

Proyecto N° UI-02-09

**IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA Y
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO PARA LOS SELLOS DE LECHADA ASFÁLTICA (SLURRY SEALS) EN
COSTA RICA**

Informe Final para uso interno

Preparado por
Unidad de Investigación (UI)

Ing. Mónica Jiménez Acuña

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 2511 4965
E-mail: monica.jimenez@ucr.ac.cr

Ing. Andrea Ulloa Calderón

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 2511 4965
E-mail: andrea.ulloacalderon@ucr.ac.cr

Doris Molina Zamora

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 2511 4994
E-mail: asistenteui@lanamme.ucr.ac.cr

San José, Costa Rica

Abril 2010

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Justificación e importancia	7
1.2 Introducción	7
1.3 Objetivo General.....	8
1.4 Objetivos específicos.....	8
1.5 Esquema experimental	9
CAPÍTULO 2 Descripción de ensayos y equipos de laboratorio	11
2.1 Ensayos para emulsiones asfálticas.....	11
□ Emulsiones catiónicas.....	11
2.1.1 Muestreo de emulsiones	12
2.1.2 Viscosidad Saybolt Furol.....	13
2.1.3 Estabilidad al almacenamiento	14
2.1.4 Demulsibilidad.....	14
2.1.5 Recubrimiento y resistencia al agua	14
2.1.6 Mezclado de la emulsión asfáltica	15
2.1.7 Ensayo del porcentaje retenido en el tamiz de 850 µm (Nº 20)	15
2.1.8 Destilación del residuo y aceite	15
2.1.9 Ensayos al residuo de asfalto	15
2.2 Ensayos para los agregados.....	16
2.2.1 Muestreo y cuarteo de agregados	18
2.2.2 Granulometría.....	18
2.2.3 Partículas planas y elongadas.....	19
2.2.4 Caras fracturadas	19
2.2.5 Equivalente de arena.....	20
2.2.6 Abrasión de Los Ángeles.....	20
2.2.7 Sanidad	20
2.2.8 Azul de metileno.....	21
2.2.9 Pulimento acelerado.....	21
2.3 Ensayos para los sellos de lechada asfáltica “Slurry seals”	21
2.3.1 Muestreo de sellos de lechada asfáltica “slurry seals”.....	22
2.3.2 Resumen del diseño de mezcla	23

2.3.3	Ensayo de consistencia	24
2.3.4	Cohesión	24
2.3.5	Exceso de asfalto usando la rueda cargada Load Wheel Tester (LWT)	25
2.3.6	Desnudamiento por humedad.....	26
2.3.7	Pérdida por abrasión	26
2.3.8	Mezclas de prueba para establecer tiempos de rompimiento, curado y aparición	27
2.3.9	Compatibilidad Schulze-Breuer y Ruck	28

CAPÍTULO 3 Especificaciones para los componentes y la mezcla de lechada asfáltica 29

3.1	Emulsión asfáltica.....	29
3.2	Agregado.....	29
3.3	Agua.....	31
3.4	Relleno mineral.....	31
3.5	Mezclas de lechada asfáltica “slurry seals”	31

CAPÍTULO 4 Caracterización de la emulsión asfáltica, agregado y aditivos utilizados... 33

4.1	Emulsión asfáltica CSS-1h	33
4.2	Agregado 1	34
4.3	Aditivos.....	35

CAPÍTULO 5 Implementación de los ensayos para los sellos de lechada asfáltica 37

5.1	Ensayo de consistencia ISSA TB 106	37
5.1.1	Resultados para el Agregado 1.....	38
5.2	Ensayo de desnudamiento ISSA TB 114	41
5.2.1	Resultados Agregado 1 A.....	42
5.2.2	Resultados Agregado 1 B	43
5.3	Ensayo de tiempo de mezclado y tiempo “set” ISSA TB 113.....	45
5.3.1	Resultados Agregado 1	46
5.4	Ensayo de Cohesión ISSA TB 139	48
5.4.1	Resultados Agregado 1.....	49
5.5	Ensayo de rueda cargada ISSA TB 109.....	50
5.5.1	Resultados Agregado 1	51

5.6 Ensayo de pista húmeda ISSA TB 100.....	53
5.6.1 Resultados Agregado 1	54
5.7 Ensayo de compatibilidad Schulze-Breuer ISSA TB 144.....	55
5.7.1 Resultados Agregado 1	57
CAPÍTULO 6 Conclusiones y recomendaciones	58
6.1 Conclusiones	58
6.2 Recomendaciones	58
CAPÍTULO 7 Referencias.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de métodos de ensayo que se realizan en emulsiones catiónicas	12
Tabla 2: Métodos de ensayo para los agregados que se utilizan para “slurry seals”	17
Tabla 3: Métodos de ensayo para el diseño de mezcla de los sellos de lechada asfáltica. ...	22
Tabla 4: Especificación para la emulsión catiónica, utilizada en el diseño de slurry seal.	29
Tabla 5: Resumen de especificaciones para los agregados finos, utilizados en la construcción de slurry seal.	30
Tabla 6: Resumen de especificaciones granulométricas para los agregados finos que se utilizan en la construcción de slurry seal.	30
Tabla 7: Resumen de especificaciones granulométricas para los rellenos minerales para ser utilizados en slurry seals.	31
Tabla 8: Especificaciones de calidad para las mezclas de lechada asfáltica.	31
Tabla 9: Caracterización de la emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento, CSS-1h...	34
Tabla 10: Caracterización del Agregado 1	34
Tabla 12: Granulometría para los rellenos minerales para ser utilizados en slurry seals: cemento y cal.	35
Tabla 13: Resultados de consistencia para el Agregado 1 sin aditivo.	39
Tabla 14: Resultados de consistencia para el Agregado 1 con 1% cal.	39
Tabla 15: Resultados de consistencia para el Agregado 1 con 2 % cal.	39
Tabla 16: Resultados de consistencia para el Agregado 1 con 1 % cemento.	40
Tabla 17: Resultados de consistencia para el Agregado 1 con 2 % cemento.	40
Tabla 18: Resultados de contenido óptimo de emulsión y agua para el Agregado 1.	41
Tabla 19: Resultados de desnudamiento para el Agregado 1.	42
Tabla 20: Resultados de desnudamiento para el Agregado 1 repetición.	43
Tabla 21: Resultados de tiempo de mezclado para el Agregado 1.	46
Tabla 22: Resultados de tiempo de set para el Agregado 1.	46
Tabla 23: Resultados de flotación y adhesión interna para el Agregado 1	46
Tabla 24: Resultados de rueda cargada para el Agregado 1.	52
Tabla 25: Resultados de pista húmeda para el Agregado 1.	54
Tabla 26: Resultados de compatibilidad para el Agregado 1.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema experimental utilizado en el proyecto.....	10
Figura 2: Ejemplos de contenedores para el muestreo de emulsión asfáltica.....	13
Figura 3: Equipo de ensayo para viscosidad Saybolt Furol.	13
Figura 4: Extracción y producción del Agregado 1.....	17
Figura 5: Definición gráfica de cara fracturada.	19
Figura 6: Ejemplo de muestreo de mezcla de lechada asfáltica.	23
Figura 7: Ensayo de consistencia para slurry seals.	24
Figura 8: Equipo para medir la cohesión en slurry seals.	25
Figura 9: Ensayo de exceso de asfalto con rueda cargada.	26
Figura 10: Ensayo de abrasión con el equipo de pista.	27
Figura 11: Ensayo de compatibilidad con el equipo Schulze-Breuer y Ruck.	28
Figura 12: Rangos de curvas granulométricas para los tres tipos de slurry seals.	30
Figura 13: Producción de emulsión asfáltica en el laboratorio.	33
Figura 14: Curva granulométrica para el Agregado 1.....	35
Figura 15: Distribución granulométrica para el cemento.	36
Figura 16: Distribución granulométrica para la cal.	36
Figura 17: Ensayo de consistencia.....	37
Figura 18: Ensayo de consistencia para el Agregado 1.	40
Figura 19: Ensayo de desnudamiento.	42
Figura 20: Ensayo de desnudamiento Agregado 1 B.	44
Figura 21: Ensayo de tiempo de mezclado y set Agregado 1.	47
Figura 22: Ensayo de cohesión.....	48
Figura 23: Ensayo de cohesión Agregado 1.	50
Figura 24: Ensayo de rueda cargada.....	51
Figura 25: Ensayo de rueda cargada para el Agregado 1 con menor peso.....	52
Figura 26: Rueda dañada por el peso de 57 kg.....	53
Figura 27: Ensayo de pista húmeda.....	54
Figura 28: Ensayo de pista húmeda Agregado 1.....	55
Figura 29: Ensayo de compatibilidad Schulze-Breuer.....	56

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación e importancia

Debido a la trascendencia de las diversas técnicas de preservación aplicadas en el mundo, y de los buenos resultados que se han obtenido al utilizarlas, se considera importante que en nuestro país se inicie con la revisión e implementación de los ensayos de laboratorio para las mezclas de lechada asfáltica.

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

En Costa Rica actualmente no se utiliza ninguna técnica de preservación, por lo tanto, es necesario implementar los ensayos de laboratorio tanto para el diseño así como para medir el desempeño del material, y así establecer la forma en la que se deben aplicar estos métodos en el control de calidad del producto en nuestro medio.

La implementación de nuevas tecnologías siempre sugiere un cambio en la forma en la que se plantean y se llevan a cabo las obras de pavimentación, por esta razón esta investigación brindará las bases para que esta alternativa de preservación influya de manera positiva en nuestro país.

1.2 Introducción

Luego de realizar el estudio bibliográfico para establecer la factibilidad de la aplicación de los sellos de lechada asfáltica en Costa Rica y concluir que sí es factible, es necesario continuar con el estudio de las características de estas mezclas, por lo tanto, se propone una segunda etapa de este estudio para la implementación de los ensayos de laboratorio para el diseño y evaluación del desempeño de estas mezclas.

En esta segunda etapa se propone realizar un diseño experimental de 4 factores y medir 7 variables respuesta. Los 4 factores son: tipo de emulsión, tipo de agregado, tipo de granulometría y la inclusión de aditivos, mientras que las variables respuesta son dosificación de agregado, emulsión y aditivos (mezclas de prueba y diseños de mezcla), consistencia, cohesión, exceso de asfalto con rueda cargada, desnudamiento, abrasión en pista húmeda y compatibilidad agregado-emulsión.

Se realizaron las mezclas de prueba para establecer las dosificaciones de los componentes y luego realizar los diseños de mezcla. Una vez establecidas las combinaciones óptimas, se realizaron los ensayos de consistencia, cohesión, exceso de asfalto con rueda cargada, desnudamiento, abrasión pista húmeda y compatibilidad agregado-emulsión para establecer cuáles mezclas presentan el mejor desempeño a nivel de laboratorio.

Dentro del esquema también se realizó una caracterización de los materiales que componen estas mezclas, es decir, de los agregados y de la emulsión.

Para una tercera etapa se propone realizar tramos de prueba a escala natural para medir el desempeño real de las mezclas para sellos que resultaron ser mejores según los resultados obtenidos en la segunda fase, bajo las condiciones reales de clima y tránsito.

1.3 Objetivo General

Implementar los ensayos de laboratorio para el diseño de mezcla y evaluar el desempeño para las mezclas de lechada asfáltica que se utilizan para la colocación de sellos en pavimentos para Costa Rica.

1.4 Objetivos específicos

- Definir y establecer los factores experimentales y las variables respuesta para el diseño experimental, tanto para el diseño de mezcla como para la evaluación del desempeño.
- Establecer los ensayos de laboratorio para la caracterización de los componentes de la mezcla de lechada asfáltica: emulsión asfáltica y agregados.

- Definir y establecer las variables respuesta para el diseño de la mezcla: dosificación de agregado, emulsión y aditivos, mediante las mezclas de prueba y los diseños.
- Definir y establecer las variables respuesta en cuanto a desempeño de: consistencia, cohesión, exceso de asfalto con rueda cargada, desnudamiento, abrasión en pista húmeda y compatibilidad agregado-emulsión para las dosificaciones óptimas obtenidas en el tercer objetivo.
- Realizar los diseños de mezcla y analizar los resultados para las distintas combinaciones de factores establecidos.
- Seleccionar las mezclas que cumplan con los parámetros de diseño.
- Realizar los ensayos de desempeño y analizar los resultados para las mezclas con la dosificación óptima obtenidas en el sexto objetivo.
- Seleccionar cuáles son las mejores combinaciones de factores para obtener una mezcla de lechada asfáltica de buen desempeño a nivel de laboratorio.

1.5 Esquema experimental

A continuación en la Figura 1 se presenta un esquema experimental de cómo se realizó la investigación. Las casillas que están coloreadas de oscuro indican que se presentaron algunas limitaciones a la hora de realizar los ensayos que se describen más adelante en las secciones 5.4, 5.5 y 5.6 de este documento.

