

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD EN LA APLICACIÓN DE SELLOS DE LECHADA ASFÁLTICA
“SLURRY SEALS” EN COSTA RICA**

Informe Final

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: mjimenez@lanamme.ucr.ac.cr

Denia Sibaja Obando

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: dsibaja@lanamme.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

Noviembre 2008

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Justificación e importancia	7
1.2 Objetivo General.....	8
1.3 Objetivos específicos.....	8
CAPÍTULO 2 Sellos de lechada asfáltica “Slurry seals”	9
2.1 Definición	9
2.2 Historia	13
2.3 Descripción de las técnicas de preservación	15
2.3.1 Sello de niebla o sello negro: “Fog seal”	16
2.3.2 Sello de arena: “Sand Seal”	17
2.3.3 Sello de barrido: “Scrub seal”	17
2.3.4 Tratamientos superficiales: “Chip seal”	18
2.3.5 Sello de capa: “Cape Seal”	19
2.3.6 Sellos de lechada asfáltica: “Slurry seals”	19
2.3.7 Microcapas: “Microsurfacing “	20
2.3.8 Recubrimiento para pavimentos: “Pavement dressing”	20
2.4 Métodos de preservación asociados a los distintos tipos de deterioro empleados en otros países	24
2.5 Casos de aplicación de sello de lechada asfáltica en otros países.....	25
2.5.1 Casos generales.....	25
2.5.2 Proyectos específicos.....	28
a) Autopistas e interestatales del estado de California.....	29
b) Casos de Rusia.....	30
c) Casos en Ecuador	31
d) Aeropuerto de Barcelona en España	32
e) Aplicaciones en Sur África	32
2.5.3 Casos en los que no es recomendable aplicar sellos del lechada asfáltica	34
CAPÍTULO 3 Ensayos y equipos de laboratorio	36
3.1 Ensayos para emulsiones asfálticas	36
a) Emulsiones catiónicas.....	36
b) Emulsiones aniónicas	37
3.1.1 Muestreo de emulsiones	39
3.1.2 Viscosidad Saybolt Furol	40
3.1.3 Estabilidad al almacenamiento	40
3.1.5 Demulsibilidad	40
3.1.6 Recubrimiento y resistencia al agua	41
3.1.7 Mezclado de la emulsión asfáltica.....	41
3.1.8 Ensayo del tamiz.....	41
3.1.9 Destilación del residuo y aceite	41
3.1.10 Ensayos al residuo de asfalto.....	42
3.2 Ensayos para los agregados	43
3.2.1 Muestreo y cuarteo de agregados	44
3.2.2 Granulometría.....	44

3.2.3	Partículas planas y elongadas.....	45
3.2.4	Caras fracturadas.....	45
3.2.5	Equivalente de arena.....	46
3.2.6	Abrasión de Los Ángeles.....	46
3.2.7	Sanidad.....	46
3.3	Ensayos para los sellos de lechada asfáltica "Slurry seals".....	47
3.3.1	Muestreo de sellos de lechada asfáltica "slurry seals".....	47
3.3.2	Ensayo de consistencia.....	48
3.3.3	Cohesión.....	49
3.3.4	Exceso de asfalto usando la rueda cargada Load Wheel Tester (LWT).....	50
3.3.5	Desnudamiento por humedad.....	51
3.3.6	Pérdida por abrasión.....	51
3.3.7	Mezclas de prueba para establecer tiempos de rompimiento, curado y apariencia 52	
3.3.8	Compatibilidad Schulze-Breuer y Ruck.....	53
3.3.9	Procedimiento para el diseño de mezcla.....	54
3.3.10	Estimación de la tasa de esparcimiento y medición de la macrotextura.....	54
3.3.11	Diseño, ensayos y construcción de los sellos de lechada asfáltica "slurry seals".....	54
CAPÍTULO 4 Especificaciones de calidad.....		55
4.1	Emulsión asfáltica.....	55
4.2	Agregado.....	56
4.3	Agua.....	58
4.4	Relleno mineral.....	58
4.5	Mezclas de lechada asfáltica "slurry seals".....	58
CAPÍTULO 5 Equipos y procedimientos para la construcción.....		60
5.1	Equipos.....	60
5.1.1	Mezclador de lechada asfáltica.....	60
5.1.2	Caja para la distribución.....	64
5.1.3	Equipo auxiliar.....	65
5.2	Construcción de sellos de lechada asfáltica.....	66
5.2.1	Materiales.....	66
5.2.2	Mezcla de lechada asfáltica.....	71
5.2.3	Calibración de la máquina de mezclado.....	73
5.2.4	Procedimiento de calibración de la velocidad de alimentación para cada uno de los componentes de la mezcla.....	75
5.2.5	Procedimiento para la colocación del sello de lechada asfáltica.....	77
5.2.5.1	Preparación de la superficie.....	78
5.2.5.2	Notificación y control de tránsito.....	82
5.2.5.3	Condiciones climáticas.....	84
5.2.5.4	Aplicación del sello de lechada asfáltica.....	85
CAPÍTULO 6 FACTIBILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE SELLOS SLURRY EN COSTA RICA ...		98
6.1	Implementación.....	98
6.2	Producción de la emulsión asfáltica de rompimiento lento o controlado.....	99
6.3	Construcción de los sellos de lechada asfáltica.....	101

6.4	Consideraciones sobre costos	103
6.5	Valores de IRI y deterioros superficiales correspondientes, posibilidad de intervención con sellos de lechada asfáltica.	108
6.5.1	Sección de control 10001	110
a.	Tramo antes del puente de San Pedro, Pérez Zeledón	110
b.	Tramo después del puente de San Pedro, Pérez Zeledón:	112
6.5.2	Sección de control 60060	113
6.5.3	Sección de control 60052	116
6.5.4	Sección de control 60982	118
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS FINALES		120
7.1	Conclusiones	120
7.2	Recomendaciones	123
7.3	Comentarios finales	125
a)	Camino a la implementación.....	125
b)	De la visión a la práctica	126
CAPÍTULO 8 REFERENCIAS.....		128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Usos en general de las emulsiones asfálticas.....	10
Tabla 2: Resumen comparativo de las técnicas de preservación	21
Tabla 3: Métodos de preservación recomendados para deterioros superficiales típicos	25
Tabla 4: Resumen de proyectos de sellos de lechada asfáltica del estado de California.....	30
Tabla 5: Resumen de métodos de ensayo que se realizan en emulsiones catiónicas	37
Tabla 6: Resumen de métodos de ensayo que se realizan en emulsiones asfálticas en general	38
Tabla 7: Métodos de ensayo para los agregados que se utilizan para "slurry seals".....	43
Tabla 8: Métodos de ensayo para el diseño de mezcla de los sellos de lechada asfáltica. ...	47
Tabla 9: Resumen de especificaciones para emulsiones aniónicas, utilizadas en la construcción de slurry seal, adaptada de AASHTO M 140 (<i>"Table 1: Requirements for emulsified asphalt"</i>)	55
Tabla 10: Resumen de especificaciones para emulsiones aniónicas, utilizadas en la construcción de slurry seal, adaptada de AASHTO M 208 (<i>"Table 1 Requirements and typical applications for cationic emulsified asphalt"</i>)	56
Tabla 11: Resumen de especificaciones para los agregados finos, utilizados en la construcción de slurry seal.....	57
Tabla 12: Resumen de especificaciones granulométricas para los agregados finos que se utilizan en la construcción de slurry seal.	57
Tabla 13: Resumen de especificaciones granulométricas para los rellenos minerales para ser utilizados en slurry seals.....	58
Tabla 14: Especificaciones de calidad para las mezclas de lechada asfáltica.....	59
Tabla 15: Resumen de equipos para la fabricación y colocación de los sellos de lechada asfáltica.....	62
Tabla 16: Rangos límite para la dosificación de las mezclas de lechada asfáltica.	73
Tabla 17: Guía para calcular la tasa de distribución teórica.	89
Tabla 18: Tasas de aplicación de los sellos de lechada asfáltica sugeridas.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de slurry seals.....	12
Figura 2: Esquema de la fabricación del sello de lechada asfáltica.	13
Figura 3: Aplicación de sellos de lechada asfáltica en Rusia.....	15
Figura 4: Sello de niebla (Fog seal).....	16
Figura 5: Sello de arena (Sand seal).	17
Figura 6: Proceso de colocación del sello de arena (Scrub seal).	18
Figura 7: Colocación del agregado en el tratamiento superficial.	19
Figura 8: Aplicación de un sello de lechada asfáltica.....	20
Figura 9: Casos generales de la adecuada aplicación de sellos de lechada asfáltica.....	26
Figura 10: Aplicación de sellos de lechada asfáltica de acuerdo con el tipo de granulometría	27
Figura 11: Aplicación de sellos de lechada asfáltica alrededor del mundo.....	28
Figura 12: Aplicación de sellos de lechada asfáltica en Rusia.....	31

Figura 13: Aplicación de sellos de lechada asfáltica en Ecuador.....	31
Figura 14: Aplicación de sellos de lechada asfáltica en Aeropuerto de Barcelona	32
Figura 15: Casos en los que el sello de lechada asfáltica no es suficiente	35
Figura 16: Superficie de base para la aplicación del sello.....	33
Figura 17: Casos en los que el sello de lechada asfáltica no ha sido suficiente aplicado en rutas de bajo volumen	34
Figura 18: Ejemplos de contenedores para el muestreo de emulsión asfáltica.....	39
Figura 19: Equipo de ensayo para viscosidad Saybolt Furol.	40
Figura 20: Definición gráfica de cara fracturada.	45
Figura 21: Ejemplo de muestreo de mezcla de lechada asfáltica.	48
Figura 22: Ensayo de consistencia para slurry seals.	49
Figura 23: Equipo para medir la cohesión en slurry seals.	50
Figura 24: Ensayo de exceso de asfalto con rueda cargada.	51
Figura 25: Ensayo de abrasión con el equipo de pista.	52
Figura 26: Ensayo de compatibilidad con el equipo Schulze-Breuer y Ruck.	53
Figura 27: Rangos de curvas granulométricas para los tres tipos de slurry seals.	57
Figura 28: Equipo para la fabricación y colocación de sellos de lechada asfáltica.....	60
Figura 29: Dispositivo para humedecer la superficie en el camión mezclador.....	61
Figura 30: Caja para distribución de la lechada asfáltica.	65
Figura 31: Carga del agregado en la máquina mezcladora en el sitio del apilamiento.....	68
Figura 32: Carga de la emulsión en la máquina mezcladora.	69
Figura 33: Condición de la superficie para aplicar el sello de lechada asfáltica.	78
Figura 34: Tratamiento de las tapas de alcantarilla.....	80
Figura 35: Ejemplo de notificación de las zonas a ser tratadas con el sello.	83
Figura 36: Ejemplos de la señalización vial.	84
Figura 37: Colocación de la lechada asfáltica por medio de la caja de distribución.....	86
Figura 38: Juntas transversales y longitudinales.	91
Figura 39: Rastrillos usados para el trabajo manual.	92
Figura 40: Trabajo manual.	93
Figura 41: Telas de arrastre.	95
Figura 42: Planta de emulsión asfáltica de RECOPE.	100
Figura 43: Producción de agregados.....	102
Figura 44: Relación de costos con estándar óptimo de diseño de carreteras.	104
Figura 45: Histograma de desempeño de un pavimento flexible.....	106
Figura 46: Diagrama de flujo de la implementación de la técnica de los sellos de lechada asfáltica.....	126

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 la revisión y estudio de las ventajas y desventajas de la aplicación de estas técnicas.

El sello de "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 de conservación vial. Esta alternativa se utiliza en superficies de ruedo que no tienen un nivel muy avanzado de deterioro como fatiga o deformación permanente.

