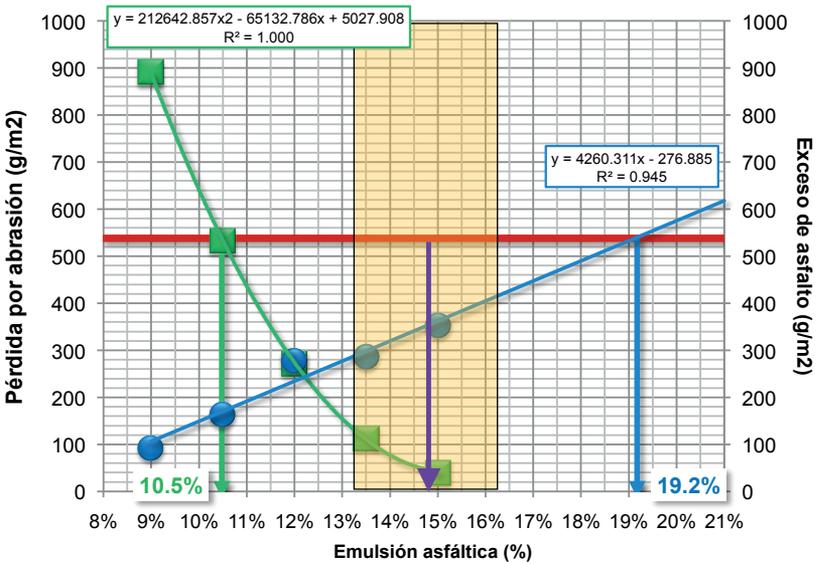


Figura 15. Porcentaje óptimo de emulsión método gráfico (ISSA TB 111).
Fuente: LanammeUCR, 2011.

2.6. Verificación del cumplimiento de especificaciones para el contenido óptimo de emulsión

Adicionalmente, una vez encontrado el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para la mezcla, se procede a verificar el cumplimiento de las especificaciones para el porcentaje encontrado.

2.6.1. Verificación de los tiempos de mezclado y fijación y el ensayo de flotación y adhesión interna

Paso#1

Se debe realizar un ensayo para la verificación de los tiempos de mezclado y fijación de acuerdo con lo descrito en el apartado **2.2 Dosificaciones iniciales**, utilizando la dosificación óptima encontrada.

Paso #2

Se debe tomar el sobrante de la muestra que se utilizó en el paso anterior y colocarlo en el horno a 60 °C durante 15 horas para su curado. Se debe reservar una muestra de 10 g curada para ser utilizada en el siguiente ensayo.

Paso #3

Seguidamente se debe analizar la muestra para verificar lo siguiente:

- Presencia de descascaramiento del agregado.
- Presencia de color gris, bronce o con polvo blanco.

Se debe anotar lo encontrado, esto se conoce como flotación y adhesión. Si se presenta alguna de las dos características el diseño no cumple.

2.6.2. Desnudamiento-compatibilidad

Para desarrollar este ensayo (ISSA TB 114) se deben realizar los siguientes pasos:

Paso #1

Obtener una muestra de 10 g de la mezcla curada del ensayo de tiempo de mezclado y fijación (el tiempo de curado de acuerdo con el ejemplo de diseño fue de 15 horas en un horno a 60 °C) del paso anterior.

Paso #2

Se debe introducir la muestra en un beaker con agua desmineralizada, la cual debe estar hirviendo vigorosamente. Se deja hervir durante 3 minutos, luego de los cuales se quita el beaker del calentador y se deja enfriar.

Paso #3

Posteriormente, se debe dejar correr agua del tubo sobre la superficie del agua del beaker y se deja fluir hasta que ya no haya asfalto libre en la superficie.

Paso #4

Luego el agua se decanta y la muestra se coloca sobre un papel absorbente, donde se deja secando y se examina para estimar el área de agregado recubierta con asfalto.

El porcentaje de desnudamiento total del agregado sin recubrir por el asfalto perdido en la ebullición se reporta como el porcentaje de recubrimiento (Figura 16). El porcentaje de recubrimiento mínimo es de 90 %.



a. Muestra en agua hirviendo



b. Película de asfalto libre



c. Decantando el agua



d. Muestra seca después de la ebullición

Figura 16. Ensayo de desnudamiento (ISSA TB 114-115).

Fuente: LanammeUCR, 2011

2.6.3. Exudación en rueda cargada

Se debe realizar el ensayo de acuerdo con lo descrito en la sección **2.3 Ensayo de rueda cargada y adhesión de arena (RC)**, utilizando la dosificación óptima encontrada.