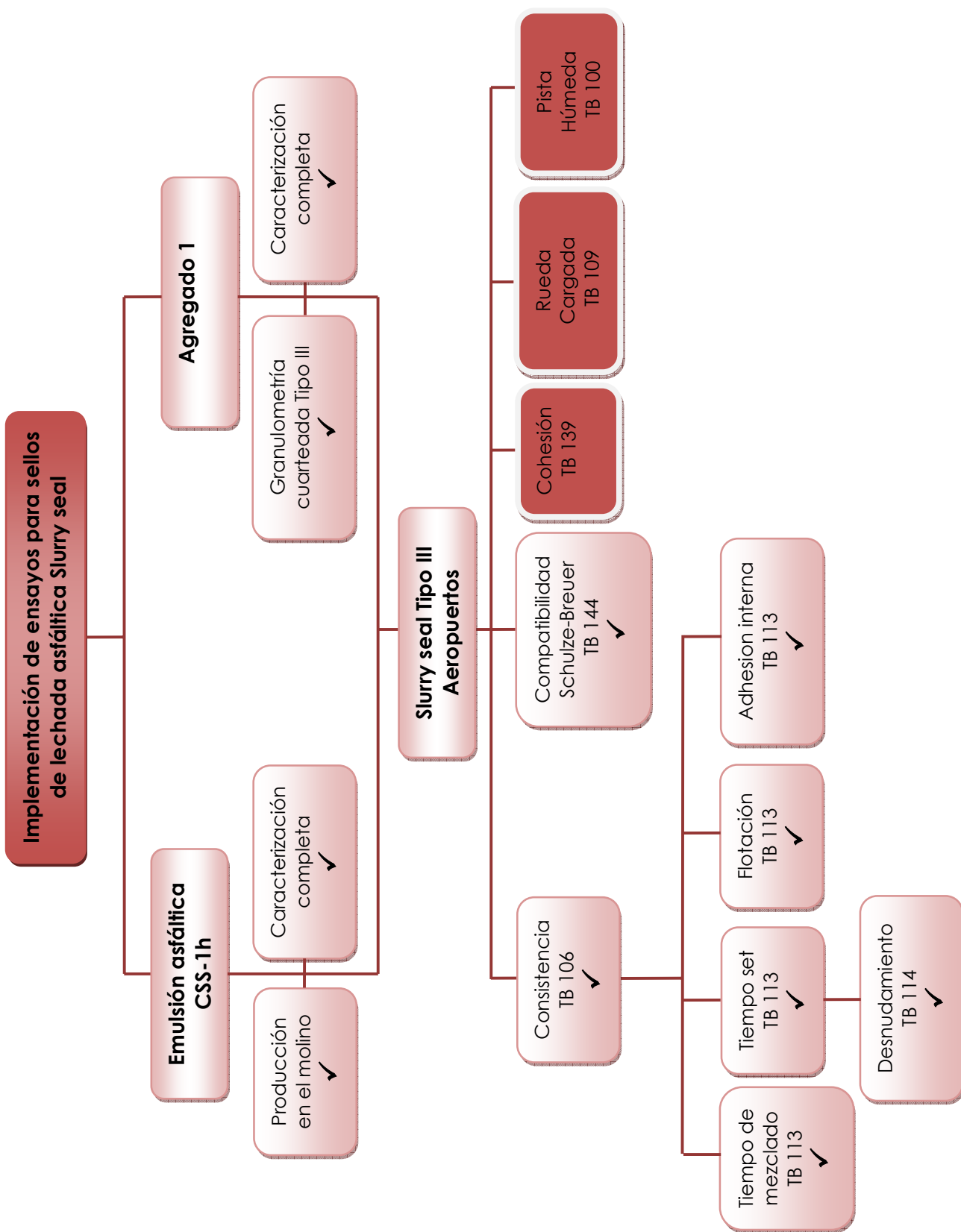


Figura 1: Esquema experimental utilizado en el proyecto.

CAPÍTULO 2 Descripción de ensayos y equipos de laboratorio

Los métodos de ensayo para la caracterización y el control de calidad de los “slurry seal” están establecidos en las normas internacionales AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), ASTM (American Society for Testing and Materials) y las más importantes por la ISSA (International Slurry Surfacing Association), organización encargada del tema a nivel internacional.

Existen ensayos para los componentes de los “slurry seal”, emulsiones/agregados, y otros que tienen que ver directamente con la mezcla del sello “slurry seals”.

2.1 Ensayos para emulsiones asfálticas

Los ensayos de laboratorio se realizan para medir ya sea el desempeño u otras características como composición, consistencia y estabilidad del material. El propósito de los ensayos es proveer datos para establecer el cumplimiento de especificaciones, también para controlar la calidad y uniformidad del producto durante la fabricación y uso, finalmente para predecir y controlar el manejo, el almacenamiento y las propiedades de desempeño en campo de las emulsiones. Las emulsiones asfálticas se clasifican en catiónicas y aniónicas. Los ensayos están diseñados para medir distintas propiedades a las emulsiones y residuos de la emulsión (asfalto residual).

Específicamente para este estudio se utilizó una emulsión catiónica de rompimiento lento del **tipo CSS-1h**.

• Emulsiones catiónicas

Para las emulsiones catiónicas los requisitos de ensayo se establecen en las normas AASHTO M 208 y ASTM D 2397. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los métodos de ensayo para este tipo de emulsiones.

Tabla 1: Resumen de métodos de ensayo que se realizan en emulsiones catiónicas

TIPO DE ENSAYO	DESIGNACIÓN AASHTO	DESIGNACIÓN ASTM
En la emulsión		
Selección y uso	R 5	D 3628
Muestreo	T 40	D 140
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C y 50 °C	T 59 (34-38) ¹	D 244 (34-38) ¹
Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24 h	T 59 (82-88) ¹	D 244 (82-88) ¹
Porcentaje de demulsibilidad en 35 ml de dioctil sulfosucinato de sodio al 0,8%	T 59 (39-44) ¹	D 244 (39-44) ¹
Recubrimiento y resistencia al agua en: Agregado seco, antes y después de lavado Agregado húmedo, antes y después de lavado	M 280 T 59 (74-81) ¹	D 2397 D 244 (74-81) ¹
Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico	M 280 T 59 (51-57) ¹	D 2397 D 244 (51-57) ¹
Porcentaje retenido en el tamiz N° 20	T 59 (58-63) ¹	D 244 (58-63) ¹
Tipo de carga eléctrica de la emulsión	T 59 (28-33) ¹	D 244 (28-33) ¹
Destilación Porcentaje de aceite destilado Porcentaje de residuo	T 59 (11-15) ¹ T 59 (21-27) ¹	D 244 (11-15) ¹ D 244 (21-27) ¹
En el residuo de la destilación (asfalto residual)		
Penetración a 25 °C	T 49	D 5
Ductilidad a 25 °C	T 51	D 113
Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno	T 44	D 2042
Flotabilidad	T 50	D 139

¹ Los números indicados en los paréntesis indican las secciones que aplican dentro del método de ensayo.

2.1.1 Muestreo de emulsiones

El propósito es obtener muestras representativas, para poder caracterizarlas y extrapolar estas características a las condiciones reales. El procedimiento estándar para el muestreo se describe en los métodos AASHTO T 40 o ASTM D 140 "Práctica estándar para el muestreo de materiales bituminosos".

Es preferible obtener las muestras en el punto de producción, manufactura o almacenamiento. Si eso no es posible entonces se debe muestrear en el punto de envío antes de la entrega del material. Los contenedores deben ser recipientes metálicos con tapa de sello por presión, o botellas de abertura ancha hechas de plástico, de tapa de rosca. El tamaño debe corresponder con la cantidad requerida de muestra, pero generalmente se utilizan contenedores de 4 litros (1 galón). (Ver Figura 2).



a. Galón plástico



b. Cubeta

Figura 2: Ejemplos de contenedores para el muestreo de emulsión asfáltica.

Es importante tener presente que, luego de llenar, sellar y limpiar los contenedores de las muestras, los mismos se deben identificar, no utilizar la tapa. Las muestras se deben enviar al laboratorio el mismo día que fueron tomadas.

Cada muestra debe identificarse con la siguiente información como mínimo:

- Fabricante, sitio de despacho, número de boleta de despacho
- Fecha de muestreo
- Nombre del técnico de muestreo
- Clasificación de la emulsión
- Otra información importante que sea necesaria

2.1.2 Viscosidad Saybolt Furol

La viscosidad es la resistencia al flujo de los fluidos y es una propiedad que afecta la trabajabilidad de la emulsión. La viscosidad se mide con el viscosímetro de Saybolt Furol (Figura 3), el resultado del ensayo se reporta en segundos. Además el ensayo se realiza a dos temperaturas: 25 °C y 50 °C. El método estándar está descrito en AASHTO T 59 o ASTM D 244 “Métodos de ensayo estándares para emulsiones asfálticas”.



Figura 3: Equipo de ensayo para viscosidad Saybolt Furol.

2.1.3 Estabilidad al almacenamiento

El ensayo indica la habilidad de la emulsión para mantenerse como una dispersión uniforme durante el almacenaje. Se detecta la tendencia de los glóbulos a asentarse en un periodo de tiempo de 24 horas. Se coloca un volumen establecido de emulsión en una probeta y se deja reposar, luego se toman muestras de la parte superior e inferior de la probeta. Se calcula el porcentaje de la diferencia del residuo de la parte superior e inferior. También se puede realizar el ensayo para un periodo de tiempo de 5 días. El ensayo se describe en el método AASHTO T 59 o ASTM D 244.

2.1.4 Demulsibilidad

El ensayo indica la tasa relativa a la cual los glóbulos coloidales de asfalto en la emulsión romperán cuando se esparce en una película delgada alrededor de los agregados o suelo. Así se determina si romperá rápido (RS, rapid setting) o de manera lenta (SS, slow setting). Esto se logra utilizando una disolución de dioctil sulfosucinato de sodio para emulsiones catiónicas o una disolución de cloruro de calcio para emulsiones aniónicas.

2.1.5 Recubrimiento y resistencia al agua

Este ensayo tiene tres propósitos, pues determina la capacidad de la emulsión para:

- Recubrir el agregado totalmente,
- Resistir la acción de mezclado mientras se mantiene como una película en el agregado, y
- Resistir la acción de lavado con agua luego de que se termina el proceso de mezclado.

Este ensayo se usa principalmente en emulsiones de rompimiento medio y para determinar un adecuado mezclado con agregados de tipo calcáreo, no se realiza en emulsiones de rompimiento rápido o lento. Se trata de un ensayo de inspección visual de recubrimiento luego de los tratamientos: mezclado con agregado seco, antes y después del lavado y agregado húmedo, antes y después del lavado.

2.1.6 Mezclado de la emulsión asfáltica

Es un ensayo de mezclado para identificar o clasificar emulsiones de rompimiento lento. Una muestra de emulsión es mezclada con cemento Pórtland Tipo III y la mezcla es lavada en un tamiz de 1.40 mm (Nº14), se indica la capacidad de la emulsión para mezclarse con materiales de una mayor área superficial sin romperse.

2.1.7 Ensayo del porcentaje retenido en el tamiz de 850 µm (Nº 20)

Este ensayo también es una medida de calidad y estabilidad de la emulsión. Una muestra de emulsión se hace pasar a través de un tamiz de 850 µm (Nº 20) y se mide la cantidad de partículas de asfalto u otros materiales retenidos. Por ejemplo, una cantidad excesiva de partículas puede indicar problemas en el manejo y aplicación de la emulsión.

2.1.8 Destilación del residuo y aceite

La destilación se utiliza para separar el agua del asfalto. Si el asfalto contiene aceite, este se separará junto con el agua. Se pueden medir las proporciones relativas de ligante asfáltico, agua y aceite. Como el asfalto se recupera se le pueden hacer ensayos adicionales al residuo para determinar las propiedades físicas.

La destilación se realiza aumentando la temperatura hasta llegar a 260 °C la cual debe mantenerse durante 15 minutos, es importante mencionar que la emulsión casi nunca se trabaja a esta temperatura por lo que es recomendable cambiar la temperatura y el tiempo del ensayo, pues se puede envejecer alterando las propiedades físicas del residuo de asfalto.

2.1.9 Ensayos al residuo de asfalto

Al residuo de asfalto se le realizan varias pruebas que también se le realizan al asfalto original, como el ensayo de gravedad específica AASHTO T 288 o ASTM D 70, de este ensayo resulta un dato que se utiliza para realizar correcciones a las medidas volumétricas a distintas temperaturas.

Otro ensayo es la medición de la penetración AASHTO T 49 o ASTM D 5, que es una medida de la dureza del residuo de asfalto a 25 °C, en la muestra del residuo se introduce una aguja con un peso estándar de 100 g durante 5 segundos. La penetración es la distancia que la aguja penetró en la muestra.

El ensayo de ductilidad AASHTO T 51 o ASTM D 113, mide la capacidad del asfalto para ser estirado hasta un hilo muy delgado. Se moldea una probeta y en un baño se lleva a la temperatura de ensayo, luego se estira a una velocidad constante, la elongación a la cual se corta el hilo es la ductilidad.

La solubilidad en tricloroetileno AASHTO T 49 o ASTM D 2042, es un ensayo que mide la porción bituminosa del residuo de asfalto. La parte soluble es la porción de ligante asfáltico mientras que la parte insoluble representa los contaminantes inorgánicos. El ensayo consiste en disolver el residuo, y las partes soluble e insoluble se separan por medio de filtración.

Finalmente, el ensayo de flotabilidad AASHTO T 50 o ASTM D 139 se realiza para determinar la resistencia al flujo del residuo a altas temperaturas. Se mide el tiempo que dura el tapón de asfalto en romperse dentro del molde, cuando el agua del baño pasa a través de él.

2.2 Ensayos para los agregados

El agregado que se utiliza para la fabricación de slurry seals 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, evitar las partículas elongadas y planas pues se alinean en su lado plano y no quedan totalmente recubiertas con el asfalto y quedan sueltas. El agregado redondeado, como agregado de río sin quebrar 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.