El uso adecuado de los slurry seal permite brindar soluciones para sellar los pavimentos que presentan un estado de oxidación muy avanzado, además permite restaurar la textura superficial y proveerla de mayor resistencia al deslizamiento, otro uso que se le da tiene que ver con la impermeabilización de las capas de rodadura, y también se puede utilizar para corregir el desprendimiento de partículas ("raveling").

Debido a estas razones es importante profundizar en el conocimiento de esta técnica, en sus posibles usos y especificaciones para poder aplicarla correctamente en nuestro medio. También es necesario realizar una revisión de los ensayos de laboratorio que se utilizan para el diseño y caracterización de desempeño de estos sellos, tanto para los componentes como para la mezcla.

Luego, de la conceptualización y diseño de esta alternativa, es necesario hacer hincapié en los procesos constructivos que produzcan un desempeño adecuado de esta técnica, esto implica, el uso de equipo especializado de colocación, entre otros cuidados.

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 Objetivo General

Proveer el soporte técnico relacionado con los conceptos teóricos y prácticos, de la utilización de los sellos de lechada asfáltica "slurry seals", para la implementación de esta alternativa de preservación en Costa Rica.

1.3 Objetivos específicos

- Definir el concepto de sello de lechada asfáltica "slurry seal", y las diferencias que existen con las otras alternativas de preservación.
- Revisar y resumir las características de los proyectos en los cuales esta técnica se ha aplicado en otros países.
- Indagar sobre los procedimientos de ensayo de laboratorio utilizados para diseñar y determinar el desempeño de estos sellos.
- Revisar y sintetizar las especificaciones de calidad para los agregados, emulsión asfáltica y para la mezcla que forman parte de los requisitos para el uso de estos sellos alrededor del mundo.
- Presentar información acerca de los equipos y procesos adecuados para la construcción de los sellos.
- Identificar la aptitud de nuestros materiales para ser utilizados en este tipo de sello.
- Determinar la factibilidad de la aplicación de esta técnica basado en las limitaciones que se puedan presentar en cuanto a equipo, conocimiento, experiencia y materiales.
- Mostrar casos en donde la aplicación de este sello es recomendado sobre los pavimentos de Costa Rica.
- Evaluar económicamente las ventajas que presenta esta alternativa como herramienta para prolongar la vida útil de un pavimento.
- Enfatizar las ventajas de realizar mantenimiento sobre pavimentos antes de que se presenten deterioros severos.

CAPÍTULO 2 Sellos de lechada asfáltica “Slurry seals”

2.1 Definición

Es una mezcla de agregado fino bien graduado, relleno “filler” mineral, emulsión asfáltica (rompimiento lento “SS” o acelerado “QS”) y agua, que adquiere un aspecto “cremoso” cuando es mezclado. Es un proceso de sellado utilizado generalmente en pistas, calles y carreteras, para extender su vida útil. En este proceso, el “slurry seal” es fabricado por el equipo de aplicación, al mismo tiempo que se coloca.

Los slurry seals se clasifican en Tipo I, II, ó III según el tamaño de los agregados utilizados, Tipo III (pasando 9.5 mm, tamiz N° 3/8), Tipo II (pasando 6.4 mm, tamiz N° 1/4) y Tipo I (pasando 3.2 mm, tamiz N° 1/8) (Ver Figura 1), los cuales al igual que los ligantes (emulsión asfáltica generalmente) tienen cumplir con especificaciones de calidad estrictas.

Los “slurry seals” con la adición de polímeros también se denominan Microcapas “Microsurfacing”.

También se encuentra en ciertas referencias el término: *sistema de lechada asfáltica* (Slurry system) que se refiere a la mezcla, el cual se divide en tres:

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

Según la especificación AASHTO R 5 las emulsiones que pueden ser empleadas para la construcción de “slurry seal” son las emulsiones aniónicas: **SS-1**, **SS-1h** y **QS-1h** y las emulsiones catiónicas: **CSS-1**, **CSS-1h** y **CQS-1h**. (Ver Tabla 1)

Referirse al Anexo A para la explicación de la nomenclatura de las emulsiones asfálticas.

Tabla 1: Usos en general de las emulsiones asfálticas

Nota 1— Aquí solo se indican aquellos grados de emulsión asfáltica que se han utilizado en general. Es posible que bajo ciertas variaciones de agregados, condiciones climáticas, o ambas, otras selecciones sean más apropiadas. Donde el uso de las emulsiones asfálticas para otras aplicaciones distintas a las listadas aquí, se debe consultar al proveedor de la emulsión.

Tipo de construcción ^A	Especificación ASTM D 977								Especificación D 2397 (Catiónica)							
	RS-1 ^B	RS-2	HFRS-2	MS-1 HFMS-1	MS-2 HFMS-2	MS-2h HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1 ^B	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h	CQS-1h
<i>Mezclas bituminosas-agregado:</i>																
Para bases y superficies del pavimento:																
Mezcla de planta (caliente) (D3515)	-	-	-	-	-	X ^C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mezcla de planta (frío):																
Agregado de graduación abierta	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-
Agregado de graduación densa	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-
Arena	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-
Mezclado en sitio:																
Agregado de graduación abierta	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-
Agregado de graduación densa	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-
Arena	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-
Suelo arenoso	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	X	X	-
Lechada asfáltica	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	X	X	X
<i>Aplicaciones bituminosas-agregado:</i>																
Tratamiento y sellos:																
Tratamiento superficial simple (Chip seal)	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-
Tratamiento superficial múltiple	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-
Sello de grado de agregado	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sello de arena (Sand seal)	X	X	X	X	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-

Tabla 1: Usos en general de las emulsiones asfálticas

Nota 1— Aquí solo se indican aquellos grados de emulsión asfáltica que se han utilizado en general. Es posible que bajo ciertas variaciones de agregados, condiciones climáticas, o ambas, otras selecciones sean más apropiadas. Donde el uso de las emulsiones asfálticas para otras aplicaciones distintas a las listadas aquí, se debe consultar al proveedor de la emulsión.

Tipo de construcción ^A	Especificación ASTM D 977							Especificación D 2397 (Catiónica)								
	RS-1 ^B	RS-2	HFRS-2	MS-1 HFMS-1	MS-2 HFMS-2	MS-2h HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1 ^B	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h	CQS-1h
Macadam de penetración:																
Vacíos grandes	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Vacíos pequeños	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Aplicaciones bituminosas:</i>																
Sello de niebla (Fog seal)	-	-	-	X ^D	-	-	-	X ^E	X ^E	-	-	-	-	X ^E	X ^E	-
Capa de imprimación (prime coat) de penetración en la superficie	-	-	-	-	-	-	-	X ^E	X ^E	-	-	-	-	X ^E	X ^E	-
Capa de tack (Tack coat)	-	-	-	X ^D	-	-	-	X ^E	X ^E	-	-	-	-	X ^E	X ^E	-
Asfalto espolvoreado (dust binder)	-	-	-	-	-	-	-	X ^E	X ^E	-	-	-	-	X ^E	X ^E	-
Tratamiento de mantillo (mulch treatment)	-	-	-	-	-	-	-	X ^E	X ^E	-	-	-	-	X ^E	X ^E	-
Relleno de grietas	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	-
<i>Mezcla de mantenimiento:</i>																
De uso inmediato	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-
De apilamiento	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

^A Para definiciones de términos utilizados en esta tabla, referirse a la sección 3.

^B RS-1 y CRS-1 pueden ser usadas en capa de tack en casos especiales donde hay que construir de noche o humedades altas.

^C La especificación D 3515 permite el uso de otros grados de emulsión por medio de una la nota, "Otros grados de emulsión distintos a MS-2h pueden ser usados cuando la experiencia ha demostrado resultados de desempeño satisfactorios".

^D Diluida en agua por el fabricante.

^E Diluida en agua.

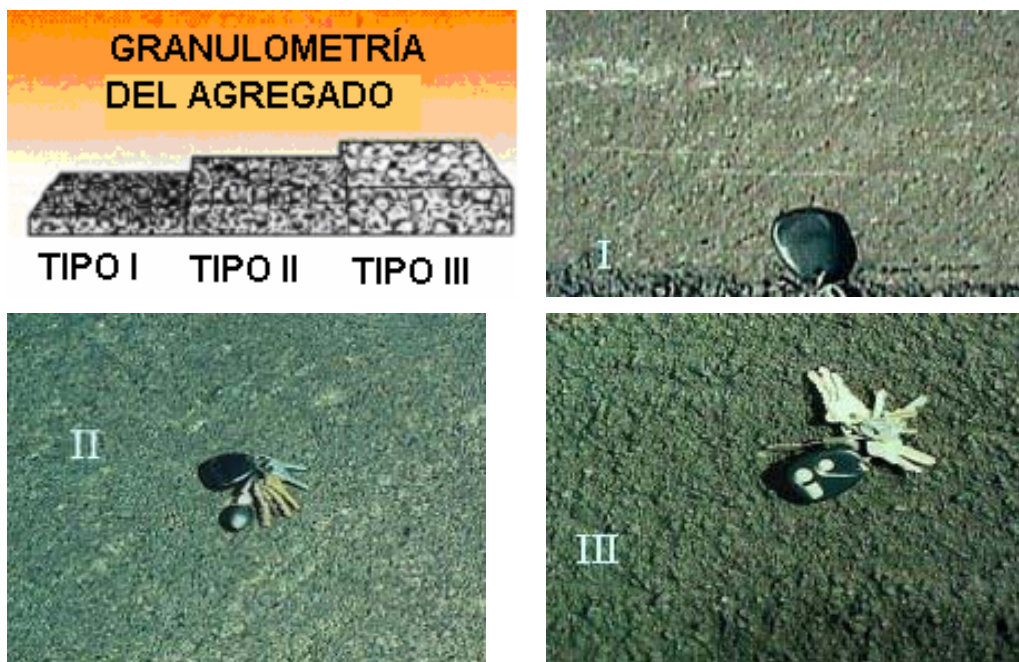


Figura 1: Tipos de slurry seals.

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 2)

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.

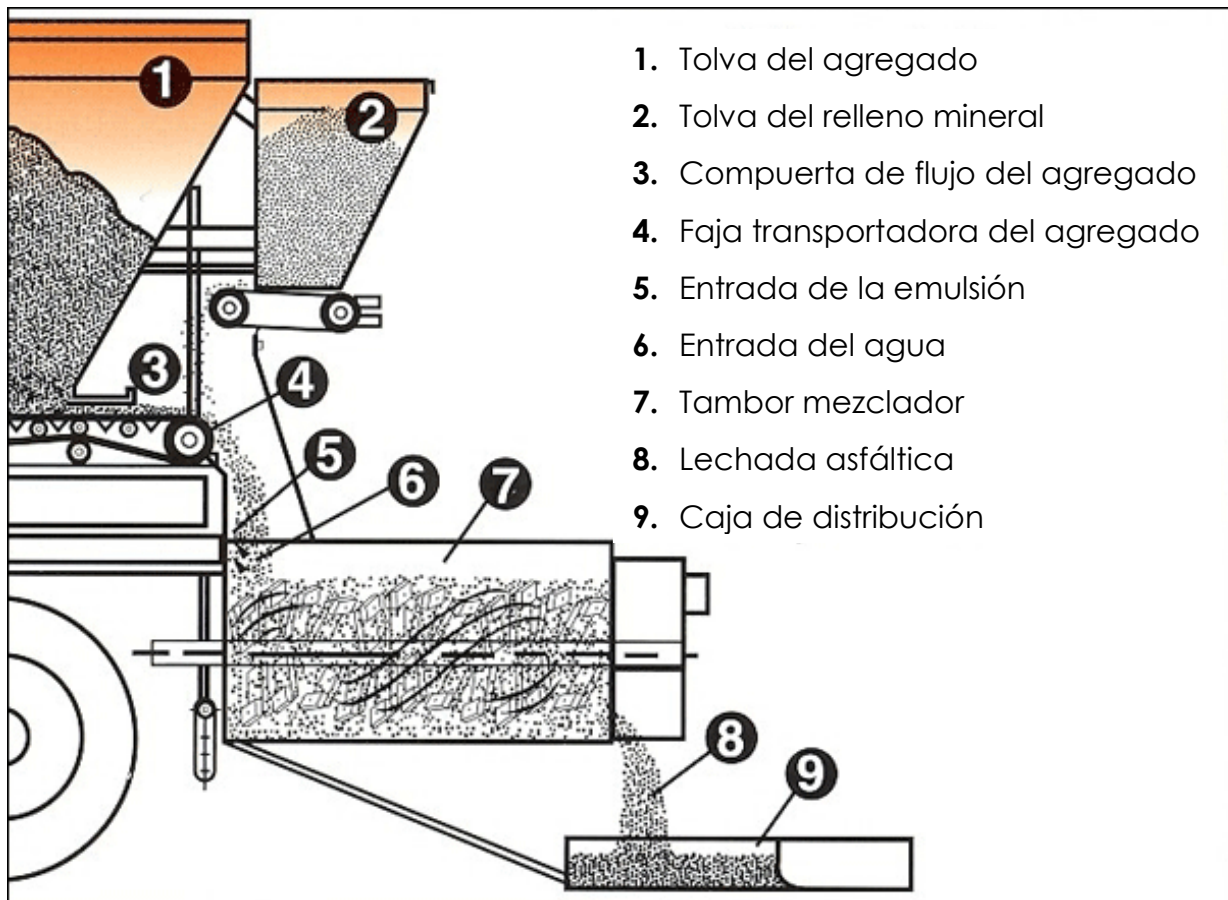


Figura 2: Esquema de la fabricación del sello de lechada asfáltica.
 Figura tomada de <http://www.a-1chipseal.com/img/imgUpload/slurrySealApplied.gif>