2.6.4. Abrasión en pista húmeda

Se debe realizar el ensayo de acuerdo con lo descrito en la sección **2.4 Ensayo de desgaste por abrasión en ambiente húmedo (PH)**, utilizando la dosificación óptima encontrada.

2.6.5. Consistencia

El ensayo de consistencia (ISSA TB 106) se utiliza para determinar un cambio en el contenido óptimo de agua de diseño, para fabricar una mezcla de lechada asfáltica estable y trabajable en el sitio de colocación.



Un flujo entre 2 y 3 cm se considera como óptimo, para obtener una mezcla de una consistencia normal que la haga trabajable para su colocación en el sitio de pavimentación.

Paso #1

Se debe mezclar 400 gramos de la combinación del agregado con el contenido óptimo de emulsión e ir variando el contenido de agua en un máximo de $\pm 2\%$ (sobre el porcentaje óptimo), hasta alcanzar la consistencia deseada de acuerdo a los pasos 2-4.

Paso #2

La muestra se debe mezclar a temperatura ambiente y luego verterla sobre un cono como el que se utiliza para la densidad y gravedad específica de los agregados finos (Figura 17).

Paso #3

Colocar el cono sobre un papel o una superficie metálica inoxidable de círculos concéntricos con incrementos de un centímetro, y medir la distancia en que la lechada asfáltica se desplaza sobre estos círculos. El desplazamiento de la mezcla se mide en cuatro puntos ortogonales o diámetros los cuales se promedian, y a este dato se le denomina flujo (Figura 17).



Figura 17. Ensayo de consistencia ISSA TB 106.
Fuente: LanammeUCR, 2011

Ejemplo de diseño

A continuación se muestran los resultados de la verificación del diseño, utilizando el porcentaje óptimo encontrado para el diseño que se ha venido trabajando a través de las fases anteriores.

Tiempo de mezclado y fijación

Por las condiciones de humedad ambiental se añadió un 1 % más de agua.

Tabla 15. Resultados del tiempo de mezclado para el contenido óptimo de emulsión.

Muestra	Emulsión asfáltica (%)	Agua (%)	Tiempo de mezclado (s)	Requerimiento a cumplir
Sin aditivo	14,9	11,0	205	Entre 180 s y 300 s

Fuente: LanammeUCR, 2011

Tabla 16. Resultados del tiempo de fijación para el contenido óptimo de emulsión asfáltica.

Muestra	Emulsión asfáltica (%)	Agua (%)	Tiempo de fijación (min)	Requerimiento a cumplir
Sin aditivo	14,9	11,0	150	No menor a 3 min

Fuente: LanammeUCR, 2011

Flotación y adhesión interna

Tabla 17. Resultados de flotación y adhesión interna para el contenido óptimo de emulsión.

Muestra	Flotación	Requerimiento a cumplir	Adhesión interna	Requerimiento a cumplir
Sin aditivo	Cumple	La superficie no debe presentar color gris, bronce o con polvo blanco.	Cumple	No debe presentar descascaramiento del agregado

Fuente: LanammeUCR, 2011

Desnudamiento-compatibilidad

Tabla 18. Resultados de desnudamiento para el contenido óptimo de emulsión.

Muestra	Recubrimiento %	Condición (según ISSA TB 114)	Especificación
Sin aditivo	90	Satisfactorio	90% Satisfactorio 75% a 90% Marginal Menor a 75% Insatisfactorio

Fuente: LanammeUCR, 2011

Exudación en rueda cargada

Tabla 19. Resultados de rueda cargada para el contenido óptimo de emulsión.

Contenido de agua	Contenido de emulsión	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	
10,0	14,9	2,8	34,8	0,00974	Especificación
		Peso mezcla + plato (g)	Peso de arena + mezcla + plato (g)	Exceso de asfalto (g/m ²)	
		411,2	411,9	186	

Fuente: LanammeUCR, 2011

Abrasión en pista húmeda

Tabla 20. Resultados de pista húmeda para el contenido óptimo de emulsión.

Contenido de agua	Contenido de emulsión	Peso mezcla + plato (g)	Peso de mezcla + plato después del ensayo (g)	Exceso de asfalto (g/m ²)	Especificación
10,0	14,9	2617,5	2608,8	254	807 g/m ² máximo

Fuente: LanammeUCR, 2011

Consistencia

Tabla 21. Resultados de consistencia para el contenido óptimo de emulsión.