En la Tabla 2 se resumen los ensayos que se pueden realizar a los agregados que se utilizan para producir “slurry seal”.

Tabla 2: Métodos de ensayo para los agregados que se utilizan para “slurry seals”.

TIPO DE ENSAYO	DESIGNACIÓN AASHTO	DESIGNACIÓN ASTM	OTRA DESIGNACIÓN
Agregado			
Muestreo	T 2	D 75	
Cuarteo a tamaño de ensayo	T 248	C 702	
Granulometría	T 27 T 11	C 136 C 117	
Partículas planas y elongadas	-	D 4791	
Caras fracturadas	-	D 5821	
Equivalente de arena	T 176	C 2419	
Abrasión de los Ángeles	T 96	C 131	
Sanidad	T 104	C 88	
Azul de metileno	TP 57	C 837	TB N°145
Pulimento acelerado	-	-	NLT-174

Los agregados utilizados en esta fase experimental fueron obtenidos de una fuente:

Agregado 1: material extraído del Río Guápiles, en Guápiles Limón quebrado con impactador (Figura 4).



Figura 4: Extracción y producción del **Agregado 1**.

Tomado de: <http://www.mecocr.com/recursos/centros.php> 2010

2.2.1 Muestreo y cuarteo de agregados

El propósito del muestreo es obtener muestras representativas para poder caracterizarlas y que muestren las condiciones reales y la naturaleza de los agregados gruesos y finos. El procedimiento estándar para el muestreo se describe en los métodos AASHTO T 2 o ASTM D 75 "Práctica estándar para el muestreo de agregados".

El tamaño debe corresponder con la cantidad requerida de muestra, pero generalmente se muestrea más cantidad de la requerida. Se puede realizar el muestreo en el punto de producción, en el flujo de caída a las bandas o tolvas, en la banda transportadora, en los apilamientos o camiones de transporte, finalmente en el sitio de colocación del proyecto.

En cuanto al cuarteo, este es un procedimiento para reducir la muestra grande en submuestras, ya sea del agregado fino y grueso, para la realización de varios ensayos y así asegurar la representatividad del lote. El procedimiento de ensayo estándar se describe en los métodos AASHTO T 248 o ASTM C 702 "Reducción de las muestras de agregado a tamaño de ensayo".

2.2.2 Granulometría

El ensayo de granulometría se realiza para determinar la distribución de tamaños de las partículas gruesas y finas por medio del tamizado. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución de tamaños con las especificaciones de las distintas aplicaciones que tienen los agregados. Además este ensayo provee los datos necesarios para el control de la producción de las distintas aplicaciones que contienen agregados, por ejemplo, mezcla asfáltica en caliente, "slurry seal", mezclas en frío, entre otros.

El procedimiento se describe en los métodos AASHTO T 27 o ASTM C 136. Es importante destacar que para determinar el material más fino que 75 μm (N° 200) el procedimiento por tamizado no es tan exacto, por lo tanto, se debe utilizar el método de tamizado por lavado descrito en los métodos AASHTO T 11 o ASTM C 117 para encontrar de manera más exacta el contenido del material fino.

2.2.3 Partículas planas y elongadas

El ensayo se aplica a partículas de tamaños mayores de 4.75 mm (Nº 4). Las partículas individuales se miden para determinar la relación entre la dimensión máxima y la mínima y esta relación no debe ser mayor de 5, pues las partículas alargadas tienden a quebrarse durante la acción del tránsito y también existe la posibilidad que las caras planas queden sin recubrir bien por la emulsión. El método de ensayo que describe el procedimiento es ASTM D 4791, el resultado se expresa como el porcentaje por peso del agregado cuya relación es mayor de 5.

2.2.4 Caras fracturadas

El ensayo se utiliza para determinar el porcentaje en peso de agregado de más de 4.75 mm (Nº 4) con una o más caras fracturadas, que para sellos superficiales es de gran importancia pues entre más caras fracturadas tenga el agregado mayor será la estabilidad de los sellos y además proveen una mayor resistencia a la fricción y textura al pavimento.

Se considera una cara fracturada si la superficie proyectada de la cara fracturada es mayor al 25% del área del contorno proyectado de la partícula (Ver Figura 5). Así se asegura de descartar partículas redondeadas con pequeñas muescas como partículas quebradas. El procedimiento de ensayo está descrito en la norma ASTM D 5821.

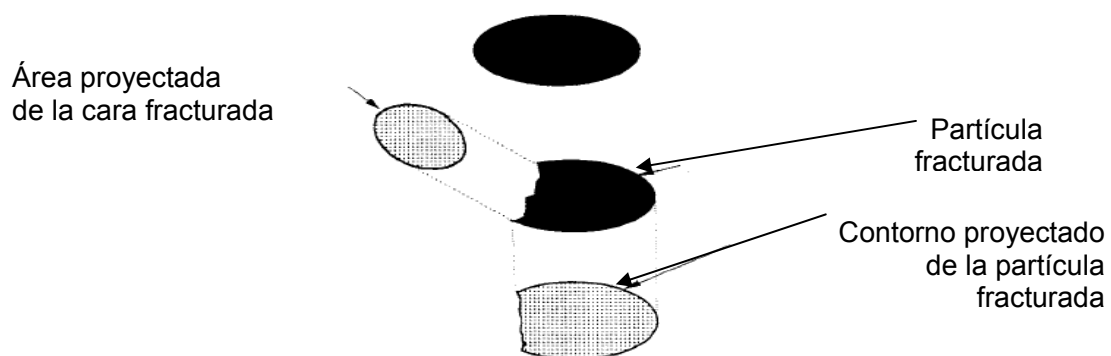


Figura 5: Definición gráfica de cara fracturada.

Figura adaptada de ASTM D 582.

2.2.5 Equivalente de arena

El ensayo sirve para determinar el contenido de arcilla presente en la fracción de agregado fino (material que pasa el tamiz de 4.75 mm (Nº4)). El material fino se agita en una solución floculante lo que provoca que las partículas de arcilla se separen y se suspendan por encima del material granular. Después de un periodo de reposo que permite la sedimentación, se miden la altura de arcilla suspendida y la altura de arena sedimentada, el equivalente de arena es el porcentaje del cociente de las lecturas anteriores. El método de ensayo se describe en las normas AASHTO T 176 o ASTM C 2419.

2.2.6 Abrasión de Los Ángeles

Este ensayo estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante la manipulación, construcción y servicio de los agregados. Se realiza sometiendo al agregado grueso, usualmente mayor de 2.36 mm a impacto y triturado por medio de esferas de acero. El resultado del ensayo es el porcentaje de pérdida, expresado como, el porcentaje en peso del material grueso degradado durante el ensayo como resultado de la acción mecánica. El método se describe en las normas AASHTO T 96 o ASTM C 131.

2.2.7 Sanidad

Las normas de ensayo son AASHTO T 104 o ASTM C 88. Este método calcula la resistencia del agregado al deterioro por la acción de los agentes climáticos, durante la vida útil del sello superficial. La durabilidad es el porcentaje de pérdida del material en una mezcla de agregados que son sometidos al ataque de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, el proceso consiste en sumergir los agregados en la solución y luego secarlos, ese es un ciclo que tiene que repetirse 5 veces. Los agregados se van quebrando por la acción de las sales que ejercen fuerzas de expansión internas dentro de los poros del agregado. Al final se calcula el porcentaje de pérdida con respecto a la masa inicial.

2.2.8 Azul de metileno

Las normas de ensayo son AASHTO TP 57 o ASTM C 837. También hay un método específico de la Asociación Internacional de Slurry Seals (ISSA según sus siglas en inglés), con el código TB N° 145. Este método se utiliza para cuantificar la cantidad de arcillas dañinas del grupo expansivas, materia orgánica e hidróxido de hierro presente en el agregado, que da un indicativo de la actividad superficial de un agregado dado.

2.2.9 Pulimento acelerado

La norma de ensayo que aplica es la norma española NLT – 174. Este método describe el procedimiento para establecer la susceptibilidad del agregado a pulirse por acción de las llantas de los automóviles. Se utiliza la máquina de pulimento acelerado que usa una rueda de hule macizo que gira sobre las muestras de agregado y a estas se les inyecta un abrasivo fino y grueso con agua para reproducir lo que sucede en el pavimento.

2.3 Ensayos para los sellos de lechada asfáltica “Slurry seals”

Los ensayos que se realizan directamente a los sellos de lechada asfáltica “slurry seals” tienen el propósito de establecer la dosificación óptima de la mezcla antes de la aplicación del material para poder seleccionar los materiales apropiados y obtener una mezcla donde los agregados y la emulsión sean compatibles. Los métodos están bajo la jurisdicción de la Asociación Internacional de Slurry Seals (ISSA según sus siglas en inglés).

A continuación se presenta la Tabla 3 donde se resumen los métodos que se deben de aplicar en el laboratorio para establecer la dosificación óptima de la mezcla que garantice un buen desempeño.

Tabla 3: Métodos de ensayo para el diseño de mezcla de los sellos de lechada asfáltica.

TIPO DE ENSAYO	DESIGNACIÓN ISSA	DESIGNACIÓN ASTM
Sello de lechada asfáltica "Slurry seal"		-
Muestreo	TB 101	-
Consistencia del slurry seal	TB 106	D 3910 sección 6.1
Cohesión a 30 min y 60 min	TB 139	-
Exceso de asfalto usando Load Wheel Tester	TB 109	-
Desnudamiento por humedad	TB 114	-
Pérdida por abrasión "pista húmeda"	TB 100	-
Mezclas de prueba para establecer tiempos de rompimiento, curado y apariencia	TB 113	-
Compatibilidad Schulze-Breuer y Ruck	TB 144	-
Guía para el diseño de mezcla	TB 111	-
Estimación de las tasas de esparcimiento y medición de la macrotextura	TB 112	-
Diseño, ensayos y construcción de "slurry seals"	-	D 3910

2.3.1 Muestreo de sellos de lechada asfáltica "slurry seals"

Para poder realizar el muestreo de la mezcla de lechada asfáltica, ésta debe fluir de manera continua y sin interrupción. La persona que está tomando la muestra, tiene que pasar el contenedor plástico de 1 galón a través del flujo continuo de mezcla de lechada asfáltica, recogiendo por lo menos ½ galón de mezcla.

Con un instrumento de agitación perforado para evitar que se acumule la emulsión alrededor del mismo, se tiene que agitar la mezcla recolectada a una velocidad constante para mantener todas las partículas en suspensión. Mientras continua agitando, verterá la mezcla cuidadosamente a una velocidad lenta pero constante, dentro de los dos contenedores de menor capacidad. Estos dos contenedores son tapados y transportados al laboratorio para realizar los ensayos. Cada contenedor debe ser tratado como una muestra separada y el técnico de laboratorio debe sacar todo el material del contenedor, sin perder asfalto o finos en las paredes del contenedor. El método se describe en el documento ISSA TB 101. (Ver Figura 6).



a. Contenedor plástico con extensión



b. Lugar de muestreo



c. Toma de muestra en el flujo continuo



d. Muestra para ensayar

Figura 6: Ejemplo de muestreo de mezcla de lechada asfáltica.

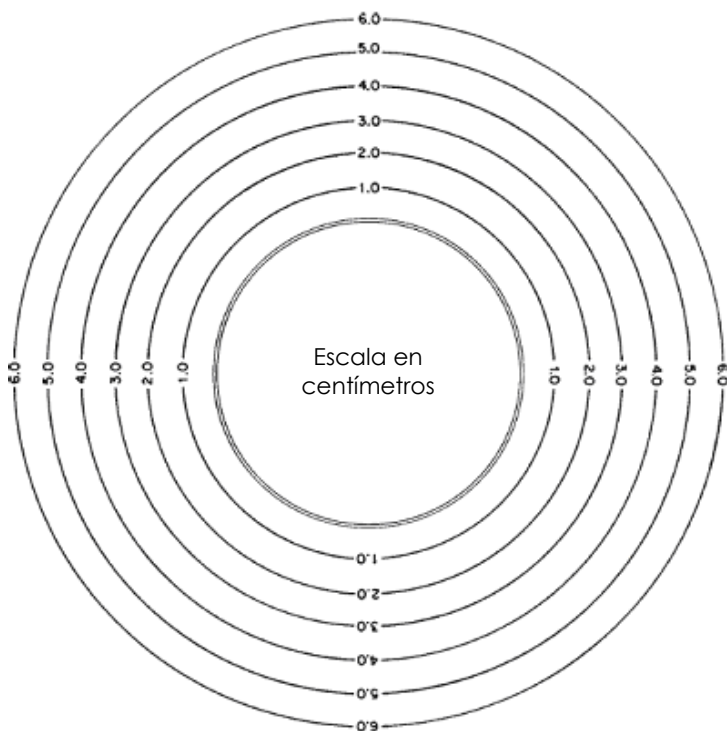
Tomado de la presentación "Sampling & Testing Slurry and Micro-surfacing Mix" de Nigel Kerrison, 2005

2.3.2 Resumen del diseño de mezcla

Esta es una guía para el diseñador de los sellos de lechada asfáltica, que contiene todo lo que se debe considerar antes de realizar el diseño de mezcla, se toma en cuenta la condición inicial del pavimento a ser tratado con el sello, la elección de los agregados y la emulsión. Luego se establecen, los procedimientos a realizar para encontrar la fórmula de trabajo, luego los ensayos a realizar a la mezcla de lechada asfáltica y finalmente la elección del diseño óptimo. También contiene un ejemplo de cómo se "traduce" el diseño de laboratorio a las cantidades a utilizar en campo. El método se describe en el documento ISSA TB 111.