2.2 Historia

Para finales de los años 1920, el mantenimiento de carreteras comenzó en Alemania con un producto llamado *Schlämme*. La idea fue un proceso de mezclado en frío. La consistencia de la mezcla fue fluida; esto hizo fácil la distribución con escobas, rastrillos de hule y caja de distribución. El primer "proceso de mezclado en húmedo" fue completado en el aeropuerto de Berlín-Staaken en 1936. En el año 1938, Estados Unidos comenzó sus propias experiencias, aunque un mayor interés en los sellos de lechada asfáltica comenzó al comienzo de 1960 cuando otros emulsificantes fueron parte de la mezcla.

A finales de 1940, el equipo de fabricación de este tipo de sellos comenzó a ser más usado en el mantenimiento de carreteras. Sin embargo, no fue hasta 1955 que la máquina fue diseñada para mejorar la durabilidad del producto. El primer mezclador de proceso

continuo fue construido. La siguiente generación de equipo fue en 1959; el primer pavimentador montado en camión fue fabricado por la compañía Young Slurry Seal Incorporated con el diseñador Raymond Young, quien además fue su promotor.

Esta misma persona organizó un grupo de contratistas y se reunieron con la Asociación del Asfalto. La asociación nacional de sellos de lechada asfáltica (NSSA según sus siglas en inglés) se formó en 1963, y Raymond Young fue su primer presidente. Luego se formó a partir de ésta, la asociación internacional de sellos de lechada asfáltica (ISSA según sus siglas en inglés "International Slurry Seal Association"), finalmente en 1990 la palabra "seal" se cambió por "surfacing". (Ver Figura 3)

El Dr. Frederick Raschig de la compañía Raschig GmbH presentó el nuevo sistema de lechada asfáltica, Ralumac, en la convención de ISSA en 1980. Este nuevo sistema de lechada, microcapas, fue utilizado en Europa en los años 70 para corregir las huellas de las llantas en las autopistas. Las microcapas llegaron a los Estados Unidos en el año 1980.

Observando en retrospectiva el desarrollo del *Schlämme*, sello de lechada asfáltica y microcapas, estos productos jugaron un rol primordial en la industria de la preservación de pavimentos. Se obtuvo el mayor provecho de los materiales por medio de los equipos y maquinaria que fue desarrollada. El esfuerzo de Raymond Young y sus investigaciones han llegado hasta hoy. La importancia de ISSA es que ha reunido la parte técnica de alrededor del mundo para el intercambio de ideas.

La preocupación por la preservación del ambiente ha influido de manera importante en el desarrollo de esta técnica hasta ahora y hacia el futuro. Los sistemas no-contaminantes serán de mayor importancia en el futuro de la industria para el mantenimiento de los pavimentos.



a. Primer sello de lechada asfáltica



b. 1962, Madrid, España



c. Primer modelo construido en 1959

Figura 3: Aplicación de sellos de lechada asfáltica en Rusia

2.3 Descripción de las técnicas de preservación

El mantenimiento de las carreteras, es una de las principales preocupaciones de los departamentos de transportes, debido a que se tiene claro que la inversión necesaria para mantener las carreteras en buen estado desde los inicios de su vida útil, es más rentable que utilizar la carretera en malas condiciones (costos de operación) y tener que invertir más para poder recuperarla.

Debido a estas razones la mayoría de países se han dado a la tarea de implementar diversas técnicas de preservación y/o mantenimiento. Con el objetivo de presentar una perspectiva amplia sobre las alternativas existentes y compararlas entre sí, se presenta a continuación una síntesis de cada una:

2.3.1 Sello de niebla o sello negro: “Fog seal”

Es la aplicación de emulsión asfáltica, en la superficie del pavimento, con o sin arena. La emulsión es diluida para propiciar una adecuada adherencia y lograr cubrir la superficie completamente. El sello no debe ser demasiado grueso ya que podría causar una superficie deslizante.

Los sellos de niebla “fog seal” funcionan mejor sobre una superficie de agregado grueso ya que la emulsión asfáltica tiene espacio para introducirse entre las partículas, por otro lado si la superficie es lisa, la emulsión cubriría el agregado, ocasionando la creación de una superficie deslizante para los vehículos. Si el sello de niebla “fog seal” no fue aplicado adecuadamente y existen superficies deslizantes, se aplica a la superficie arena limpia o agregados con diámetros de 0,64 cm o menores.

Los sellos de niebla “fog seal” se utilizan para retrasar el desgaste por las condiciones climáticas, ya que impermeabilizan la superficie del pavimento mejorando su capacidad para evitar que el agua penetre en las capas subyacentes (base, subbase y subrasante) y además evita el desprendimiento de partículas (Ver Figura 4).



Figura 4: Sello de niebla (Fog seal).

Foto cortesía del Instituto del Asfalto

2.3.2 Sello de arena: "Sand Seal"

Es la aplicación de emulsión asfáltica y una cubierta de arena limpia o agregado fino. Un compactador de "llantas de hule" es usado después de aplicar la arena, posteriormente el exceso arena se remueve de la superficie.

Los sellos de arena mejoran los pavimentos que han sido expuestos a condiciones ambientales severas y además son capaces de sellar grietas finas. Pueden proporcionar también una mayor resistencia al deslizamiento, así como evitar el desprendimiento (Ver Figura 5).



Figura 5: Sello de arena (Sand seal).
Foto cortesía de Western Emulsion

2.3.3 Sello de barrido: "Scrub seal"

El proceso de construcción de este tipo de sello consiste en arrastrar un mecanismo de barrido (rastrillo) sobre la superficie del pavimento luego de que ha aplicado la emulsión asfáltica para rellenar las fisuras y los vacíos del pavimento. Una capa de arena o agregado se aplica sobre la emulsión seguida de otro arrastre del mecanismo de barrido (rastrillo), forzando a la arena a unirse a la emulsión y rellenar las fisuras y los vacíos. Luego se utiliza un compactador de llanta de hule sobre el sello. El exceso de arena o agregado es barrido fuera del camino aproximadamente 2 horas luego de la aplicación del sello dependiendo

de las condiciones del clima (Ver Figura 6). En el desarrollo de esta técnica se diseñó un producto de marca registrada P.A.S.S.[™], que ha dado muy buenos resultados en su utilización en algunos estados de Estados Unidos.



Figura 6: Proceso de colocación del sello de arena (Scrub seal).
Foto cortesía de Western Emulsion

2.3.4 Tratamientos superficiales: “Chip seal”

Los “chip seals” son el tratamiento superficial más común para los caminos de bajo volumen. Un tratamiento superficial “chip seal” es la aplicación de asfalto seguido por una cubierta de agregado. El asfalto que se aplica generalmente es en caliente, un asfalto “rebajado”, o un asfalto emulsionado. Inmediatamente después de que el ligante se aplica, el agregado se coloca sobre el asfalto, antes de que el ligante caliente se enfríe o que la emulsión rompa. Luego un rodillo neumático se utiliza para reorientar o para asentar las partículas de agregado y para compactarlo. Después de la cura o fraguado del asfalto, el exceso de agregado se barre.

Un tratamiento superficial “chip seal” puede corregir el desprendimiento y sellar grietas pequeñas además de proveer una superficie más resistente al deslizamiento. Puede ser utilizado también, luego de un sellado de grietas.

Existen también los tratamientos superficiales múltiples “multi-chip seal” los cuales son una colocación sucesiva de capas de tratamiento. Cuando estos sellos son aplicados, el tamaño del agregado usado en el primer tratamiento es mayor que el de las capas siguientes (Ver Figura 7).

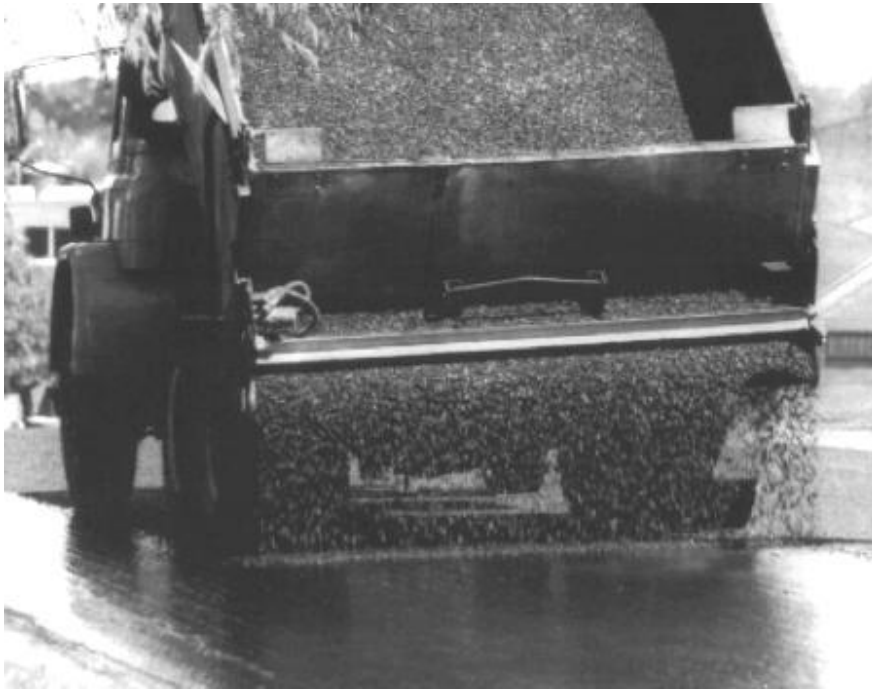


Figura 7: Colocación del agregado en el tratamiento superficial.
Foto cortesía de Instituto del Asfalto

2.3.5 Sello de capa: “Cape Seal”

Es un sello que involucra la colocación de un “chip seal” seguido por un “slurry seal”. Este proceso se desarrolló en la provincia de Cape en Sudáfrica y de ahí proviene su nombre.

Un “chip seal” se aplica a la carretera, luego se quita el exceso de agregado una vez que el asfalto haya curado. El “slurry seal” se aplica entonces sobre el tratamiento “chip seal”.