Peso agregado (g)	Emulsión		Agua		Flujo (cm)				Promedio (cm)
	%	(g)	%	(g)	1	2	3	4	
402,6	14,9	60,0	11,0	44,3	2,1	1,5	2,6	4,0	2,55

Fuente: LanammeUCR, 2011

3. COMENTARIOS FINALES

La calidad de un pavimento depende de la durabilidad de los materiales que lo componen, sin embargo, su vida útil depende únicamente del mantenimiento que se le dé. Existen innumerables técnicas de preservación que permiten prevenir un deterioro acelerado del pavimento y extender su vida útil.

La lechada asfáltica es una de las técnicas más utilizadas a nivel mundial y su elección deberá responder al tipo de necesidad (deterioros como pérdida de fricción, desprendimientos de agregado, entre otros) que se requiera solventar como se mencionó en el Capítulo 1.

Algunos de los beneficios de la aplicación de la técnica son:

- La apertura al tránsito varía de 1 a 3 horas, por lo que tiene un bajo impacto en los usuarios.
- Fácil aplicación.
- Amigable con el ambiente.
- Costos bajos con respecto a la aplicación de sobrecapas asfálticas y algunas otras técnicas de preservación.

- La superficie de ruedo queda con un excelente acabado.
- Posee una vida útil de 3 a 8 años.

Finalmente, se puede concluir que las técnicas de preservación, como los sellos de lechada asfáltica (slurry seals) prolongan la vida útil de los pavimentos cuando se utiliza el tratamiento adecuado en el momento preciso, lo cual se traduce en una mayor eficiencia en la inversión de los fondos públicos en las actividades de conservación vial de la red vial nacional y cantonal. Los sellos de lechadas asfálticas constituyen una opción de intervención de bajo costo y en las condiciones aptas de aplicación mencionadas, pueden sustituir la tendencia que tradicionalmente se ha utilizado en nuestro país, de colocar de forma irrestricta capas o sobrecapas de mezcla asfáltica, indistintamente del tipo, estado de deterioro y condiciones ambientales de la ruta a intervenir.

Con la presente guía se brinda un punto de partida a nivel de laboratorio para el diseño de este tipo de técnicas de preservación, la cual es importante complementar con el componente de aplicación práctica, mediante el uso de materiales producidos o procesados de forma idónea, según lo requieren las especificaciones, realización de tramos de prueba y correspondiente monitoreo de desempeño, para su posterior aplicación en rutas. Lo anterior será posible mediante la coordinación, ajustes a procesos internos e interés de los diferentes sectores, tanto públicos como privados, tales como la Administración, RECOPE, contratistas y laboratorios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alan Yamada, Asphalt Seal-Coat Treatments. United States Department of Agriculture, Forest Services, California, Estados Unidos, 1999. <http://www.fs.fed.us/eng/pubs/html/99771201/99771201.htm>
2. American Association of State Highway and Transportation Officials Emulsified Asphalt, M 140. Washington D.C., Estados Unidos, 27ava Edición, 2007.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials, Cationic Emulsified Asphalt, M 208. Washington D.C., Estados Unidos, 27ava Edición, 2007.
4. Asphalt Institute, A basic asphalt emulsion manual, MS-19. Kentucky, Estados Unidos, Tercera Edición.
5. ASTM Standards Worldwide, Standard Practices for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal D3910. Estados Unidos, 2008.
6. Clark County Public Works Construction Management Division, Slurry seals. Nevada, Estados Unidos, 2005.
7. Dávila, Lito, Guía básica para el diseño de mezclas asfálticas densas semilíquidas: morteros asfálticos (slurry seal) y microcapas (microsurfacing). Perú.
8. International Slurry Surfacing Association, A-105 Recommended performance guidelines for emulsified asphalt slurry seal. Maryland, Estados Unidos, 2010.
9. International Slurry Surfacing Association, Technical bulletins. Maryland, Estados Unidos, 2005.
10. Ministerio de Economía, Industria y Comercio, MEIC, Reglamento Técnico Centroamericano, Productos de Petróleo, Asfaltos, Especificaciones, RTCA-75.01.22:04.
11. Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales. 2001.
12. Valley Slurry Seal, Co, Slurry Seal General Overview, California, Estados Unidos, 2001. http://www.slurry.com/cont_slurryoverviews.html

APÉNDICE

1. Caracterización de la emulsión asfáltica, agregado y aditivos utilizados para el desarrollo de la metodología de diseño

1.1. Emulsión asfáltica CSS-1h

La emulsión asfáltica utilizada en este estudio fue fabricada en el laboratorio con el molino coloidal (Figura 17) con la formulación mostrada en la Tabla 22 utilizando un asfalto tipo AC-30 y emulsificante de tipo catiónico de rompimiento lento.