2.3.3 Ensayo de consistencia

El ensayo de consistencia determina el contenido de agua óptimo para diseño, para fabricar una mezcla de lechada asfáltica estable y trabajable. Un flujo entre 2 y 3 cm se considera el óptimo para obtener una mezcla de una consistencia normal que la hace trabajable en el lugar de la pavimentación. El método consiste en llenar un cono similar al que se utiliza para la densidad y gravedad específica de los agregados finos y se debe colocar en una base con círculos concéntricos de dimensiones establecidas (Figura 7a) luego se mide la distancia que la lechada asfáltica se desplaza sobre los círculos, el diámetro que se extiende la mezcla se denomina flujo. El método se describe en el documento ISSA TB 106 o ASTM D 3910 sección 6.1.



a. Figura extraída de ASTM D 3910 Fig. 1



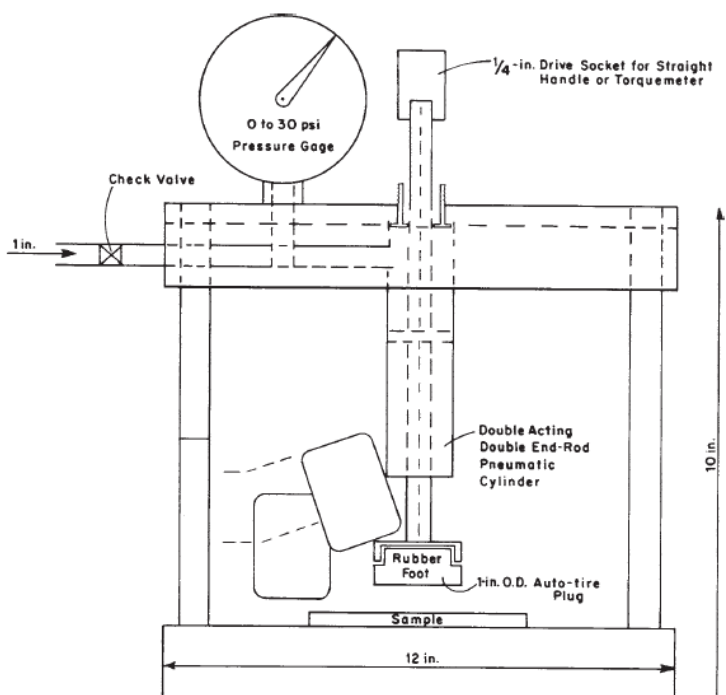
b. Consistencia de la lechada asfáltica
Figura tomada de
<http://www.slurry.com/images/generalpres80.jpg>

Figura 7: Ensayo de consistencia para slurry seals.

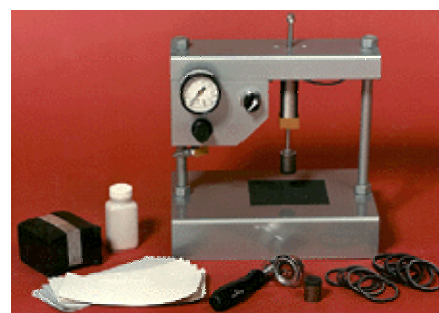
2.3.4 Cohesión

Este método se utiliza para medir el tiempo de rompimiento y curado (tiempo de tránsito) de la mezcla de lechada asfáltica "slurry seal", se coloca la muestra en el equipo de cohesión

(Modified Cohesion Tester, ver Figura 8) y se aplica una presión de 200 kPa, el pie de hule se gira en un torque que es medido a lo largo del tiempo. Se registra el gráfico del comportamiento del torque en función del tiempo. El tiempo de rompimiento es cuando la lechada asfáltica luego de moldeada no puede ser homogenizada nuevamente, también cuando no hay desplazamiento lateral después de compactado el espécimen, o cuando la superficie del slurry es presionada con una toalla y esta no queda manchada. El tiempo de curado es cuando se llega a un nivel de torque de 20 kg · cm. También están establecidos los parámetros de torque para los sistemas de rompimiento acelerado (QS). El método se describe en el documento ISSA TB 139.



a. Figura extraída de ASTM D 3910 Fig. 2



b. Equipo de cohesión modificado
Figura tomada de
<http://www.mastrad.com/cotest0204.gif>

Figura 8: Equipo para medir la cohesión en slurry seals.

2.3.5 Exceso de asfalto usando la rueda cargada Load Wheel Tester (LWT)

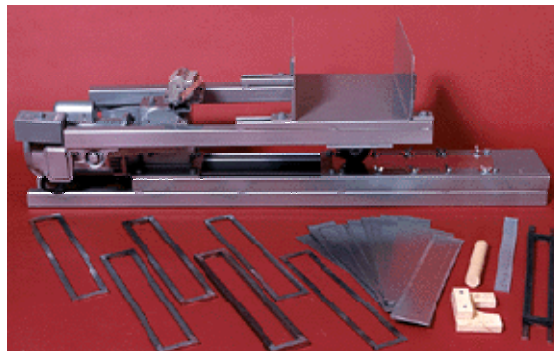
La prueba de la rueda cargada está diseñada para compactar el agregado fino de las mezclas bituminosas tales como sellos de lechada asfáltica "slurry seal", por medio de la rueda de hule cargada. La prueba puede ser usada para establecer los límites máximos de contenido de asfalto y permite al diseñador de la mezcla evitar la separación del asfalto y el agregado bajo cargas de tránsito pesado produciendo exudación. El ensayo consiste en

hacer pasar una rueda sobre un espécimen rectangular con una cantidad establecida de ciclos, a una velocidad de 44 ciclos por minuto. El exceso de asfalto es cuando se nota en el espécimen un brillo (Ver Figura 9) y se registra el ciclo en el cual esto se comenzó a dar. El método se describe en el documento ISSA TB 109.



a. Brillo de la muestra
Figura tomada de

<http://www.slurry.com/images/generalpres87.jpg>



b. Equipo de rueda cargada
Figura tomada de

<http://www.mastrad.com/lwt0204.gif>

Figura 9: Ensayo de exceso de asfalto con rueda cargada.

2.3.6 Desnudamiento por humedad

El propósito de este método de ensayo es establecer el efecto de la presencia de agua en las mezclas de lechada asfáltica, y establecer cuál dosificación mantiene las partículas recubiertas con asfalto. Se obtiene una muestra del ensayo de consistencia, y la mezcla se introduce en un recipiente con agua hirviendo durante 3 minutos. Luego se examinan las partículas para observar el recubrimiento de las mismas con asfalto. El método se describe en el documento ISSA TB 114.

2.3.7 Pérdida por abrasión

La mezcla recién preparada es colada y cortada al ras sobre la abertura circular del molde especificado apoyado sobre un anillo de fieltro grueso para techos.

Después de remover el molde, el espécimen es curado por secado a masa constante a una temperatura de 60 °C. El espécimen de slurry es sumergido en un baño de agua a 25 °C por un periodo de 1 hora (o 6 días para la clasificación del sistema), después se erosiona mecánicamente bajo el agua con una zapata de hule que gira sobre el espécimen, por un tiempo específico (5 minutos). El espécimen erosionado se lava para dejarlo sin material

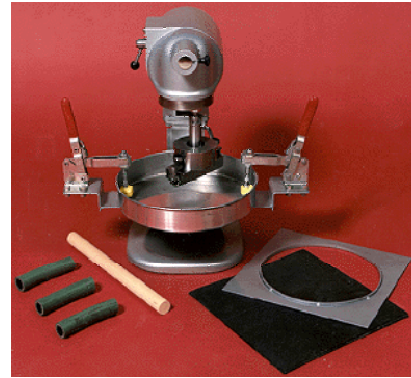
suelto, luego se seca a 60 °C y se pesa. La pérdida de peso se expresa en gramos totales perdidos o en gramos perdidos por unidad de área como gramos por metro cuadrado. El método se describe en el documento ISSA TB 100. (Ver Figura 10)



a. Muestras para ensayar

Figura tomada de

<http://www.slurry.com/images/generalpres83.jpg>



b. Equipo para realizar el ensayo

Figura tomada de

<http://www.mastrad.com/wtat0204.gif>



c. Ensayo de abrasión

Figura tomada de

<http://www.slurry.com/images/generalpres85.jpg>

Figura 10: Ensayo de abrasión con el equipo de pista.

2.3.8 Mezclas de prueba para establecer tiempos de rompimiento, curado y apariencia

Este es un procedimiento para fabricar mezclas de lechada asfáltica para determinar porcentajes de dosificación de los componentes de la mezcla mediante la variación de los porcentajes de composición y establecer los siguientes parámetros: rigidización de la mezcla, tiempo de rompimiento o agotamiento de emulsión libre (tiempo de mezclado después de agregar la emulsión); tiempo de rompimiento de la presión sobre el espécimen con papel toalla y registrar el tiempo de aclarado del agua; tiempo de tránsito (ISSA TB N° 139 Ensayo de Cohesión); apariencia de la mezcla curada (color, resistencia a la fractura (tenacidad), adhesión del sustrato) y finalmente realizar el ensayo de adhesión en humedad

o de desnudamiento, % recubierto (ISSA TB N° 114, 3 minutos de adhesión en agua hirviendo). Todo lo anterior para los distintos especímenes, para las distintas combinaciones de los compuestos de la mezcla. El método se describe en el documento ISSA TB 113.

2.3.9 Compatibilidad Schulze-Breuer y Ruck

Este método de prueba cubre la determinación de la compatibilidad relativa entre el agregado de graduación específica y la emulsión asfáltica, asfalto residual o bitumen. Se prepara la mezcla y se moldea un espécimen que luego se somete a un acondicionamiento en agua por 6 días, luego se introduce en el tubo cilíndrico del equipo que se llena con agua y la mezcla se somete a abrasión con ayuda del equipo Schulze-Breuer y Ruck (Ver Figura 11). Una vez hecho la anterior, la muestra se somete a ebullición y luego se seca. Se reporta la absorción, la pérdida por abrasión, la adhesión (porcentaje de recubrimiento) y la integridad. El método se describe en el documento ISSA TB 144.



a. Muestras ensayadas
Figura tomada de

<http://www.slurry.com/images/generalpres90.jpg>



b. Equipo para realizar el ensayo
Figura tomada de

<http://www.slurry.com/images/generalpres88.jpg>



c. Vista interior del equipo Schulze-Breuer
Figura tomada de

<http://www.slurry.com/images/generalpres89.jpg>

Figura 11: Ensayo de compatibilidad con el equipo Schulze-Breuer y Ruck.

CAPÍTULO 3 Especificaciones para los componentes y la mezcla de lechada asfáltica

3.1 Emulsión asfáltica

Se entiende como emulsión asfáltica a la dilución en agua de un ligante asfáltico, a partir del uso de agentes emulsificantes, de conformidad con los requisitos de AASHTO.

(a) Emulsión asfáltica catiónica. Debe cumplir con lo establecido en la norma AASHTO M 208 o ASTM D 2397. Los aspectos más importantes se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Especificación para la emulsión catiónica, utilizada en el diseño de slurry seal.

TIPO DE ENSAYO	CSS-1h	
	mín	máx
En la emulsión		
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C (seg)	20	100
Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24 h (%)		1
Ensayo de la carga de la partícula		positiva
Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico (%)		2.0
Porcentaje retenido en el tamiz (%)		0.10
Destilación		
Porcentaje de residuo (%)	57	3
Aceite (%)		
En el residuo de la destilación		
Penetración a 25 °C	40	90
Ductilidad a 25 °C (cm)	40	
Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (%)	97.5	

NA: No aplica.

Adaptada de AASHTO M 208 ("Table 1 Requirements and typical applications for cationic emulsified asphalt")

3.2 Agregado

Se pueden utilizar como agregado fino, arenas naturales o fabricadas, cenizas, finos del proceso de trituración, u otros agregados minerales que cumplan con la especificación AASHTO M 29. En la Tabla 5 se resumen las especificaciones para los agregados finos que se deben utilizar en la fabricación de slurry seals.

Los agregados deben cumplir además con los rangos granulométricos establecidos, para obtener una mezcla de lechada asfáltica de acuerdo con el tipo de uso que se requiera. En la Tabla 6 se resumen los tres tipos de granulometría y también se muestran de manera gráfica en la Figura 12. La tolerancia de desviación de la granulometría en cada tamiz también se muestra en la Tabla 6.

Tabla 5: Resumen de especificaciones para los agregados finos, utilizados en la construcción de slurry seal.

Ensayo	Especificación
Granulometría AASHTO T 27 y T 11	Tabla 6
Abrasión Los Ángeles, AASHTO T 96	35 % máx
Equivalente de arena, AASHTO T 176	45 % min ¹
Durabilidad por acción de los sulfatos, AASHTO T 104	15 % máx (Sodio) 25 % máx (Magnesio)
Azul de metileno	10 mg/g máx (Basalto) 7 mg/g máx (Arenisca)

¹En el estado de California el equivalente de arena está especificado dependiendo del tipo de lechada, Tipo I: 45%, Tipo II: 55% y Tipo III: 60%

Tabla 6: Resumen de especificaciones granulométricas para los agregados finos que se utilizan en la construcción de slurry seal.