2.3.6 Sellos de lechada asfáltica: “Slurry seals”

Como se mencionó anteriormente, en la sección 2.1, el sello de lechada asfáltica es una mezcla de emulsión asfáltica de rompimiento lento o acelerado, agregado fino, relleno mineral, aditivos y agua. Los componentes son medidos con cuidado y combinados en el

sitio y se esparce con un dispositivo de rastrillo con borde de hule. Típicamente, se utiliza un vehículo especializado diseñado para mezclar los ingredientes y colocar la lechada (Ver Figura 8). El vehículo posee una caja para colocar la mezcla que se remolca y que esparce la lechada en una capa uniforme. En áreas pequeñas y parqueos, el “rastrilleo” se realiza a mano para esparcir la mezcla. Hay tres tamaños de partícula para las mezclas de lechada asfáltica, Tipo III, Tipo II y Tipo I como se mencionó anteriormente.

Los sellos de lechada asfáltica rellenan pequeñas fisuras, detiene el desprendimiento de partículas y mejora la resistencia al deslizamiento del pavimento.



Figura 8: Aplicación de un sello de lechada asfáltica.

Foto cortesía de Instituto del Asfalto

2.3.7 Microcapas: “Microsurfacing “

Es similar a un “slurry seal”, sin embargo esta técnica permite que se coloque una capa más gruesa (1.02 a 1.52 cm de grueso) y el curado se da más rápidamente que un “slurry seal”. El Microsurfacing utiliza una emulsión modificada con polímeros, mezclada con agregado quebrado, “filler” mineral (cemento, cal, polvo de piedra caliza, cenizas volantes), agua, y aditivos. Los aditivos influyen en el tiempo de mezclado y de curado de la mezcla.

2.3.8 Recubrimiento para pavimentos: “Pavement dressing”

El recubrimiento para pavimentos son emulsiones asfálticas o brea de carbón (coal tar), o una combinación de ambos. Estos pueden incluir rejuvenecedores y una variedad de

rellenos tales como fibras o rellenos minerales. Emulsiones asfálticas modificadas con polímeros son también utilizadas para recubrimientos de pavimentos en algunas ocasiones. El recubrimiento para pavimentos se utiliza generalmente para zonas de campamento, parqueos y caminos de acceso.

Los recubrimientos para pavimentos que contienen brea de carbón son utilizados para proteger de derrames de petróleo cuando es necesario, este material es rociado y rastrillado sobre el pavimento.

El recubrimiento para pavimentos se utiliza para rellenar pequeñas grietas y para sellar y proteger el pavimento asfáltico de la oxidación y el deterioro.

En la Tabla 2 se presenta una comparación de las técnicas de preservación, mencionadas anteriormente, desde el punto de vista de ventajas, desventajas, equipo y aplicación.

Tabla 2: Resumen comparativo de las técnicas de preservación

Técnica de Preservación	Ventajas	Desventajas	Equipo	Aplicación
Sello de niebla "Fog Seal"	Son más económicos comparados con otros tratamientos superficiales. Solamente se necesita un distribuidor para aplicar el sello en la mayoría de los casos.	La vida de servicio es generalmente más corta comparada con la de otros tratamientos superficiales. Si se aplica en un espesor muy grueso, podría generar superficies con falta de fricción y esto puede ser peligroso para los usuarios del camino.	El equipo necesario es un distribuidor para aplicar la emulsión esparciéndola y un distribuidor de arena (si se aplica arena).	Se aplican a una tasa de 0.23 a 0.68 l/m ² (0.05 a 0.15 gal/yr ²) de emulsión diluida.
Sello de arena "Sand Seal"	Proporciona generalmente una capa más gruesa en la superficie del pavimento comparado con el "fog seal", dando como resultado una mayor vida de servicio. En superficies con agregados pulidos puede proporcionar una resistencia mayor ante el deslizamiento.	Solamente se llenan las grietas finas y las grietas más gruesas tienden a reaparecer en un período aproximadamente de un año.	El equipo necesario para aplicar un sello de arena es un distribuidor para esparcir la emulsión del asfalto y un distribuidor para esparcir la cubierta de arena. Se emplea un rodillo "llanta de hule" para compactar y luego una barredora para retirar el exceso de arena.	Los asfaltos emulsionados se aplican a una tasa de la 0.45 a 1.13 l/m ² (0.10 a 0.25 gal/yr ²). La arena se aplica a una tasa de 9.76 a 13.56 kg/m ² (18 a 25 lb/yr ²) con lo cual se logra un espesor de 4.76 mm (³ / ₁₆ pulg.).

Tabla 2: Resumen comparativo de las técnicas de preservación

Técnica de Preservación	Ventajas	Desventajas	Equipo	Aplicación
Sello de barrido "Scrub Seal"	El método de sellado de barrido puede rellenar fisuras de hasta 12.7 mm (0.5 pulg) de ancho que normalmente se han rellenado con sellador de grietas.	Muchos contratistas están poco familiarizados con el método de sellado de barrido. Se necesitan realizar pruebas para determinar cuál emulsión normal o modificada con polímero trabaja con las escobas. Si se utiliza P.A.S.S.™, el producto cuesta más que puede que no esté disponible en todos los lugares.	El equipo es el mismo que se utiliza para la colocación de los tratamientos superficiales con la excepción del dispositivo de barrido que se necesita luego de que la emulsión y el agregado han sido aplicados.	La emulsión asfáltica es aplicada a una tasa de 0.68 a 1.81 l/m ² (0.15 a 0.40 gal/yr ²). El agregado o arena es aplicada a 5.42 a 10.85 kg/m ² (10 a 20 lb/yr ²).
Tratamientos superficiales "Chip seal"	Es la técnica más utilizada, debido a que la ruta se puede abrir al tránsito de baja velocidad, después de la aplicación del agregado.	Requiere del cuidado constante y ajuste frecuente de la tasa de aplicación del agregado, y especialmente del asfalto, para reducir al mínimo la pérdida de agregados, la exudación, y otros problemas. Es necesario que el personal a cargo tenga experiencia en el ajuste de las tasas de aplicación ya que generalmente se requiere el procedimiento de prueba y error. Los parabrisas de los vehículos se pueden dañar por el agregado suelto que queda antes de que se quite el exceso, y además se genera mucho polvo durante el proceso de barrido.	Un distribuidor esparce la emulsión asfáltica, el ligante asfáltico, o el asfalto rebajado. Un distribuidor para colocar el agregado. Un compactador de "llanta de hule" para reorientar y/o asentar las partículas de agregado. Una barredora mecánica para quitar el exceso de agregado.	El asfalto emulsionado se aplica en una tasa de 1.35 a 2.26 l/m ² (0.30 a 0.50 gal/yr ²). El tipo y granulometría del agregado varía pero está en un rango 5.52 a 12.7 mm (3/8 a 1/2 pulg) de tamaño máximo y están generalmente distribuidos uniformemente y libres de impurezas. El agregado se aplica a una tasa de 13.56 a 27.12 kg/m ² (25 a 50 lb/yr ²).

Tabla 2: Resumen comparativo de las técnicas de preservación

Técnica de Preservación	Ventajas	Desventajas	Equipo	Aplicación
Lechada asfáltica “Slurry Seal”	Provee una superficie más uniforme comparada con un tratamiento “chip seal”, con todas las ventajas asociadas a esta condición, por ejemplo confort, seguridad y disminución de la posibilidad de ocurrencia de otros deterioros.	El equipo para aplicarlo no es tan común como los equipos para la aplicación de “chip seal”, debido a que es un equipo especializado para la fabricación (mezclado y colocación)	El equipo necesario se utiliza en sitio, para combinar en proporciones exactas los componentes. Para todas las aplicaciones es necesario un camión especial para mezclar y para aplicar la mezcla es necesario el uso de un aditamento especial llamado “spreader box”	El espesor depende del tamaño máximo del agregado empleado. La cantidad de agregado, de filler, de aditivos, y de agua se basa en el diseño de la mezcla, dependiendo de los materiales componentes, condiciones ambientales, y la superficie de la carretera existente.
Sello de capa “Cape seal”	Aumenta la vida de un “chip seal” recubriendo mejor las partículas de agregado y protegiendo la superficie. Disminuye la posibilidad de desprendimiento de agregados y crea una superficie más densa.	El equipo para el tratamiento incluye tanto el equipo para la construcción del “chip seal” como el equipo para la construcción de “slurry seal”.	Se necesita el equipo mencionado para la construcción del “chip seal” y para el “slurry seal”.	La aplicación es igual a la construcción del “chip seal” y el “slurry seal”.
Microcapas “Microsurfacing”	El Microrecubrimiento se puede colocar en una capa más gruesa que un “slurry seal” y, por lo tanto, se puede utilizar para llenar roderas y corregir problemas menores de nivelación. Tiene un tiempo de curado menor que un slurry seal, por lo tanto el tránsito se puede abrir en un período de tiempo más corto.	Requiere equipo especial que es más pesado y más robusto que una máquina mezcladora para “slurry seal”. El costo es más alto que un tratamiento “slurry seal” o “chip seal”.	Se utiliza una máquina auto-propulsada especial.	Se aplica hasta 1.52 cm de espesor. Las roderas de no más de 3.81 cm de profundidad se pueden corregir en una sola pasada. La cantidad de cada componente es determinada por el diseño de la mezcla.
Recubrimiento para pavimentos “Pavement dressing”	Puede ser aplicado en pequeñas cantidades en accesos o caminos peatonales. La superficie tratada es lisa similar a la lechada asfáltica	Cuando se compara esta técnica con otros tipos de tratamientos de superficie no resulta tan efectiva desde el punto de vista de costo	No requiere equipo especial para su construcción.	No requiere de una medición de la tasa de aplicación.

2.4 Métodos de preservación asociados a los distintos tipos de deterioro empleados en otros países

Es importante, en todo sistema de administración de pavimentos, tener claro las características y condiciones de la red vial, desde el punto de vista tanto funcional como estructural.

De acuerdo con las evaluaciones visuales es posible determinar los deterioros presentes en la superficie de ruedo, así como las posibles causas que los originan.

Con base en este tipo de información se vuelve más eficiente la selección de la técnica de mantenimiento o preservación adecuada al tipo de deterioro existente, esto permite entonces que la solución propuesta sea la que realmente la situación requiere, evitando así gastos excesivos o aplicación de procedimientos inapropiados, que muchas veces, lejos de solucionar el problema lo empeoran.

A continuación se listan las consideraciones iniciales que hay que tomar en cuenta para la aplicación de cualquier técnica de mantenimiento:

- ⇒ La condición existente del pavimento
- ⇒ Preparación de la superficie, desyerbar, el sellado de grietas, reparación de baches, limpieza y remoción de materiales
- ⇒ Requisitos de niveles de tránsito y control del tránsito
- ⇒ Condiciones del clima y el tiempo
- ⇒ Aplicaciones en horario de día o de noche
- ⇒ Raspado con equipo especializado
- ⇒ Reflejo de grietas
- ⇒ Desprendimiento o descascaramiento del producto
- ⇒ Disponibilidad de materiales y contratistas

En la Tabla 3 se recomiendan cuales métodos de preservación se pueden utilizar dependiendo del tipo de deterioro superficial.

Tabla 3: Métodos de preservación recomendados para deterioros superficiales típicos

Posible tratamiento para	Sello de niebla	Sello de arena	Tratamiento superficial	Tratamiento superficial múltiple	Sello de lechada asfáltica	Sello de capa: "Cape Seal"	Microcapas	Recubrimiento de pavimentos
Desprendimiento de partículas y desgaste por erosión	X	X	X	X	X	X	X	X
Ahuellamiento							X	
Agrietamiento		X	X	X	X			
Problemas de drenaje (Flushing)			X	X				
Agregados pulidos	X	X	X	X	X	X	X	X

2.5 Casos de aplicación de sello de lechada asfáltica en otros países

2.5.1 Casos generales

La aplicación de los sellos de lechada asfáltica es adecuada cuando se tiene la necesidad de tratar diversos problemas, sobre todo de índole funcional o deterioros que se han identificado de manera visual.