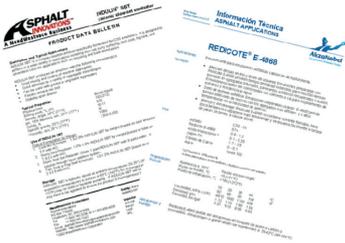
Tabla 22: Formulación para la preparación de la emulsión CSS-1h.

Formulación por peso	Dosificación porcentual (%)	Dosificación por peso dosificado (g)
Emulsificante	Catiónico de rompimiento lento	
Producción de emulsión	1000 gramos	
Asfalto	60,0 %	606,1 g
Emulsificante	1,5 %	15,1 g
Agua	38,5 %	378,8 g
Ácido HCl pH	hasta pH 2,0	2,0

Fuente: LanammeUCR, 2012

Las condiciones de producción fueron las siguientes:

- Temperatura de trabajo: 95 °C.
- Tiempo de mezclado: hasta obtener total homogeneidad (cerca de 30 segundos).
- Sistema de mezclado: molino coloidal.
- Envasado: galones plásticos cilíndricos.
- Bomba: 1800 rpm.
- Molino: 4000 rpm.
- pH: 2,0 pH.



a. Formulación a partir de las fichas técnicas del emulsificante



b. Medición por peso del agua



c. Adición del emulsificante para una CSS-1h



d. Adición de HCl, controlando el pH



e. Limpieza y acondicionamiento del molino coloidal



f. Mezclado de fase jabonosa y asfalto en el molino coloidal



g. Salida de emulsión a 95 °C



h. Acondicionado y almacenamiento

Figura 18. Producción de emulsión asfáltica en el laboratorio con molino coloidal.

Fuente: LanammeUCR, 2012

En la Tabla 23 se presentan de manera resumida la caracterización de la emulsión asfáltica producida en el laboratorio, donde se puede observar que todas las características cumplen con lo establecido en las especificaciones del Reglamento Técnico Centroamericano Productos de Petróleo Asfaltos. Especificaciones RTCA-75.01.22:04. Los ensayos de laboratorio realizados corresponden a los métodos ASSHTO T 59, T 49, T 51 y T 44.

Tabla 23: Caracterización de la emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento, CSS-1h.

TIPO DE ENSAYO	Resultados	Especificación	
		mín	máx
En la emulsión			
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (seg)	50,1± 0,32	20	100
Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24 h (%)	0,2 ± 0,2		1
Ensayo de la carga de la partícula	positiva	positiva	
Porcentaje retenido en el tamiz (%)	0,0006 ± 0,0001		1,0
Destilación Porcentaje de residuo (%) Aceite (%)	63,3 ± 0,8 1,0 ± 0,8	57	3h
En el residuo de la destilación			
Penetración a 25 °C	58 ± 1	40	90
Ductilidad a 25 °C (cm)	57 ± 1	40	
Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (%)	99,5 ± 0,0	97,5	

NR: no se realizó esta prueba

Fuente: LanammeUCR, 2012

1.2. Agregado Tipo II

La caracterización del Agregado Tipo II se presenta en la Tabla 24, donde se resumen los resultados de laboratorio y el cumplimiento con las especificaciones.

Tabla 24: Caracterización del Agregado Tipo II.

Ensayo	Resultados	Especificación
Abrasión Los Ángeles, Tipo C	26,8	35 % máx
Equivalente de arena	73,5	45 % min
Durabilidad por acción de los sulfatos	5,15	15 % máx (Sodio)
Azul de metileno	3,57	7 máx

Fuente: LanammeUCR, 2012

En la Figura 19 se muestra la granulometría utilizada del Agregado Tipo II y su cumplimiento con la especificación granulométrica de los sellos de lechada asfáltica de Tipo II.



Figura 19. Curva granulométrica para el Agregado Tipo II.