Tipo de sello de lechada asfáltica	I	II	III	Tolerancia en el apilamiento
9.5 mm	-	100	100	-
4.75 mm	100	90 – 100	70 – 90	± 5 %
2.36 mm	90 – 100	65 – 90	45 – 70	± 5 %
1.18 mm	65 – 90	45 – 70	28 – 50	± 5 %
600 µm	40 – 65	30 – 50	19 – 34	± 5 %
300 µm	25 – 42	18 – 30	12 – 25	± 4 %
150 µm	15 – 30	10 – 21	7 – 18	± 3 %
75 µm	10 – 20	5 – 15	5 – 15	± 2 %
Uso	Relleno de grietas y sellos finos	Sellos en general y superficies con textura media	Superficie de mayor textura	

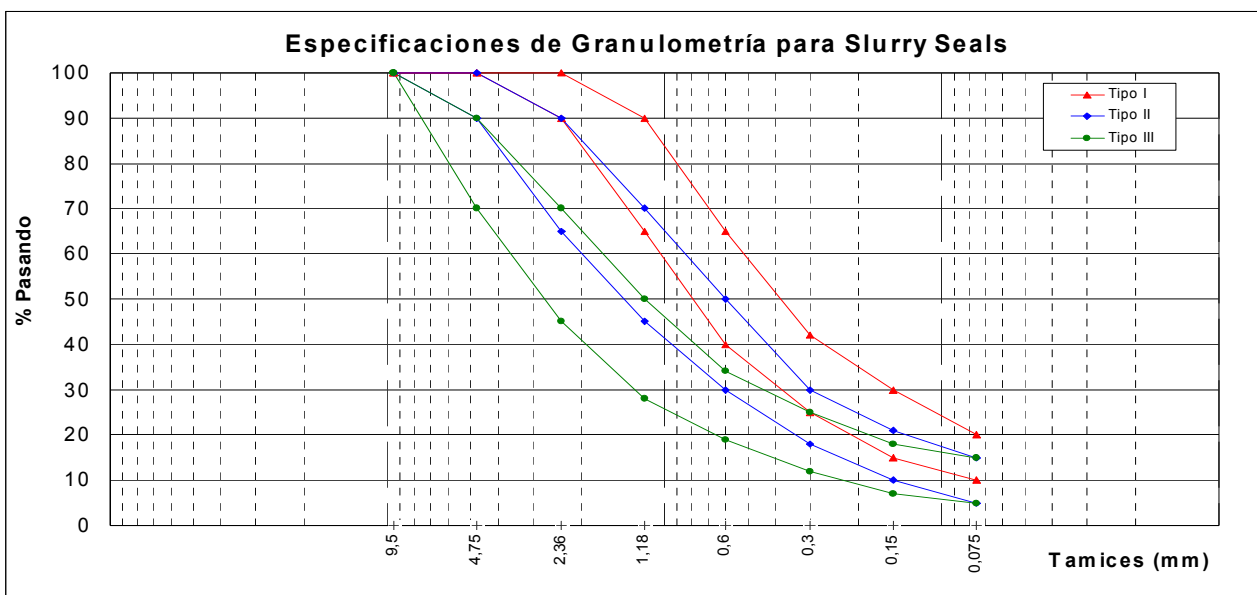


Figura 12: Rangos de curvas granulométricas para los tres tipos de slurry seals.

3.3 Agua

El agua que se debe utilizar para la fabricación de los slurry seals debe cumplir con los requerimientos de la especificación AASHTO M 157, es decir, debe estar libre de aceites, ácidos, álcalis, materias orgánicas u otras sustancias contaminantes. No debe ser agua salada y salobre. 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.

3.4 Relleno mineral

Debe estar de acuerdo con la especificación AASHTO M 17, el relleno mineral debe consistir en una matriz de agregado mineral como polvo de roca, cenizas, cal hidratada, cemento hidráulico, cenizas volantes, 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. Debe tener, además, la granulometría que se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Resumen de especificaciones granulométricas para los rellenos minerales para ser utilizados en slurry seals.

Tamiz	Porcentaje pasando
1.18 mm (N° 16)	100
600 µm (N° 30)	97 – 100
300 µm (N° 50)	95 – 100
75 µm (N° 200)	70 – 100

3.5 Mezclas de lechada asfáltica “slurry seals”

Las especificaciones para la lechada asfáltica están relacionadas con el diseño de la mezcla. En la Tabla 8 se muestra el resumen de las características que se deben cumplir para obtener una mezcla de lechada asfáltica de buen desempeño.

Tabla 8: Especificaciones de calidad para las mezclas de lechada asfáltica.

TIPO DE ENSAYO	DESIGNACIÓN ISSA	Especificación
Consistencia del slurry seal	TB 106	2 cm mínimo 3 cm máximo
Cohesión a 30 min Cohesión a 60 min (Para sistemas para acelerar el tránsito)	TB 139	12 kg-cm mínimo 20 kg-cm mínimo

Tabla 8: Especificaciones de calidad para las mezclas de lechada asfáltica.

Exceso de asfalto usando Load Wheel Tester (Para áreas de tránsito pesado)	TB 109	538 g/m ² máximo
Desnudamiento por humedad	TB 114	Pasa (>90% mínimo)
Pérdida por abrasión "pista húmeda"	TB 100	807 g/m ² máximo
Mezclas de prueba para establecer: Tiempo de mezclado Tiempo de set	TB 113	No mayor a 5 min No menor a 3 min

Es importante tomar en cuenta que las especificaciones mostradas en las tablas anteriores, poseen ciertos niveles de tolerancia a continuación se detallan las que se consideran más importantes:

- Después de que se determina el contenido de asfalto residual de diseño, se permite una variación de ± 1 % durante la producción.
- El porcentaje de agregado pasando cada malla deber estar dentro del rango de tolerancia del apilamiento como se indica en la Tabla 6.
- Para mallas sucesivas, el porcentaje de agregado pasando no debe estar ubicado en los límites extremos opuestos, por ejemplo en la granulometría Tipo III, que se muestra en la Tabla 6 si el porcentaje pasando en el tamiz 4.75 mm (Nº 4) es 95 %, el porcentaje pasando el tamiz 2.36 mm (Nº 8) no debe ser 40 %.
- La consistencia de la lechada asfáltica no debe variar en ± 0.5 cm (± 0.2 in) de la fórmula de trabajo después de los ajustes en el sitio de la obra.
- La tasa de aplicación, una vez determinada no debe variar en ± 1.1 kg/m² (± 2 lb/yd²) manteniéndose dentro de la tasa de aplicación del diseño.

CAPÍTULO 4 Caracterización de la emulsión asfáltica, agregado y aditivos utilizados

4.1 Emulsión asfáltica CSS-1h

La emulsión asfáltica utilizada en este estudio fue fabricada en el LanammeUCR con el molino coloidal (Figura 13) con la siguiente formulación: 67.4 % de asfalto tipo AC-30 y 32.6 % de emulsificante de tipo catiónico lento de la casa Akzo Nobel cuya marca registrada es Redicote®.

Las condiciones de producción fueron las siguientes:

- Temperatura de trabajo: 75 °C.
- Tiempo de mezclado: hasta obtener total homogeneidad (cerca de 100 min).
- Sistema de mezclado: molino coloidal.
- Envasado: galones plásticos.
- Bomba: 1800 rpm.
- Molino: 4000 rpm.
- pH: 2.0 Uph.



Figura 13: Producción de emulsión asfáltica en el laboratorio.

En la Tabla 9 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 9: 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)	53.2 ± 0.1	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 de mezclado del cementante asfáltico (%)	NR		2.0
Porcentaje retenido en el tamiz (%)	0.139 ± 0.001		1.0
Destilación			
Porcentaje de residuo (%)	67.4 ± 0.9	57	
Aceite (%)	1.5 ± 0.8		3
En el residuo de la destilación			
Penetración a 25 °C	70 ± 1	40	90
Ductilidad a 25 °C (cm)	88 ± 9	40	
Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (%)	99.5 ± 0.1	97.5	

NR: no se realizó esta prueba

Fuente: Las autoras

4.2 Agregado 1

La caracterización del Agregado 1 se presenta en la Tabla 10, donde se resumen los resultados de laboratorio y el cumplimiento con las especificaciones.

Tabla 10: Caracterización del **Agregado 1**.

Ensayo	Resultados	Especificación
Abrasión Los Ángeles, Tipo C	21.21	35 % máx
Equivalente de arena	78.5	45 % min ¹
Durabilidad por acción de los sulfatos	2.20	15 % máx (Sodio)
Ensayo de pulimento	0.57	0.50 mín ²
Azul de metileno	5.83	7 máx

¹En el estado de California el equivalente de arena está especificado dependiendo del tipo de lechada, Tipo I: 45 %, Tipo II: 55 % y Tipo III: 60 %

²Especificación española para T0 y T1.

Fuente: Las autoras

En la Figura 14 se muestra la granulometría utilizada del Agregado 1 y su cumplimiento con la especificación granulométrica de los sellos de lechada asfáltica de Tipo III.

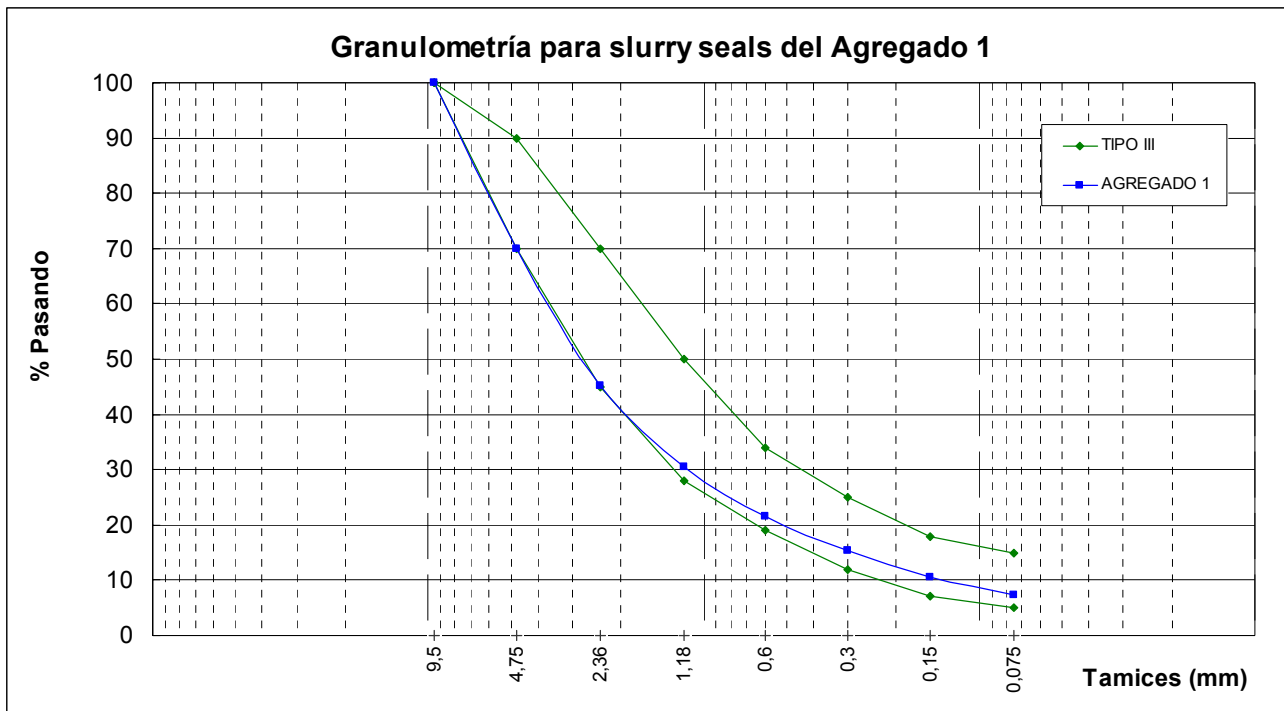


Figura 14: Curva granulométrica para el **Agregado 1**.

Fuente: Las autoras

Como puede observarse el agregado fino de esta fuente se está utilizando tal cual es producido para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente, por lo que se puede observar que está sesgado hacia la parte gruesa de la especificación.

4.3 Aditivos

Se utilizaron como aditivos para los sellos de lechada asfáltica: cal y cemento. En la Figura 15 y Figura 16 se muestran las distribuciones granulométricas realizadas con el ensayo de granulometría por emisión de rayos láser de bajo ángulo, realizado en la empresa Holcim Costa Rica en su laboratorio ubicado en Aguacaliente, Cartago. En la Tabla 11 se muestra el cumplimiento de las granulometrías.

Tabla 11: Granulometría para los rellenos minerales para ser utilizados en slurry seals: cemento y cal.

Tamiz	Cal ¹	Cemento ¹	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

¹Fuente: Holcim Aguacaliente de Cartago.