Los sellos de lechada asfáltica han resultado eficientes en otros países para:

- Sellar de grietas menores.
- Sellar pavimentos que se encuentran en buen estado pero presentan cierto grado de oxidación (Figura 9.a)
- Corregir el desprendimiento de partículas (Figura 9.b)
- Restaurar la textura superficial y la resistencia al deslizamiento (Figura 9.c)
- Reducir el ruido e impermeabilizar. (Figura 9.d)
- Mejorar la superficie de ruedo cuando, por restricciones de peso, no es posible colocar capas de mayor espesor.
- Mejorar el confort del usuario y la regularidad superficial de la carretera.



a. Pavimento oxidado



b. Desprendimiento de partículas



c. Superficies lisas



d. Superficies con ruido y permeables

Figura 9: Casos generales de la adecuada aplicación de sellos de lechada asfáltica.

De acuerdo con el tipo de necesidad, se escoge la granulometría para definir el tipo de sello de lechada asfáltica requerido.

El sello de lechada asfáltica de **Tipo I** (más fina), se utiliza para parqueos y para la pista de aterrizaje de los aeropuertos; la tasa aproximada de aplicación está en un rango de 3.25 a 5.4 kg/m². La granulometría **Tipo II** (general), se utiliza en calles residenciales, caminos interurbanos, accesos, pistas de taxeo en aeropuertos, espaldones, rampas de acceso de concreto y puentes; la tasa aproximada de aplicación está en un rango de 5.4 a 8.1 kg/m². Finalmente, la granulometría **Tipo III** (más gruesa) se utiliza en autopistas, también en las rampas de acceso de concreto y puentes; la tasa aproximada de aplicación está en un rango de 8.1 a 15.5 kg/m². En la Figura 10 se presentan casos en los cuales es factible aplicar los sellos de lechada asfáltica.



a. Accesos



b. Aeropuertos



c. Calles residenciales



d. Calles interurbanas



e. Espaldones



f. Puentes

Figura 10: Aplicación de sellos de lechada asfáltica de acuerdo con el tipo de granulometría.

A continuación se presenta la Figura 11, que resume de manera porcentual, la distribución del uso de un total de 3.6 millones de toneladas métricas de sellos de lechada asfáltica alrededor del mundo, en el año 2000.

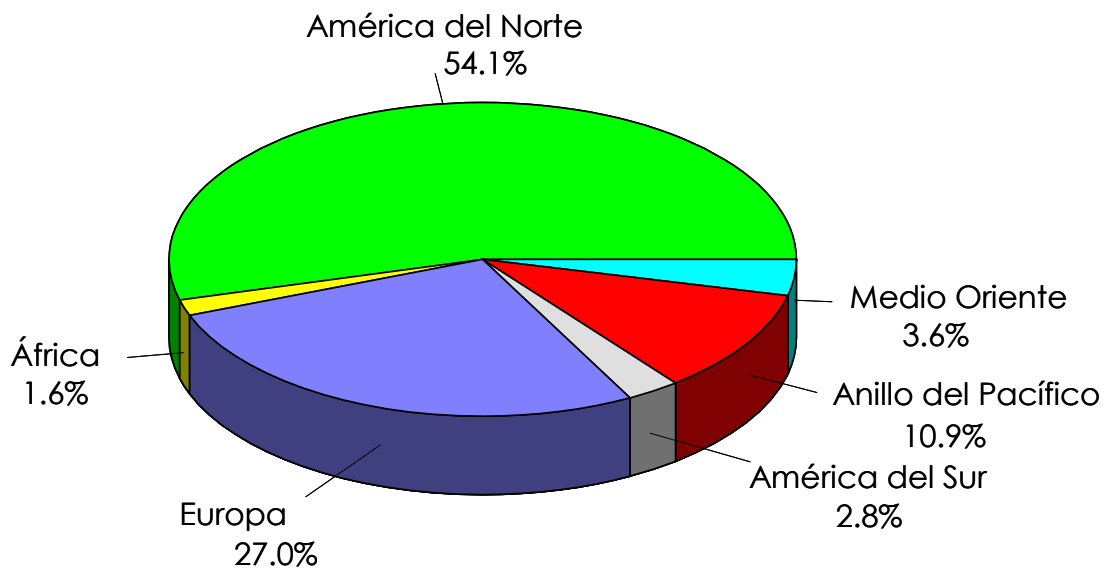


Figura 11: Aplicación de sellos de lechada asfáltica alrededor del mundo.

Tomado de Anspaugh, C., World Usage of Slurry and Microsurfacing, AEMA/ISSA Annual Conference, March 2000

2.5.2 Proyectos específicos

Con respecto a los proyectos específicos, hay infinidad de casos alrededor del mundo, muchos países han utilizado sellos de lechada asfáltica en todas sus posibles aplicaciones como autopistas, aeropuertos, zonas residenciales, entre otras; pero específicamente en países como Canadá, Estados Unidos, Alemania, Italia, Francia, Inglaterra, Australia, Rusia y China, entre otros, se ha aplicado esta técnica de preservación en autopistas de gran volumen de vehículos, lo cual ha demostrado un excelente desempeño y una vida útil mayor a la esperada.

Actualmente en los siguientes estados de Estados Unidos han utilizado sellos de lechada asfáltica en autopistas e interestatales. Por ejemplo, en 1996 el departamento de transportes del estado de Georgia colocó más de 400000 m² en interestatales y autopistas cerca de Atlanta antes de que iniciaran las olimpiadas de verano.

En la siguiente lista se enumeran algunos estados en los que esta técnica se ha aplicado con éxito:

⇒ California

⇒ Delaware

⇒ Georgia

⇒ Illinois

⇒ Kansas

⇒ Maine

⇒ Michigan

⇒ Minnesota

⇒ Missouri

⇒ New Hampshire

⇒ New York

⇒ North Dakota

⇒ Texas

⇒ Vermont

⇒ Wyoming

⇒ Montana

⇒ North Carolina

⇒ Virginia

⇒ Oklahoma

Algunos ejemplos de interestatales que han sido un éxito en el uso de este tipo de sellos en algunos estados son: I-80, I-5, I-99, I-77, I-81, I-44.

A continuación se presentan algunos casos muy específicos de la aplicación de estos sellos con el equipo de mezclado y colocación.

a) Autopistas e interestatales del estado de California

Muchos estados han utilizado los sellos de lechada asfáltica, en la Tabla 4 se listan algunos casos que todavía están en servicio al tiempo de la redacción de este informe, esta tabla incluye la identificación del proyecto, el clima predominante, el tipo de sello (Tipo I, II o III) y su edad.

Tabla 4: Resumen de proyectos de sellos de lechada asfáltica del estado de California

Identificación	Clima	Tipo/ Edad
I 99 Lodi	Verano caliente, invierno frío y húmedo	Tipo III 10 años aún en funcionamiento
I 99 Stockton	Verano caliente, invierno frío y húmedo	Tipo III 5 años adicionales
I-5 Santa Nella	Verano caliente, invierno frío y húmedo	Tipo III 8 años adicionales
RT 101 Crescent City	Verano caliente, invierno frío y húmedo	Tipo III 14 años
RT 101 Trinidad	Verano templado, invierno frío	Tipo III 15 años
I-80 Forrest Hill	Verano caliente, invierno frío y húmedo	Tipo III 16 años
I-5 Redding	Sobre la línea de nieve	Tipo III 12 años
RT 32 Orland	Verano caliente, invierno frío y húmedo	Tipo III 15 años
RT 273 Anderson	Verano caliente, invierno frío y húmedo	Tipo III 15 años
RT 101 Crescent City	Invierno frío	Tipo III 14 años
RT 1 Fort Bragg	Invierno frío	Tipo III 12 años
RT 44 Redding	Sobre la línea de nieve	Tipo III 12 años
RT 101 Camarillo	Tránsito muy alto y humedad alta	Tipo III 4 años aún en funcionamiento
RT 299 Redding	Sobre la línea de nieve	Tipo III 10 años
I-99 Merced	Verano caliente, invierno húmedo	Tipo III 5 años aún en funcionamiento

Tabla tomada de artículo "Maintenance of high traffic roads using slurry surfacing" de Glynn Holleran, Jeffrey R. Reed y Irina. V. Motina.

b) Casos de Rusia

En Bielorrusia se colocó un sello de lechada asfáltica en la autopista entre las ciudades de Minsk y Molodechno, también se colocó en la circunvalación en la ciudad de Minsk y en la autopista entre Moscú y Minsk. (Ver Figura 12)



a. Minsk-Molodechno



b. Circunvalación Minsk



c. Moscú-Minsk

Figura 12: Aplicación de sellos de lechada asfáltica en Rusia.

c) Casos en Ecuador

En Ecuador se colocó 180 km de sello de lechada asfáltica en la provincia de Pichincha y Esmeraldas, así como 102 km en la provincia de Manabi. (Ver Figura 13)



a. Pichincha y Esmeraldas



b. Pichincha y Esmeraldas



c. Equipo de mezclado y colocación

Figura 13: Aplicación de sellos de lechada asfáltica en Ecuador.

d) Aeropuerto de Barcelona en España

En el año 2004, la pista de aterrizaje del aeropuerto de Barcelona se trató con un sello de lechada asfáltica. (Ver Figura 14)



Figura 14: Aplicación de sellos de lechada asfáltica en Aeropuerto de Barcelona.

e) Aplicaciones en Sur África

En ciertas regiones de recursos muy limitados, se ha implementado la aplicación de sellos de lechada asfáltica, de manera manual (mano de obra realiza labores de mezclado y colocación), en rutas sin pavimentar de bajo tránsito y que en la época de invierno se vuelven intransitables pues el impacto de reemplazar el agregado desprendido es insostenible económicamente, y en el momento del realizar el análisis de costo-beneficio la pavimentación de estas rutas no se justifica. Pero desde el punto de vista socio-ambiental la preservación de estas rutas con tránsitos de 20 vehículos por día, se justifica.

Se requiere que la subrasante tenga una buena rigidez con CBR de más de 15% y ha habido sitios donde el CBR ha sido mayor de 25%, lo que ha producido que no se necesite importar material para conformar las capas del pavimento para alcanzar una buena capa base que posea la capacidad estructural necesaria.

El acabado de la capa de base es un elemento crítico para la aplicación del sello (Ver Figura 15). Como los sellos normalmente tienen un espesor de 4 a 5 mm, las tolerancias del acabado de la base tienen que ser mejores que esta medida. Cualquier irregularidad mayor que el espesor del sello resulta en una capa de sello más delgada o que del todo las "crestas" no queden recubiertas en la superficie, lo que produce que el deterioro sea más acelerado y luego se formen baches.



a. Superficie no adecuada



b. Superficie adecuada

Figura 15: Superficie de base para la aplicación del sello.

Los sellos de lechada asfáltica que cumplen con las especificaciones de calidad de los agregados, han resultado efectivos como la primera capa de impermeabilización para rutas de bajo volumen (menos de 75 vehículos por día) particularmente para un conteo de tránsito pesado de menos de 3 o 4 vehículos por día). Se recomienda su uso en áreas pequeñas y de mantenimiento localizado. En estos casos siempre hay que aplicar un sello de imprimación antes de la aplicación del sello para asegurar la unión entre capas y que el asfalto del sello no sea absorbido por la capa de base.

Se ha observado algunos deterioros al **utilizar sellos de lechada asfáltica** en vías de bajo volumen, como por ejemplo:

- Exudación, pues el sello de imprimación no fue bien aplicado y resultó en un exceso de asfalto luego de aplicar el sello y abrir al tránsito la vía (Figura 16.a)
- Drenajes laterales insuficientes que producen que la orilla del sello se desprenda (Figura 16.b)

- Por ser una capa tan delgada es propensa al envejecimiento prematuro y es probable que se fatigue produciendo agrietamiento tipo cuero de lagarto (Figura 16.c)
- Caso severo en el cual al sello nunca se le realizó algún tipo de mantenimiento (Figura 16.d)



a. Exudación



b. Problemas de drenaje



c. Agrietamiento por fatiga



d. Desgaste severo

Figura 16: Casos en los que el sello de lechada asfáltica no ha sido suficiente aplicado en rutas de bajo volumen.