Fuente: LanammeUCR, 2012

1.3. Aditivos

Se utilizaron como aditivos para los sellos de lechada asfáltica: cal y cemento. En la Figura 19 y Figura 20 se muestran las distribuciones granulométricas realizadas con el ensayo de granulometría por emisión de rayos láser de bajo ángulo, realizado en la empresa Holcim en su laboratorio de Aguacaliente, Cartago. En la Tabla 25 se muestra el cumplimiento de las granulometrías.

Tabla 25: Granulometría para los rellenos minerales para ser utilizados en lechadas asfálticas: cemento y cal.

Tamiz	Cal	Cemento	Porcentaje pasando
1,18 mm	100	100	100
600 µm	100	100	97 – 100
300 µm	100	100	95 – 100
75 µm	100	100	70 – 100

Fuente: Laboratorio de Holcim Aguacaliente de Cartago, 2009

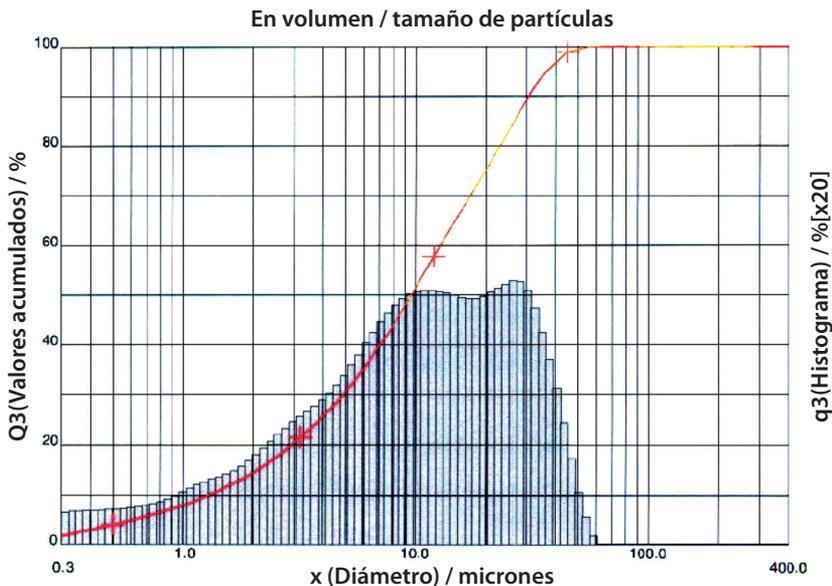


Figura 20. Distribución granulométrica para el cemento.
Fuente: Laboratorio de Holcim Aguacaliente de Cartago, 2009

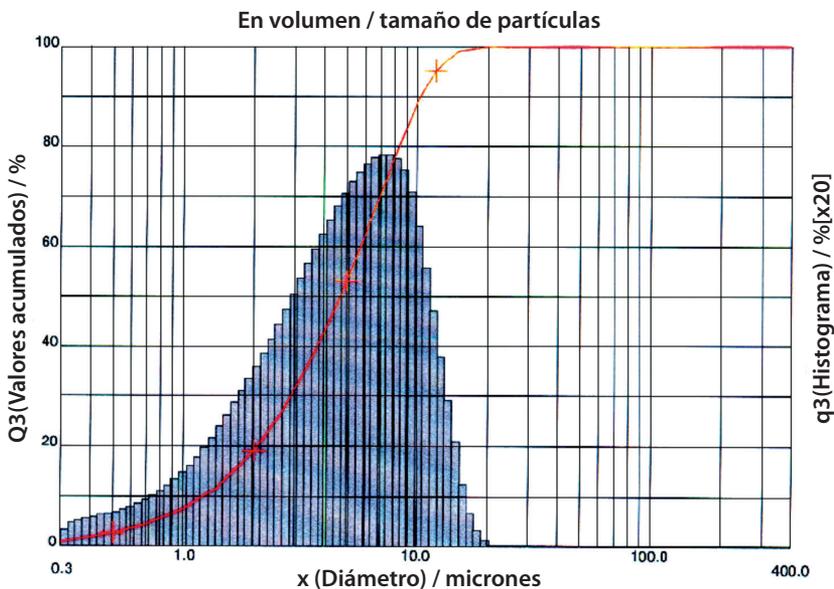


Figura 21. Distribución granulométrica para la cal.
Fuente: Laboratorio de Holcim Aguacaliente de Cartago, 2009



LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
C.P. 11501-2060, San José, Costa Rica

Tel.: (506) 2511-2500 / Fax.: (506) 2511-2500 - 4440

Email: direccion.lanamme@ucr.ac.cr / Web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>