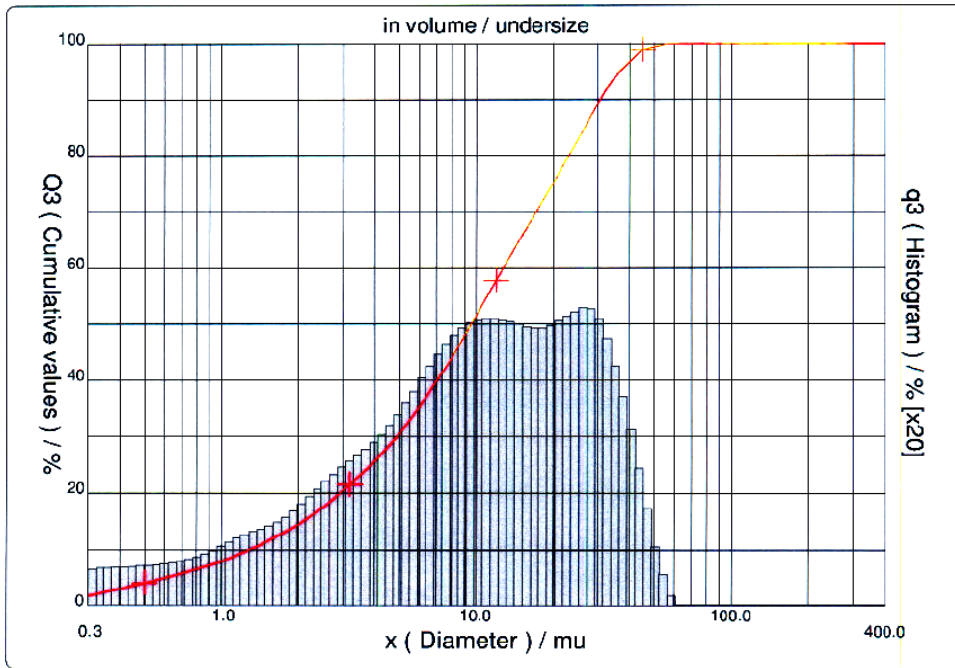


Figura 15: Distribución granulométrica para el cemento.

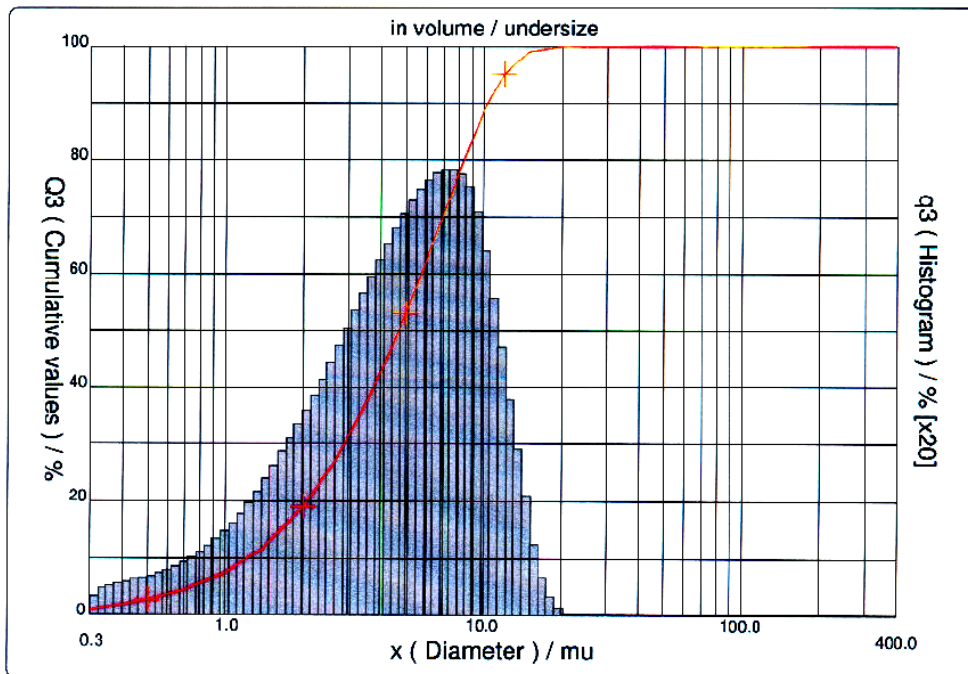


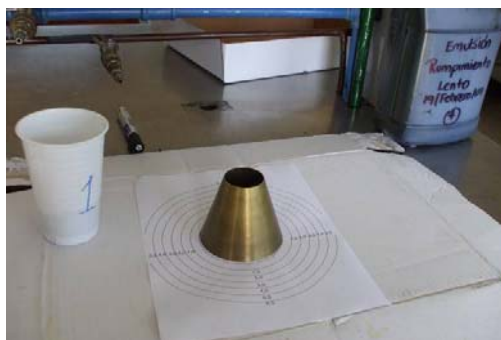
Figura 16: Distribución granulométrica para la cal.

CAPÍTULO 5 Implementación de los ensayos para los sellos de lechada asfáltica

5.1 Ensayo de consistencia ISSA TB 106

El ensayo de consistencia determina el contenido de agua óptimo, para fabricar una mezcla de lechada asfáltica estable y trabajable. 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.

El método consiste en mezclar 400 gramos de la combinación del agregado con el contenido inicial de emulsión y se varía el contenido de agua. Se mezclan a temperatura ambiente, luego se llena un cono similar al que se utiliza para la densidad y gravedad específica de los agregados finos, el cual se debe colocar en una base con círculos concéntricos de dimensiones establecidas, estos círculos están en hojas de papel según la norma de ensayo, pero en el laboratorio se fabricó una placa de acero inoxidable para evitar el desperdicio de papel (Figura 17a) y se mide la distancia que la lechada asfáltica se desplaza sobre estos círculos. El diámetro que se extiende la mezcla se denomina flujo (Figura 17b).



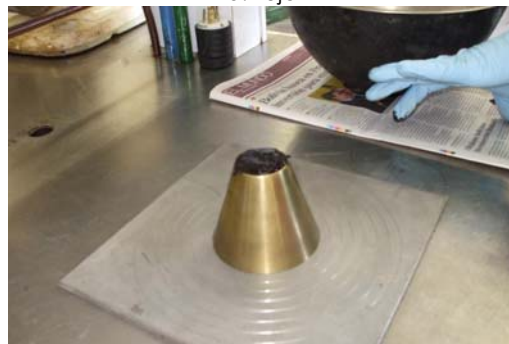
a. Ensayo inicial con papel



b. Flujo



c. Colocación de muestra dentro del cono



d. Muestra dentro del cono

Figura 17: Ensayo de consistencia.

5.1.1 Resultados para el Agregado 1

Una vez establecida la granulometría, se procedió a definir el contenido de emulsión basado en la especificación A105 "*Recommended performance guidelines for emulsified asphalt slurry seal*", donde se especifica un contenido de asfalto residual entre 6.5 % y 12 %, por lo tanto, inicialmente se decidió utilizar un 10 % de asfalto residual lo que implica un contenido de emulsión de 15.6 %, luego más adelante se explica cómo se fueron cambiando los porcentajes para alcanzar un buen resultado de flujo.

Se procedió a encontrar el porcentaje de agua requerida para darle la trabajabilidad a la mezcla. Según la especificación el contenido de líquidos totales (emulsión y agua) debe estar entre 28 % y 32 % para las granulometrías de Tipo II, por lo que el contenido de líquidos totales para las granulometrías de Tipo III no está establecido, por lo que se trabajó por prueba y error hasta encontrar la consistencia entre 2 y 3 cm.

Se mezclaron especímenes de 400 gramos de agregado, donde con el porcentaje de emulsión establecido de 18 % se añadió un porcentaje de agua de 14.2 %, y se realizó la prueba de consistencia. El resultado obtenido no fue satisfactorio debido a que la mezcla tenía demasiado contenido de agua lo que hizo la mezcla muy fluida, por lo tanto, se procedió a mezclar el agregado solo con emulsión y se fue aumentando el contenido de agua hasta obtener una consistencia entre 2 y 3 cm.

La primera prueba se realizó al agregado sin aditivo, y se obtuvieron los porcentajes estimados según la teoría, como se puede observar en la Tabla 12, este resultado no fue satisfactorio pues la mezcla resultó con mucho contenido de fluidos (Especímen 1), por lo que se decidió aumentar el contenido de emulsión y no incluir agua lo que produjo más bien el efecto contrario una mezcla muy seca (Especímen 2). Posteriormente, se añadió un contenido de agua de 2,5% para observar el efecto de trabajabilidad que da esta adición y se obtuvo una mezcla más fluida que la anterior pero no suficiente para alcanzar la consistencia requerida (Especímen 3). Por lo tanto, se aumentó de nuevo el agua y se obtuvo una mezcla satisfactoria (especímen 4). Sin embargo, se tomó la decisión de disminuir el contenido de emulsión para reducir los costos de producción, con lo cual se presenta el resultado en el espécimen 5.

Tabla 12: Resultados de consistencia para el Agregado 1 sin aditivo.

No. Espécimen	Peso agregado (g)	Emulsión		Agua		Flujo (cm)				Promedio	Requerimiento a cumplir
		%	(g)	%	(g)	1	2	3	4	cm	
1	408,7	15,6	63,8	14,4	58,9	∞	∞	∞	∞	∞	2 a 3 cm
2	406,5	20,0	81,6	0	0	0	0	0	0	0	
3	409,2	20,0	81,8	2,5	10,2	0,5	2,1	1,5	0,9	1,3	
4	404,7	20,0	81	4,5	18,2	2,9	2,1	2,0	3,5	2,6	
5	401,6	18,0	72,5	6,2	24,9	2,1	1,0	1,5	4,5	2,3	

Para el caso sin aditivo fue difícil cumplir con la reproducibilidad establecida en el método de ensayo de $\pm 0,25$ cm, pues como se observa para el Espécimen 5 se obtuvo diferencias de hasta 3,5 cm. Esto se debe a que el agregado posee muy poco relleno mineral y provoca que la mezcla de slurry se segregue. Aún así, se tomará este resultado como base para continuar con los otros ensayos.

Este procedimiento se repitió para las muestras a las que se les añadió cal y cemento como aditivo en porcentajes de 1 % y 2 %. En las Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 se presentan de manera resumida los resultados obtenidos y en la Figura 18 se muestran las fotos para el óptimo.

Tabla 13: Resultados de consistencia para el Agregado 1 con 1% cal.

No. Espécimen	Peso agregado (g)	Emulsión		Agua		Flujo (cm)				Promedio	Requerimiento a cumplir
		%	(g)	%	(g)	1	2	3	4	cm	
1	405,1	28,5	115,6	5,5	22,3	2,0	0,5	0,5	3,0	1,5	2 a 3 cm
2	410,3	28,5	116,8	7,0	28,5	4,8	3,3	4,2	5,5	4,5	
3	408,8	20,0	81,9	7,0	28,6	1,2	0,2	3,1	2,3	1,7	
4	403,6	18,0	72,6	8,0	32,3	1,9	2,5	4,3	3,0	2,9	

Tabla 14: Resultados de consistencia para el Agregado 1 con 2 % cal.

No. Espécimen	Peso agregado (g)	Emulsión		Agua		Flujo (cm)				Promedio	Requerimiento a cumplir
		%	(g)	%	(g)	1	2	3	4	cm	
1	408,3	28,5	116,4	6,0	24,5	5,0	4,0	3,2	4,0	4,1	2 a 3 cm
2	403,5	28,5	115,2	7,8	31,5	2,0	0,0	2,0	2,1	1,5	
3	407,1	20,0	81,4	8,0	32,6	1,8	0,5	3,0	3,5	2,2	
4	405,2	18,0	72,9	9,0	36,5	3,1	1,0	2,5	4,2	2,7	

Tabla 15: Resultados de consistencia para el Agregado 1 con 1 % cemento.

No. Espécimen	Peso agregado (g)	Emulsión		Agua		Flujo (cm)				Promedio cm	Requerimiento a cumplir
		%	(g)	%	(g)	1	2	3	4		
1	406,0	28,5	116,0	4,0	16,3	5,0	5,0	4,0	4,0	4,5	2 a 3 cm
2	401,7	28,5	114,6	2,6	10,4	4,0	2,1	4,0	3,0	3,3	
3	437,1	18,0	78,7	7,0	30,5	3,2	1,5	2,5	4,8	3,0	

Tabla 16: Resultados de consistencia para el Agregado 1 con 2 % cemento.

No. Espécimen	Peso agregado (g)	Emulsión		Agua		Flujo (cm)				Promedio cm	Requerimiento a cumplir
		%	(g)	%	(g)	1	2	3	4		
1	406,4	28,5	115,9	3,8	15,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,1	2 a 3 cm
2	401,7	28,5	114,4	3,2	12,9	5,0	4,0	3,5	4,2	4,2	
3	408,5	20	81,7	6,5	24,6	2,5	1,8	3,0	3,5	2,7	
4	402,3	18,0	72,5	7,0	28,2	2,4	2,5	3,1	2,8	2,7	



a. Sin aditivo



b. 1 % cal



c. 2 % cal



d. 1 % cemento



e. 2 % cemento

Figura 18: Ensayo de consistencia para el Agregado 1.

De manera resumida se presentan en la Tabla 17 los contenidos óptimos de emulsión y agua para el Agregado 1 sin aditivo, con cal y cemento basados en estos ensayos de consistencia.

Tabla 17: Resultados de contenido óptimo de emulsión y agua para el Agregado 1.

Muestra	Emulsión	Agua
	%	%
Sin aditivo	18,0	5,0
1 % cal	18,0	8,0
2 % cal	18,0	9,0
1 % cemento	18,0	7,0
2 % cemento	18,0	7,0

5.2 Ensayo de desnudamiento ISSA TB 114

El ensayo de desnudamiento ayuda a determinar que el sistema de slurry con el agregado, emulsión y aditivos se mantiene con un buen recubrimiento.