2.5.3 Casos en los que no es recomendable aplicar sellos del lechada asfáltica

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 17.a)
- Descascaramiento de la superficie de rueda (Figura 17.b)

- Grietas transversales con desprendimiento severo en el borde (Figura 17.c)
- Ahuellamiento severo (Figura 17.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 17** 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. Descascaramiento



c. Agrietamiento trasversal con desprendimiento de borde



d. Ahuellamiento severo

Figura 17: Casos en los que el sello de lechada asfáltica no es suficiente.

CAPÍTULO 3 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”.

3.1 Ensayos para emulsiones asfálticas

Los ensayos de laboratorio se realizan para medir ya sea el desempeño u otras características de composición, consistencia y estabilidad del material. El propósito de los ensayos es proveer datos para establecer los requisitos de especificación, 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).

a) 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 5 se presenta un resumen de los métodos de ensayo para las emulsiones **catiónicas**.

Tabla 5: 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 sulfosuccinato 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

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

b) Emulsiones aniónicas

Para las emulsiones **aniónicas** o en general, los requisitos de ensayo se establecen en las normas AASHTO M 140 y ASTM D 977. En la Tabla 6 se presenta un resumen de los métodos de ensayo para las emulsiones asfálticas en general.

En el método de ensayo AASHTO T 59 también se mencionan otras pruebas para las emulsiones: contenido de agua (secciones 4-10), identificación del aceite destilado por medio de micro-destilación (secciones 16-20), asentamiento (secciones 45-50), recubrimiento (secciones 64-67), miscibilidad en agua (secciones 68-70), ensayo de identificación para emulsiones catiónicas de rompimiento rápido (secciones 97-105), identificación de emulsiones catiónicas de rompimiento lento (secciones 106-112), método de campo para recubrimiento (secciones 113-118), recubrimiento para la fórmula de trabajo (secciones 119-

125), el peso por galón de emulsión (secciones 126-132) y congelamiento (secciones 71-73) que en nuestro caso no aplica pues no se presentan temperaturas tan bajas en el país

Tabla 6: Resumen de métodos de ensayo que se realizan en emulsiones asfálticas en general.

TIPO DE ENSAYO	AASHTO	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
% Demulsibilidad en 35 ml de cloruro de calcio al 0.02 de Normalidad	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	T 59 (58-63) ¹	D 244 (58-63) 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		
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
Flotamiento a 60 °C	T 50	D 139

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

Es importante aclarar que no todos los ensayos se tienen que realizar siempre, sino la combinación de ensayos depende del tipo de emulsión, por ejemplo el ensayo de Flotamiento se realiza en emulsiones Tipo HFRS-2, HFMS-1, HFMS-2, HFMS-2h y HFMS-2s.

Esta sección es para ilustrar acerca de todas las posibles características que se pueden medir a las emulsiones asfálticas en general.

A continuación se describen los métodos de ensayo que se mencionan en la Tabla 5 y la Tabla 6.

3.1.1 Muestreo de emulsiones

El propósito es obtener muestras representativas, para poder caracterizarlas y extrapolar estas características a las condiciones reales y la naturaleza de la emulsión asfáltica. 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 18)



a. Galón plástico



b. Cubeta

Figura 18: 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

3.1.2 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 19), el resultado de 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 19: Equipo de ensayo para viscosidad Saybolt Furol.

3.1.3 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.

3.1.5 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 (MS, medium 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.

3.1.6 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.

3.1.7 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 (N°14), se indica la capacidad de la emulsión para mezclarse con materiales de una mayor área superficial sin romperse.

3.1.8 Ensayo del tamiz

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 (N° 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.

3.1.9 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.

3.1.10 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.

3.2 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 7 se resumen los ensayos que se pueden realizar a los agregados que se utilizan para producir "slurry seal".

Tabla 7: Métodos de ensayo para los agregados que se utilizan para "slurry seals".		
TIPO DE ENSAYO	DESIGNACIÓN AASHTO	DESIGNACIÓN ASTM
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

3.2.1 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 que 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".

3.2.2 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.

Adicionalmente, los datos pueden ser útiles para desarrollar modelos para predecir características físicas de los materiales. 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 (Nº 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.

3.2.3 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.

3.2.4 Caras fracturadas

El ensayo se utiliza para determinar el porcentaje en peso de agregado de más de 4.75 mm con una o más caras fracturadas, que para tratamientos superficiales es de gran importancia pues entre más caras fracturadas tenga el agregado mayor será la estabilidad de los tratamientos 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 20). 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.

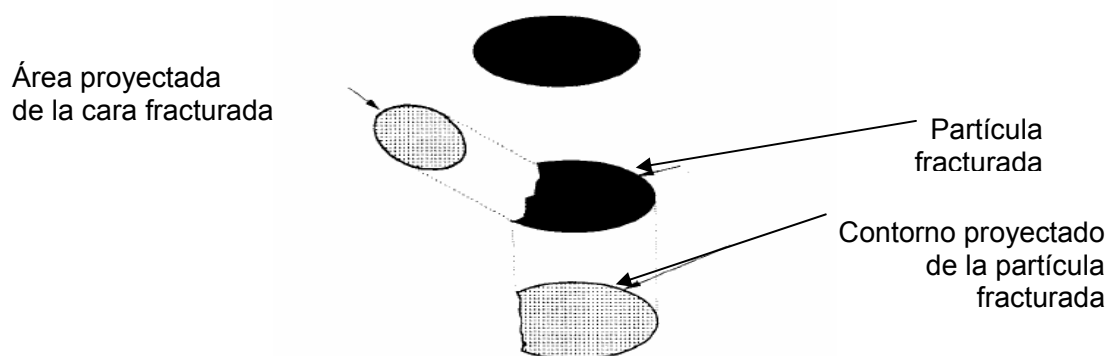


Figura 20: Definición gráfica de cara fracturada.

Figura adaptada de ASTM D 582.

3.2.5 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.

3.2.6 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 las 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.

3.2.7 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 tratamiento 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 para repetir luego la inmersión, esa 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.

3.3 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 el diseño de 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 8 donde se resumen los métodos que se deben de aplicar en el laboratorio para establecer el diseño de mezcla.

Tabla 8: 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

3.3.1 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, 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, 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 del contenedor, sin perder asfalto o finos en las paredes del contenedor. El método se describe en el documento ISSA TB 101. (Ver Figura 21).



a. Contenedor plástico con extensión



b. Lugar de muestreo



c. Toma de muestra en el flujo continuo



d. Muestra para ensayar

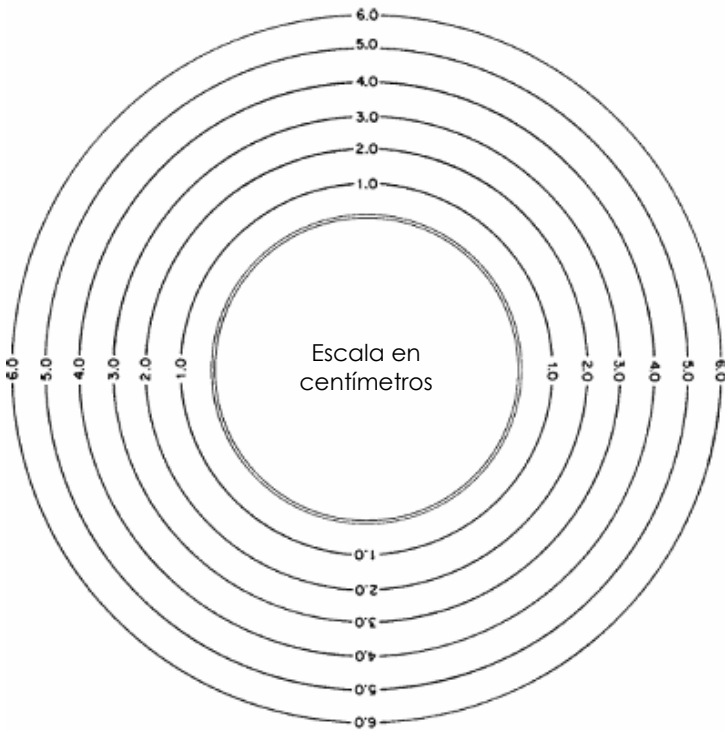
Figura 21: Ejemplo de muestreo de mezcla de lechada asfáltica.

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

3.3.2 Ensayo de consistencia

El ensayo de consistencia determina el contenido óptimo de diseño de agua, 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 como el 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 22) y 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

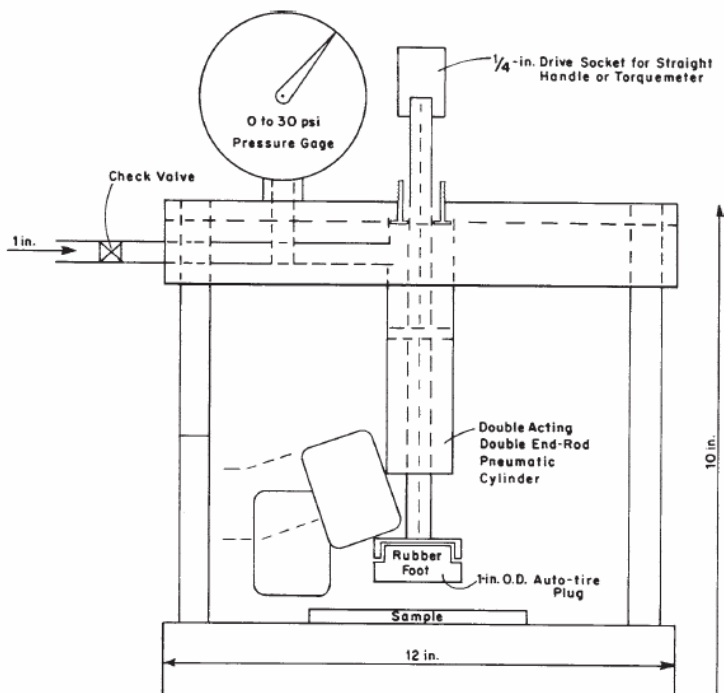


b. Consistencia de la lechada asfáltica
Figura tomada de
<http://www.slurry.com/images/generalpres80.jpg>

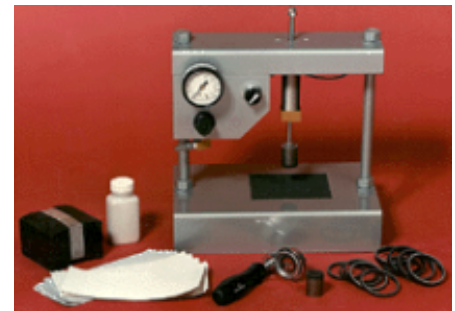
Figura 22: Ensayo de consistencia para slurry seals.

3.3.3 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 23) y se aplica una presión de 200 kPa, y 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 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 23: Equipo para medir la cohesión en slurry seals.

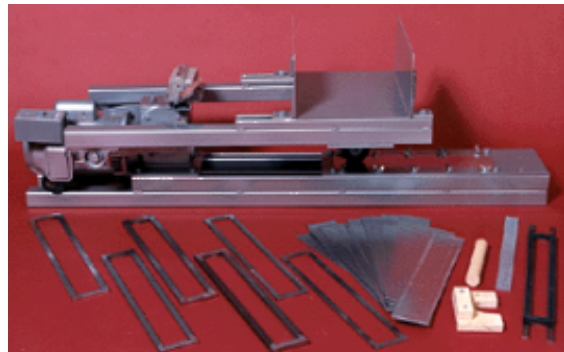
3.3.4 Exceso de asfalto usando la rueda cargada Load Wheel Tester (LWT)

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 oscilatoria cargada. La prueba puede ser usada para diseñar, para establecer los límites máximos de contenido de asfalto y permite al diseñador de la mezcla evitar la separación del asfalto del agregado bajo cargas de tránsito pesado. 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 24) 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 24: Ensayo de exceso de asfalto con rueda cargada.