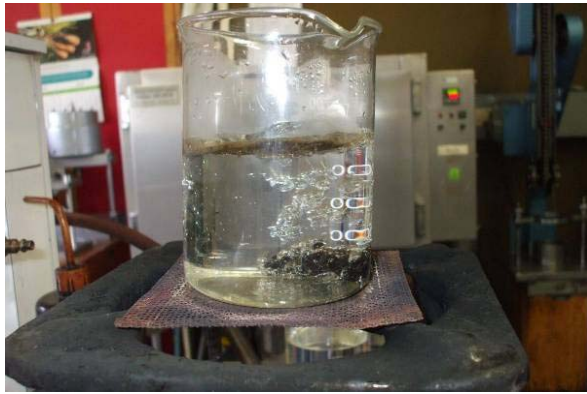
Se obtiene una muestra de 10 g de la mezcla curada del ensayo de tiempo de mezclado y set (el tiempo de curado fue de 15 horas en un horno a 60 °C), se introdujo en un beaker con agua desmineralizada ebuliendo. Se dejó durante 3 minutos, luego de los cuales se quitó el beaker del calentador y se dejó enfriar. Se deja correr agua del tubo sobre la superficie del agua del beaker y se deja fluir hasta eliminar el asfalto libre en la superficie (Figura 19).

Luego el agua se decanta y la muestra se coloca sobre un papel absorbente. Se seca la muestra (el secado realizado fue al aire hasta que no se presentaba humedad visible) y se examina para estimar el área de agregado recubierta con asfalto. Se reporta como un porcentaje de la superficie total del agregado.

Se establece que para un porcentaje de más de 90% es satisfactorio, mientras que en el rango de 75% a 90% es marginal y menor a un 75% es insatisfactorio.

Una retención baja de asfalto en el slurry puede indicar una falta de adhesión, coalescencia (propiedad o capacidad de ciertas sustancias y cosas para unirse o fundirse con otras en una sola) en la capa inferior, una formulación de la emulsión pobre, re-emulsificación, un posible slurry falso, mucha cantidad de relleno mineral o la calidad de los finos muy pobre.

Es de gran ayuda notar la ductilidad o fragilidad del espécimen que se hierve para establecer la calidad del slurry.



a.Muestra en agua hirviendo



b.Película de asfalto libre



c.Decantando el agua



d.Muestra seca después de la ebullición

Figura 19: Ensayo de desnudamiento.

5.2.1 Resultados Agregado 1 A

Una vez obtenidos los contenidos de líquidos se realizó la prueba de desnudamiento para todas las combinaciones. En la Tabla 18 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 18: Resultados de desnudamiento para el Agregado 1.

Muestra	Recubrimiento	Condición
	%	(según ISSA TB 114)
Sin aditivo	95	satisfactoria
1 % cal	70	insatisfactoria
2 % cal	80	marginal
1 % cemento	85	marginal
2 % cemento	90	satisfactoria

Luego de los resultados del ensayo de compatibilidad (realizado posteriormente) se decidió repetir el ensayo de desnudamiento, por lo que, se incluyó el procedimiento descrito en TB 113 para establecer los tiempos de mezclado y set de la mezcla así como la flotación de finos y adhesión interna.

Luego del ensayo de consistencia se obtuvieron 200 gramos de mezcla, los cuales se separaron en dos muestras de 100 gramos y a una de estas se les realizó la medición del tiempo de mezclado y tiempo "set".

5.2.2 Resultados Agregado 1 B

Estos datos se obtuvieron a partir de una evaluación visual.

Tabla 19: Resultados de desnudamiento para el Agregado 1 repetición.

Muestra	Recubrimiento	Condición
	%	(según ISSA TB 114)
Sin aditivo	85	marginal
1 % cal	92	satisfactoria
2 % cal	95	satisfactoria
1 % cemento	96	satisfactoria
2 % cemento	96	satisfactoria

Estos porcentajes cambiaron porque ya se tenía para este momento una mejor experiencia a la hora de realizar la evaluación visual.



a. Sin aditivo



b. 1 % cal



c. 2 % cal



d. 1 % cemento



d. 2 % cemento

Figura 20: Ensayo de desnudamiento Agregado 1 B.

5.3 Ensayo de tiempo de mezclado y tiempo "set" ISSA TB 113

Este procedimiento está descrito en la norma llamada Procedimiento de mezclas de prueba para el diseño de slurry seal y se utiliza para determinar los porcentajes de los componentes de la mezcla por medio de la variación de los porcentajes de composición y así establecer el tiempo de rompimiento o agotamiento de emulsión libre (tiempo de mezclado después de agregar la emulsión).

El proceso que se sigue es mezclar en seco el agregado combinado, luego se añade el agua y se mezcla por 20 segundos y se observa que la distribución sea uniforme, después se añade la emulsión asfáltica y se mezcla vigorosamente por 30 segundos hasta que la mezcla esté homogénea. Durante este proceso se debe observar la mezcla, con el objetivo de identificar si existe líquidos libres, o por el contrario la mezcla está excesivamente seca y rígida, esto con el propósito de ajustar la cantidad de agua añadida en las siguientes muestras de prueba.

Luego del mezclado inicial, se toma la mitad de la muestra (100 gramos) y se moldea sobre un papel absorbente, a estas muestras hay que presionarlas periódicamente con el dedo índice, y se registra el tiempo cuando el sello toma forma y no se aprecia un desplazamiento bajo la acción de presión con el dedo índice, esto se combina con una prueba de una ligera presión con un papel de toalla para notar cuándo el agua estuviera clara, esto se hace varias veces.

Finalmente, se deja secar por 15 horas hasta alcanzar peso constante.

Luego del secado, se examina la muestra para observar si es pegajosa (tackiness) y brillante (shininess) que pueden indicar (1) drenaje de finos o (2) flotación de la película de asfalto. Además se examina para observar flotación de finos reflejada por la presencia de una costra de color gris sobre la superficie del sello, puede indicar varias cosas como mucha cantidad de agua de mezcla, agregado supersaturado, relleno no compatible, alto contenido de alcalinos o bajo pH en la emulsión.

Finalmente, se examina por adhesión interna, esto es una evaluación subjetiva que se realiza al descascarar 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 es que se toma la muestra para el ensayo de desnudamiento TB 114.

A continuación se presentan los resultados obtenidos.

5.3.1 Resultados Agregado 1

Tabla 20: Resultados de tiempo de mezclado para el Agregado 1.

Muestra	Tiempo de mezclado	Requerimiento a cumplir
	(min)	
Sin aditivo	2 min 20 seg	No mayor a 5 min
1 % cal	2 min 15 seg	
2 % cal	2 min 37 seg	
1 % cemento	1 min 31 seg	
2 % cemento	2 min 30 seg	

Esto se estableció hasta que la mezcla se rigidizó y “rompió”.

Tabla 21: Resultados de tiempo de set para el Agregado 1.

Muestra	Tiempo de set	Requerimiento a cumplir
	(min)	
Sin aditivo	14 min 06 seg	No menor a 3 min
1 % cal	20 min 53 seg	
2 % cal	19 min 33 seg	
1 % cemento	16 min 40 seg	
2 % cemento	20 min 58 seg	

Luego de esto se procedió a realizar la evaluación visual por flotación de finos y adhesión interna.

Tabla 22: Resultados de flotación y adhesión interna para el Agregado 1.

Muestra	Flotación	Requerimiento a cumplir
Sin aditivo	No se presenta	Sí se presenta
1 % cal	No se presenta	No se presenta
2 % cal	No se presenta	No se presenta
1 % cemento	No se presenta	No se presenta
2 % cemento	No se presenta	No se presenta

En la sección 5.2.2 se presentan los nuevos resultados de desnudamiento pues la muestra se toma de la muestra curada del ensayo de tiempo set. En la Figura 21 se presentan las fotografías tomadas en este proceso.



a. Ejemplo de mezclado



b. Sin aditivo



c. Prueba del papel absorbente



d. 1% cal



e. 2% cal



f. 1% cemento



g. 2% cemento



h. Prueba de descascaramiento

Figura 21: Ensayo de tiempo de mezclado y set Agregado 1.

5.4 Ensayo de Cohesión ISSA TB 139

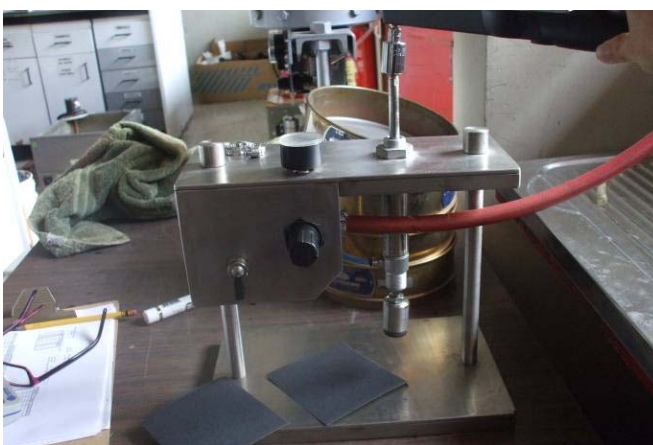
En este método de ensayo se mide el torque durante el desarrollo del rompimiento y fuerza de cohesión el cual define el tiempo set y el tiempo temprano de tránsito como una función del torque y tiempo.

Los agregados para los sellos de Tipo 2 y 3, se tamizan en la malla de 4.75 mm (Nº 4) y se descarta el material retenido. Se moldean especímenes en los moldes sobre una felpa y hay que asegurarse que los especímenes quedan bien nivelados.

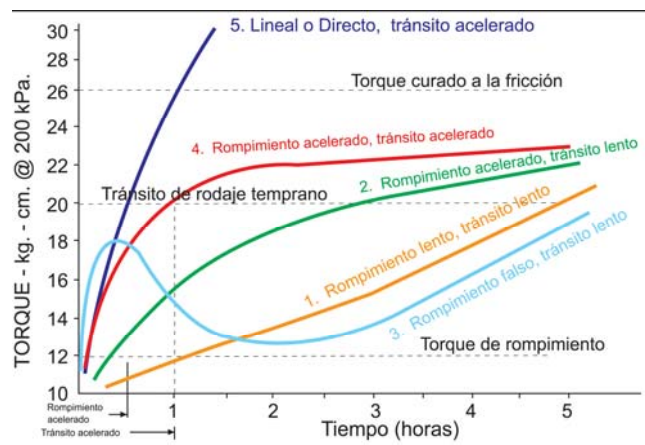
Las mediciones del torque se hacen en intervalos de tiempo de 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos luego de moldear. Se establece una presión de 200 kPa sobre la muestra, se deja caer el pie y se coloca el torquímetro en cero y se gira suavemente pero firmemente con un movimiento horizontal a lo largo de 90 ° a 120 ° en 5 a 7 segundos. La lectura del torquímetro se registra junto con el tiempo y se levanta el pie que se limpia para la siguiente medición.

Antes de comenzar estos ensayos, se tiene que calibrar el pie de hule del equipo. Esto se hace con una serie de ensayos sobre un papel de lija Nº 220, mediante 10 mediciones para los cuales se debe obtener un promedio dentro de un rango de 0.3 kg-cm. Luego se repite este proceso con arena Ottawa y con papel de lija Nº 100 (Figura 22a).

Luego, se ensaya el agregado seco para incluirlo en el gráfico de cohesión (Figura 22b).



a. Calibración con papel lija



b. Gráfico de cohesión

Figura 22: Ensayo de cohesión.

En esta norma se define el *tiempo de rotura* como el lapso de tiempo después de moldeado, cuando el desplazamiento lateral no es posible una vez que el espécimen se ha compactado; cuando una toalla de papel absorbente no queda manchada cuando hay una ligera presión sobre la superficie de la lechada; o cuando la emulsión ha coalescido y no está disponible para lubricar la mezcla; y cuando la emulsión libre no puede ser diluida y lavada con agua.

El *Tiempo de tránsito*: esto es cuando se permite el tránsito temprano a un nivel de torque de 20 (20-21) kg-cm.

5.4.1 Resultados Agregado 1

Se realizó la calibración del pie de hule con éxito. Luego se hizo la medición en el agregado seco.

Se moldearon las muestras de sello pero no se obtuvieron las lecturas de torque, pues no se da un aumento en el dato por lo que se tiene sospechas de que el torquímetro está descalibrado o que definitivamente la mezcla de sello no es adecuada, se recuerda que se está utilizando el contenido de agua y emulsión obtenidos en el ensayo de consistencia.



a. Calibración con el agregado



b. Sin aditivo



c. Toma del torque



d. Lectura en el torquímetro

Figura 23: Ensayo de cohesión Agregado 1.

Es importante la obtención de buenos resultados en este ensayo pues se tienen que establecer los tiempos de rotura y tránsito para este sello. Además se tiene que cumplir con la especificación de cohesión para 30 y 60 minutos los cuales no se están obteniendo pues las lecturas han sido alrededor de 13 kg-cm aproximadamente.

5.5 Ensayo de rueda cargada ISSA TB 109

Este método de ensayo se utiliza para el diseño de mezcla del sello, y busca evitar que el asfalto se exuda bajo la acción de las cargas de tránsito.

El espécimen rectangular se moldea y se enrasa con un espesor de un 25% más que la partícula más gruesa del agregado. Una vez que la mezcla se rigidiza se quita el molde. Luego, se seca el espécimen un mínimo de 12 horas hasta alcanzar peso constante. Luego

se deja enfriar. Se tiene que alinear la llanta y la caja con el peso. El peso que se tiene que utilizar para el ensayo es de 57 kg.