3.3.5 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 fórmula de trabajo 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.

3.3.6 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.

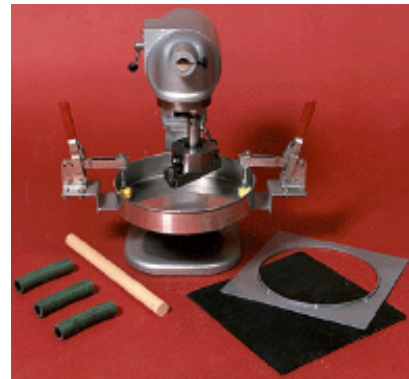
Después de remover el molde, el espécimen es curado por secado a masa constante a una temperatura de 60 °C. El espécimen de slurry es sumergido en un baño de agua a 25 °C por un periodo de 1 hora (o 6 días para la clasificación del sistema), después se erosiona mecánicamente bajo el agua con una manguera de hule que se mueve 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 25)



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>

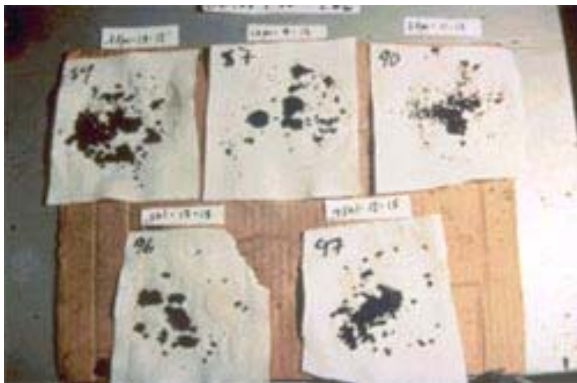
Figura 25: Ensayo de abrasión con el equipo de pista.

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

Este es un procedimiento para realizar mezclas de lechada asfáltica de prueba para determinar los porcentajes de los componentes de la mezcla por medio de la variación de los porcentajes de composición y establecer los siguientes parámetros: rigidización de la mezcla o 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.

3.3.8 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 26). 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 26: Ensayo de compatibilidad con el equipo Schulze-Breuer y Ruck.

3.3.9 Procedimiento para el 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.

3.3.10 Estimación de la tasa de esparcimiento y medición de la macrotextura

Este método del cajón de arena, para medir la macrotextura del pavimento, ofrece un procedimiento para encontrar también la tasa de esparcimiento del sello que se debe utilizar en campo, mediante la caja de distribución del equipo especializado de mezclado y colocación. Este es un ensayo que se realiza en el sitio de la pavimentación, el cajón de dimensiones estándares se llena de arena (granulometría establecida) y se arrastra sobre la superficie, la distancia resultante se relaciona con la tasa de esparcimiento de la lechada asfáltica. El método se describe en el documento ISSA TB 112.

3.3.11 Diseño, ensayos y construcción de los sellos de lechada asfáltica “slurry seals”

Este método es un resumen del procedimiento para el diseño de la mezcla de los distintos componentes. Además se especifican 4 métodos de ensayo para sellos de lechada asfáltica y por último hace una breve referencia a los equipos y métodos para la construcción de los sellos de lechada asfáltica “slurry seal”. Este método se describe en ASTM D 3910.

CAPÍTULO 4 Especificaciones de calidad

4.1 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 aniónica. Debe cumplir con lo establecido en la norma AASHTO M 140 o ASTM D 977. Los aspectos más importantes, de estos documentos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Resumen de especificaciones para emulsiones aniónicas, utilizadas en la construcción de slurry seal.

TIPO DE ENSAYO	SS-1		SS-1h		QS-1h	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
En la emulsión						
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C (seg)	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.

Adaptada de AASHTO M 140 ("Table 1: Requirements for emulsified asphalt")

(b) 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 10.

Tabla 10: Resumen de especificaciones para emulsiones aniónicas, utilizadas en la construcción de slurry seal.

TIPO DE ENSAYO	CSS-1		CSS-1h		CQS-1h	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
En la emulsión						
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C (seg)	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.

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

4.2 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 11 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 12 se resumen los tres tipos de granulometría y también se muestran de manera gráfica en la Figura 27.

La tolerancia de desviación de la granulometría en cada tamiz también se muestra en la Tabla 12.

Tabla 11: Resumen de especificaciones para los agregados finos, utilizados en la construcción de slurry seal.

Ensayo	Especificación
Granulometría AASHTO T 27 y T 11	Tabla 12
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)

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 12: 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	

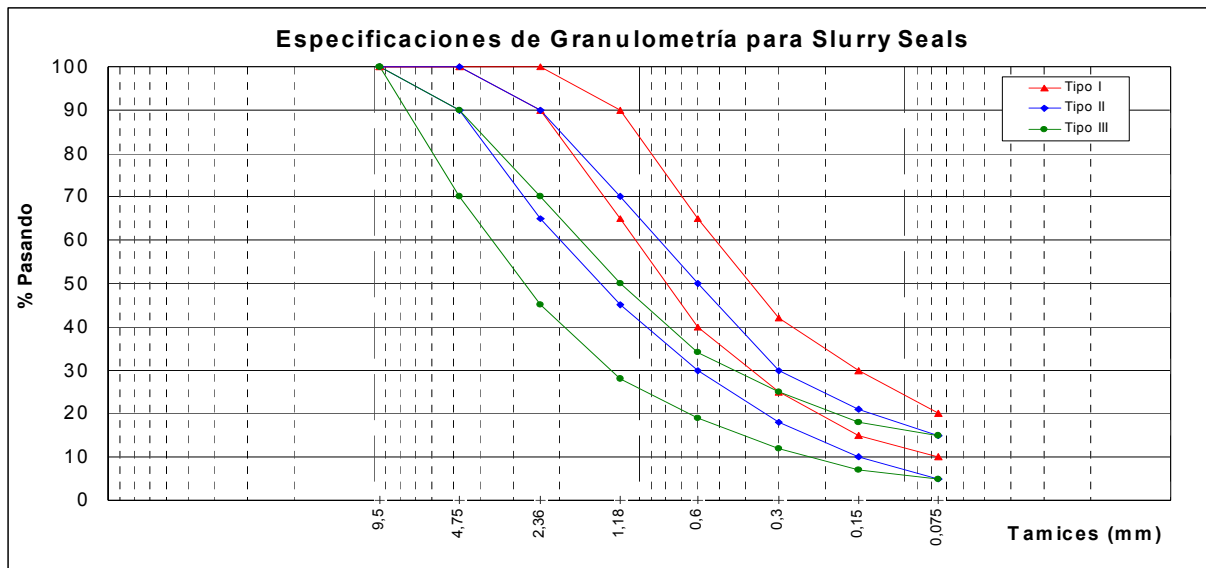


Figura 27: Rangos de curvas granulométricas para los tres tipos de slurry seals.

4.3 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.

4.4 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 13.

Tabla 13: Resumen de especificaciones granulométricas para los rellenos minerales para ser utilizados en slurry seals.

Tamiz	Porcentaje pasando
1.18 mm	100
600 μm	97 – 100
300 μm	95 – 100
75 μm	70 – 100

4.5 Mezclas de lechada asfáltica “slurry seals”

Las especificaciones para la lechada asfáltica están relacionadas con el diseño de la mezcla. En la Tabla 14 se muestra el resumen de las características que se deben cumplir para obtener una mezcla de lechada asfáltica de buen desempeño.

Tabla 14: 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
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%)
Pérdida por abrasión "pista húmeda"	TB 100	807 g/m ²
Mezclas de prueba para establecer tiempo de mezclado (a la temperatura durante la construcción)	TB 113	Controlable hasta 180 s mínimo

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 %.
- El porcentaje de agregado pasando cada malla deber estar dentro del rango de tolerancia del apilamiento como se indica en la Tabla 12.
- 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 12, 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 5 Equipos y procedimientos para la construcción

5.1 Equipos

Los equipos para la construcción de sellos de lechada asfáltica constan de un *mezclador* y una *caja de distribución*. (Ver Figura 28)



Figura 28: Equipo para la fabricación y colocación de sellos de lechada asfáltica.

5.1.1 Mezclador de lechada asfáltica

El equipo para la fabricación de los sellos de lechada asfáltica, consta de un *equipo especializado* de mezclado, que puede ser de autopropulsión, continua, o montado en un camión. Los equipos de montaje en camión, se utilizan mayormente en carreteras angostas, parqueos y calles sin salida; mientras que los equipos continuos se usan en carreteras y autopistas para darle continuidad a la mezcla y por la reducción de las juntas constructivas.

La máquina de fabricación debe ser una unidad de mezclado de *flujo continuo* con controles calibrados de dosificación con lectura fácil, capaces de medir y dosificar de manera precisa la proporción de agregado, agua y emulsión asfáltica en el *tambor mezclador*. Todo lo anterior a través de un sistema automatizado que permita mezclar constantemente la lechada asfáltica.

El tambor mezclador debe ser una cámara que procese uniformemente la materia prima introducida y que descargue el producto completamente mezclado, de manera continua en una base. El equipo debe ser capaz de prehumedecer el agregado inmediatamente antes de mezclarlo con la emulsión. El mecanismo en la cámara mezcladora debe ser capaz de combinar todos los componentes sin deteriorarlos.

La máquina mezcladora debe poseer una **tolva** de alimentación para los agregados finos, la cual incluye un dispositivo o método para medir la proporción predeterminada de relleno mineral dentro de la mezcladora. Cuando la fórmula de trabajo requiere de aditivos minerales, la máquina debe poseer una tolva extra para poder almacenar el relleno mineral, que debe ser alimentado al mismo tiempo y en la misma ubicación del agregado.

También debe estar equipada con un **sistema de agua a presión** con una barra de aspersores, para humedecer la superficie previo a la distribución de la lechada asfáltica, esta aspersión se debe hacer a una tasa establecida aproximada de 0.13 a 0.27 litros por metro cuadrado. (Ver Figura 29)



Figura 29: Dispositivo para humedecer la superficie en el camión mezclador.

El equipo debe tener suficiente capacidad de almacenaje para el agregado, emulsión asfáltica, relleno mineral, aditivos (si se utilizan) y agua, para mantener un adecuado suministro en los dispositivos de dosificación.

A continuación, en la Tabla 15 se presenta de manera resumida los distintos modelos de equipos para la construcción de sellos de lechada asfáltica.

Tabla 15: Resumen de equipos para la fabricación y colocación de los sellos de lechada asfáltica.





Empresa	Tipo	Modelos	Contacto
<p>Bergkamp</p> 	<p>Pavimentadoras montadas sobre camión</p>	<p>Serie M2 M206, M208, M210, M212</p>  <p>M310</p> 	<p>500 East Schilling Road Salina, KS 67401 Phone: 785-825-1375 Fax: 785-825-4269</p> <p>México y América Latina Ray Saucedo intlsales@bergkampinc.com</p> <p>Norte América y resto del mundo Bill Cooper sales@bergkampinc.com</p>
	<p>Pavimentadoras montadas sobre remolque</p>	<p>M216</p> 	
	<p>Pavimentadora continua</p>	<p>M1</p> 	
	<p>Unidades móviles de soporte</p>	<p>MS11, MS13 y MS21</p> 	
<p>Breining</p> 	<p>Pavimentadoras montadas sobre camión</p>	<p>Slurrypaver SP 6000, SP 8000 y SP 10000</p> 	<p>Uferstraße 24 D-73630 REMSHALDEN- Grunbach Allemagne Tel: +49 (0)7151 9771-00 Fax: +49 (0)7151 9771-11 info@breining.fayat.com maintenance@fayat.com</p>

Tabla 15: Resumen de equipos para la fabricación y colocación de los sellos de lechada asfáltica.