Se aplican 1000 ciclos a una temperatura de 25 °C aproximadamente. Se tiene que observar que la muestra no se adhiera a la llanta en caso de presentarse se registra el ciclo en el que ocurrió este fenómeno se nota también como un brillo visible. Luego de que esto se observa, el espécimen es humedecido para evitar que se adhiera a la llanta. Luego de los 1000 ciclos la muestra se seca a peso constante. Se vuelve a colocar en el equipo con el molde para la añadir la arena, 200 g de arena Ottawa se calientan a 82 °C y se esparcen uniformemente sobre el espécimen. Se aplican 100 ciclos más y se remueve la arena que no quedó adherida a la huella. La diferencia de peso de arena adherida se registra. Se reporta como gramos adheridos por m² (área de la huella).



a.Moldeo de la muestra



b.Espécimen sujeto al equipo

Figura 24: Ensayo de rueda cargada.

5.5.1 Resultados Agregado 1

Se realizó el ensayo con el inconveniente que se utilizó una carga mucho menor que la especificada por el método, en la Tabla 23 se muestran estos resultados. En la Figura 25 se muestra las fotos del ensayo realizado.

Tabla 23: Resultados de rueda cargada para el Agregado 1.

Muestra	Exceso de asfalto	Especificación
Sin aditivo	640	538 g/m ² máximo
1 % cal	460	
2 % cal	367	
1 % cemento	372	
2 % cemento	248	

Estos resultados son coherentes para la cantidad de emulsión que se utilizó y que probablemente aumentarán al aumentar la carga.



a. Muestra colocada en el equipo



b. Colocación de arena Ottawa



c. 100 ciclos adicionales



d. Muestra luego del ensayo

Figura 25: Ensayo de rueda cargada para el Agregado 1 con menor peso.

Se trató de repetir estos ensayos con la carga correcta pero se tuvo problemas con la llanta de hule pues esta no soportó el peso de 57 kg (Figura 26). Se sospecha que el hule estaba ya muy rígido por lo que se está en el proceso de adquirir nuevas llantas para poder realizar de nuevo los resultados.

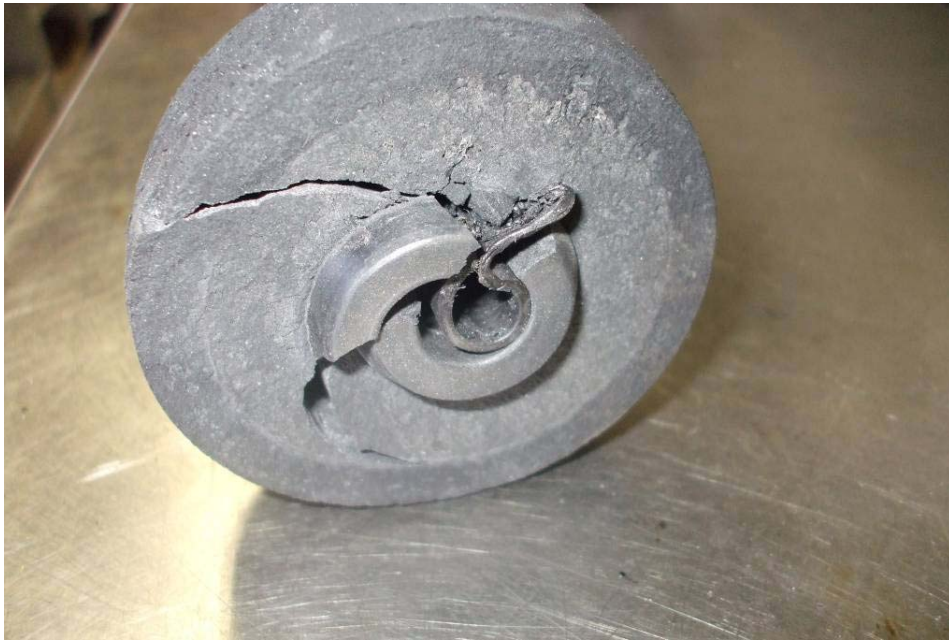
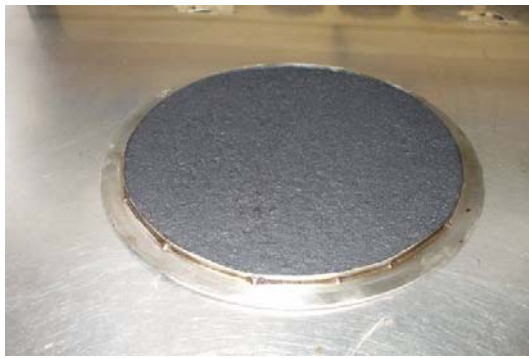


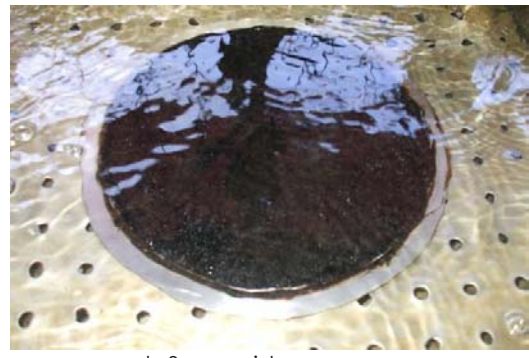
Figura 26: Rueda dañada por el peso de 57 kg.

5.6 Ensayo de pista húmeda ISSA TB 100

Este ensayo mide la calidad del sello a la exposición de la abrasión en condiciones de humedad. Se moldea un espécimen circular se deja secar a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Luego, el espécimen se sumerge en agua durante 1 hora, se aplica abrasión con una zapata de hule que se hace pasar sobre la muestra durante 5 minutos. El espécimen erosionado se lava para dejarlo sin material suelto, luego se seca a 60 °C y se pesa. La pérdida de peso se expresa en gramos totales perdidos o en gramos perdidos por unidad de área como gramos por metro cuadrado (Figura 27).



a.Espécimen moldeado



b.Sumergido en agua



c.Ensayo de abrasión



d.Toma de peso final

Figura 27: Ensayo de pista húmeda.

5.6.1 Resultados Agregado 1

Se realizaron los ensayos pero el primer inconveniente fue que no se registró que la muestra alcanzara peso constante lo que puede afectar el dato para poder obtener la pérdida de material, pues en estos datos se estaban dando mayores pesos finales comparados con los iniciales, para los casos de 2% cal y los dos porcentajes de cemento (Tabla 24). En la Figura 28 se muestran las fotografías de la muestra con 1% de cal donde se observa cómo se ha separado el asfalto del agregado (Figura 28c).

Tabla 24: Resultados de pista húmeda para el Agregado 1.

Muestra	Abrasión	Especificación
Sin aditivo	395	Máx 807 g/m ²
1 % cal	158	
2 % cal	NI	
1 % cemento	NI	
2 % cemento	NI	

Es recomendable consultar la norma ISSA TB 136 pues aquí se explican los casos en que se obtienen inconsistencias en el ensayo de pista húmedo, esto está pendiente de realizar.



a. Ensayo de abrasión



b. Muestra antes de la abrasión



c. Muestra luego de la abrasión

Figura 28: Ensayo de pista húmeda Agregado 1.

5.7 Ensayo de compatibilidad Schulze-Breuer ISSA TB 144

Este método de prueba cubre la determinación de la compatibilidad relativa entre el agregado de graduación específica y la emulsión asfáltica, asfalto residual o bitumen. Se prepara la mezcla y se moldea un espécimen que luego se somete a un acondicionamiento a 25 °C en agua por 6 días, luego se introduce en el tubo cilíndrico del equipo que se llena con agua y la mezcla se somete a abrasión con ayuda del equipo Schulze-Breuer y Ruck por un periodo de tiempo de 3 horas y a una temperatura de 25 °C (Figura 29). Una vez hecho lo anterior, la muestra se somete a ebullición y luego se seca. Se reporta la absorción, la pérdida por abrasión, la adhesión (porcentaje de recubrimiento) y la integridad.



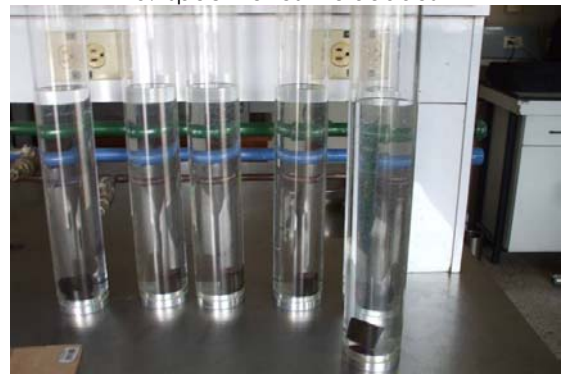
a. Equipo para el moldeo de especímenes



b. Especímenes moldeados



c. Sumergidos en agua



d. Especímenes en los cilindros



e. Ensayo de abrasión



f. Muestras luego de la abrasión



g. Proceso de ebullición



h. Muestras al final del ensayo

Figura 29: Ensayo de compatibilidad Schulze-Breuer.

5.7.1 Resultados Agregado 1

Este ensayo se realizó con éxito para este agregado, se pudieron obtener muy buenos resultados que permiten distinguir cuáles son las mejores mezclas. Los resultados se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25: Resultados de compatibilidad para el Agregado 1.

Muestra	Absorción (g)	Pérdida por abrasión (g)	Integridad (%)	Adhesión (%)	Calificación	Especificación
Sin aditivo	1,1	2,0	78	86	7	11 mínimo (microsurfacing)
1 % cal	0,9	0,2	72	90	10	
2 % cal	0,5	0,4	92	84	11	
1 % cemento	1,1	1,9	75	80	7	
2 % cemento	0,8	1,9	74	84	6	

CAPÍTULO 6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Con los resultados del ensayo de consistencia donde se obtuvo un rango de 23 % y 27 % de líquidos totales, aún así se puede observar separación del líquidos mostrado en la Figura 18.

Es probable que el contenido de emulsión sea muy alto razón por la cual se están obteniendo los resultados presentados en este estudio.

Luego de revisar los resultados, queda la duda de si el contenido de líquidos totales está dentro del rango especificado, y se varía el contenido de emulsión y agua para mantener esta relación, el resultado del ensayo de consistencia debe ser muy parecido, pero se indica que en la nota 1 del método ISSA TB 113 que este contenido puede variar de acuerdo con el tipo de relleno utilizado que hace que aumente entre 1 % y 1.5 % en la adición de agua, o también que de acuerdo con la temperatura también varía pues a más temperatura más agua se requiere y para bajas temperaturas se requiere de menos agua.

6.2 Recomendaciones

En el ensayo de consistencia es importante anotar la temperatura ambiente a la cual se está realizando la prueba pues este dato es muy importante a la hora de dosificar el contenido de líquidos totales en la mezcla de lechada asfáltica, debido a la relación directa que hay pues entre mayor temperatura más agua se requerirá en la muestra.

Con respecto al ensayo de rueda cargada, sería bueno consultar la importancia de humedecer el espécimen pues se podría prescindir de este paso. Además se está a la espera de la llegada de las llantas de repuesto para poder realizar los ensayos con la carga de 57 kg.

Con respecto al ensayo de cohesión, se recomienda adquirir otro torquímetro para descartar que sea este instrumento de medición el que está dañado o descalibrado.

Además hay que consultar con el fabricante exactamente el procedimiento de ensayo pues es bastante simple aún así no se están obteniendo los resultados deseados.

Hay que terminar de implementar con éxito los ensayos de rueda cargada, pista húmeda y cohesión pues los demás están bien implementados. Sobre todo porque se requiere de los dos primeros para poder realizar el diseño de mezcla de los sellos de acuerdo con el método ISSA TB 111.

Con respecto al ensayo de pista húmeda, hay que estudiar con detalle el método ISSA TB 136 pues aquí se explican los casos donde se obtienen inconsistencias en el ensayo de pista húmedo. También se está a la espera de los repuestos de la manguera de hule pues se sospecha que esta se desgastó durante la realización del ensayo y por eso no se pudo obtener menor peso, pues se cree que también estaba muy rígida y que partículas de hule quedarán incrustadas en la muestra lo que provocó que se obtuviera mayor peso que el inicial, todo esto debido al contenido tan alto de asfalto.

Implementar el ensayo ISSA TB 115 para establecer la compatibilidad de la mezcla de lechada asfáltica.

Finalmente, realizar una guía para el diseño de mezcla para encontrar el contenido óptimo de emulsión asfáltica para el agregado 2 muestreado en la planta Santa Fe, con base en los procedimientos ISSA TB 111 y TB 118.

CAPÍTULO 7 Referencias

1. Reimschiessel, E. et al. Inspector's Manual. International Slurry Surfacing Association. Maryland, Estados Unidos.
2. International Slurry Surfacing Association. Recommended performance guidelines for emulsified asphalt slurry seal. Maryland, Estados Unidos. 2005.
3. International Slurry Surfacing Association. Technical bulletins. Maryland, Estados Unidos.
4. Asphalt Institute. A basic asphalt emulsion manual, MS-19. Kentucky, Estados Unidos. Tercera Edición.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials. Emulsified Asphalt, M 140. Washington D.C., Estados Unidos, 27^{ava} Edición, 2007.
6. American Association of State Highway and Transportation Officials. Cationic Emulsified Asphalt, M 208. Washington D.C., Estados Unidos, 27^{ava} Edición, 2007.
7. ASTM Standards Worldwide. Standard Practices for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal D3910. Estados Unidos. 2008.
8. Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales. 2001
9. Valley Slurry Seal, Co. Slurry Seal General Overview. California, Estados Unidos. 2001. http://www.slurry.com/cont_slurryoverview.shtml
10. 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>
11. Ministerio de Economía, Industria y Comercio, MEIC. Reglamento Técnico Centroamericano. Productos de Petróleo. Asfaltos. Especificaciones. RTCA-75.01.22:04.