Empresa	Tipo	Modelos	Contacto
<p>CPM</p> 	<p>Pavimentadoras montadas sobre camión</p>	<p>Roadsaver II</p> 	<p>CPM Main Office 9390 Elder Creek Road Sacramento, CA 95829-9397 Phone: (916) 381-8033 Fax: (916) 381-3703 Rich Rayner rrayner@cpmamerica.com Amertech International Corp. info@amertech.com.cn</p>
<p>e-asfalto</p> 	<p>Pavimentadoras montadas sobre camión</p>	<p>LA-6</p> 	<p>Portela 501 (1406) Buenos Aires City Argentina TelFax: +5411-4612-7248 info@e-asfalto.com Gustavo Bacchetta bacchetta@e-asfalto.com</p>
<p>VSS</p> 	<p>Pavimentadoras montadas sobre camión</p>	<p>Macropaver® 10B y 12B</p>  <p>Spartan 10S</p>  <p>Minimac®</p> 	<p>VSS Macropaver Division VSS Macropaver CP: 178 Hickman, CA 95323 Tel: 209-874-2719 vss@slurry.com</p>
	<p>Pavimentadora continua</p>	<p>Minimac CR-1000</p> 	

Tabla 15: Resumen de equipos para la fabricación y colocación de los sellos de lechada asfáltica.

Empresa	Tipo	Modelos	Contacto
XCMG 	Pavimentadoras montadas sobre camión	XF80, XF100 	Dir: D26 N°3966 Erhuandong Road Jinan China Tel: 86-158066 00315 Fax: 86-531-83530176 qin@xcmgcn.com
Xi'an Dagang 	Pavimentadoras montadas sobre camión	SX5310DGRF 	Dir: No. 60, Keji Road 3, Xi'an Hi-tech Industrial Development Zone, Xi'an, China CP: 710075 Tel : +86-29-8832-7462 Fax: +86-29-8831-3375 Wei Ying Li E-mail: export@xsdagang.com yingli.wei@gmail.com

5.1.2 Caja para la distribución

El equipo para extender, distribuye de manera uniforme, a través de la caja, la lechada asfáltica (Ver Figura 30a.).

Este equipo, debe estar conectado a la máquina mezcladora, también debe poseer un distribuidor mecánico tipo “rastrillo de hule” (squeegee), equipado con un material flexible que entre en contacto con la superficie del pavimento, para evitar la pérdida de lechada asfáltica del distribuidor.

Debe tener dispositivos direccionales que le funcionen como guía y un “enrasador” (strike-off) flexible auxiliar (Ver Figura 30b.). Es necesario que se puedan realizar ajustes para asegurar la distribución uniforme sin pérdida de material, cuando se presentan geometrías variables como pendientes, espaldones y coronas en la superficie del pavimento (Ver Figura 30c.).

La caja para la distribución debe poseer una anchura ajustable. La caja se mantendrá limpia y no se puede elaborar la mezcla de emulsión y agregado en ella y tampoco se permite que quede lechada en las esquinas de la misma. El uso de tela (burlap drag) en el

enrasador auxiliar depende del tipo de acabado que se requiere del sello y debe ser aprobado por el ingeniero inspector (Ver Figura 30d.).



a. Caja para la distribución
Figura tomada de
<http://en.sxdagang.com>



b. Enrasador flexible auxiliar
Figura tomada de
Presentación de Scott Metcalf en Conferencia
PPTG 2007



c. Uso de dispositivos especiales para distintas
geometrías
Figura tomada de
Presentación de Scott Metcalf en Conferencia
PPTG 2007



d. Uso de tela en el enrasador
Figura tomada de
Presentación de Intermountain en ISSA 2006

Figura 30: Caja para distribución de la lechada asfáltica.

5.1.3 Equipo auxiliar

Como equipo auxiliar para terminar las labores de construcción se necesitan: rastrillos distribuidores planos de hule, las palas y cualquier otro equipo. Finalmente se requiere de equipo de limpieza: barredoras, soplores, compresores de aire, equipo de riego de agua y escobas de mano convenientes para limpiar la superficie y las grietas para la preparación de la superficie que va a ser tratada.

5.2 Construcción de sellos de lechada asfáltica

5.2.1 Materiales

Como un primer paso para la construcción de un sello de lechada asfáltica, se debe tomar en cuenta la **calidad del agregado**, el cual debe cumplir las especificaciones de la Tabla 11, así como la de la **granulometría** escogida dependiendo del tipo de sello a aplicar.

El **tamaño máximo del agregado** es uno de los dos factores más importantes que determinan la tasa de aplicación del sello de lechada asfáltica, el otro factor es la **textura superficial** del pavimento.

Los agregados que cumplen con los rangos granulométricos pero que están **hacia el lado grueso**, es decir, con un mayor porcentaje de partículas de más tamaño, se deben aplicar en una capa gruesa ya que podría ocurrir que las partículas que no queden embebidas en la emulsión asfáltica generen pequeños surcos o rayas cuando son arrastradas o desprendidas por el enrasador auxiliar.

Contrariamente, una curva granulométrica sesgada hacia en el lado fino, es decir, con mayor porcentaje de material de menor tamaño, se debe aplicar en una capa delgada.

Los sellos de lechada asfáltica deben ser aplicados al mismo “*espesor de una piedra*” (con base en las partículas de mayor tamaño de la granulometría), esto fuerza que la capa sea lo más delgada posible, pues si se trata de colocar con un mayor espesor entonces se pueden presentar problemas de desprendimiento de partículas, exudación, deformación permanente o desplazamiento lateral del material.

Es muy importante el *quebrado* del agregado, ya que las caras fracturadas permiten que las partículas se asienten y entrelacen, para resistir el movimiento del tránsito. Las partículas grandes redondeadas tienden a desprenderse fácilmente del sello ya construido.

Es primordial recordar que el tipo de sello depende de la condición de la superficie a ser reparada. El Tipo I, es el de menor tamaño, se usa para rellenar pequeños huecos de la

superficie, fisuras y para corregir una superficie moderada, cuando se requiere proteger la superficie de los elementos. El Tipo II se utiliza para pavimentos de tránsito de medio a pesado. El Tipo III se usa para pavimentos de alto tránsito como autopistas, pues permite un mayor coeficiente de fricción y mayor durabilidad por tener un mayor espesor.

Normalmente, el peso unitario del agregado está en un rango de 1281 a 1842 kg/m³. Este dato debe conocerse para la fuente de agregados que se vaya a utilizar, pues la formulación está basada en este dato y además la calibración del equipo depende de la fuente de agregado y el tipo.

Finalmente, el agregado debe ser *durable* y *limpio* para asegurar que el asfalto recubre bien las partículas. La granulometría afecta directamente la cantidad de emulsión asfáltica requerida para la mezcla por lo que, aún variaciones dentro de los rangos permitidos, cambian el área superficial del agregado a ser recubierta por la emulsión, por tanto, el agregado debe ser *consistente* en el tiempo.

Es necesario contar con una o más áreas determinadas para el apilamiento del agregado, emulsión y aditivos así como para el almacenamiento del equipo y mantenimiento. El agregado tiene que ser almacenado en una zona que drene fácilmente. Se deben tomar los cuidados necesarios, para evitar la contaminación de las existencias de material, con partículas de gran tamaño, suelo o vegetación. El agregado se tiene que cargar en los camiones mezcladores de lechada sin segregación (Ver Figura 31). Tener un apilamiento cerca de la zona de trabajo es importante ya que esto disminuye el tiempo de transporte o tiempo de servicio.

En cuanto a la **emulsión asfáltica**, debe *cumplir con las especificaciones* de las Tabla 9 y Tabla 10, recordar que se clasifican como aniónicas y catiónicas; la calidad de la emulsión debe ser independiente del tipo, su escogencia *depende del tipo de agregado* para que haya compatibilidad eléctrica.

La emulsión asfáltica contiene entre un 60 % y 65 % de asfalto, entre 0.5 % y 2.5 % de agente emulsificante, entre 0 % y 2.0 % de ácido o agente cáustico (para ajustar el pH) y agua hasta alcanzar el 100 %. La emulsión es de color café mientras las partículas de asfalto están

suspendidas, cuando la emulsión comienza a “romper” las partículas de asfalto comienzan a recombinarse y el color negro característico comienza a aparecer.



Figura 31: Carga del agregado en la máquina mezcladora en el sitio del apilamiento.

Figura tomada de la presentación de Scott Metcalf en Conferencia PPTG 2007

En cuanto al manejo y almacenamiento de la emulsión se debe tener especial cuidado pues es *sensible al cortante* causado por el bombeo o la agitación a alta velocidad. Hay que estar atento a la estabilidad de la emulsión pues si se extiende el tiempo de *estabilidad* en la emulsión, se comienza a formar una capa de asfalto que puede bloquear la boquilla de inyección en el equipo de mezclado. En el transporte de la emulsión se debe tener especial cuidado de que el tanque esté limpio y libre de otras sustancias como asfalto, emulsión de distinta carga que pueda perjudicar todo un lote de lechada asfáltica.

La emulsión en el sitio de pavimentación debe usarse lo más pronto posible sino puede presentar problemas como la pérdida de estabilidad, sino se detectó este problema en el tanque de dosificación, brotes o hilos de asfalto en la capa de lechada son indicativos de que se está presentando este problema. Si la pérdida de estabilidad está comenzando y es un problema menor la emulsión puede ser tamizada y recirculada.

La emulsión asfáltica se almacena en camiones cisternas para que pueda ser fácilmente utilizada para llenar los tanques de la máquina mezcladora de sello de lechada (Ver Figura

32). Los tanques deberán estar equipados con los dispositivos adecuados para evitar que entre agua en la emulsión. El asfalto emulsificado debe mezclarse o distribuirse una vez al día, para mantener la uniformidad.



Figura 32: Carga de la emulsión en la máquina mezcladora.

Figura tomada de la presentación de Scott Metcalf en Conferencia PPTG 2007

Contenido uniforme de emulsión: una adaptación puede ser necesaria en el campo, dentro de los límites del diseño de la mezcla. Se pueden requerir diferentes porcentajes de emulsión para el mismo agregado cuando se aplica bajo diferentes condiciones de tránsito y/o clima. La combinación de diseño determina cuál es el porcentaje de emulsión óptimo y la tabla de calibración para cada máquina especifica la configuración de la compuerta que produce este porcentaje. Para verificar las cantidades usadas se puede hacer una tabulación de las toneladas totales de agregados y el total de toneladas de emulsión colocadas cada día. Esta comparación es un procedimiento simple para ver que todas las máquinas permanecen con la calibración, en realidad, produciendo los porcentajes previamente calibrados.

El **agua** es una parte importante de una lechada asfáltica estable y el porcentaje de dosificación es el factor más determinante de la consistencia de la mezcla de lechada asfáltica. Se dosifica en tres formas: como *humedad en los agregados*, como *agua de pre-humedecido* y como uno de los *componentes de la emulsión* asfáltica. El agua que se

carga a la máquina de mezclado debe ser agua potable, libre de sales solubles nocivas y debe cumplir con las especificaciones de la sección 4.3 de este documento.

Para cualquier combinación de agregado y emulsión, para obtener una lechada estable solo se puede tener *concentraciones de agua de pre-humedecido* en un rango limitado, por ejemplo, entre 6 % y 11 % del peso seco de agregado. Las mezclas de lechada asfáltica con porcentajes menores que 6 % pueden volverse muy rígidas para poder distribuirlas bien en la superficie, y aquellas que tienen más de 11 % se vuelven inestables, donde se observa el asentamiento del agregado y flotamiento del asfalto y finos. Por esta razón el control del agua de pre-humedecido es tan importante. Es recomendable programar la operación de la máquina de mezclado en el centro del rango permisible, por ejemplo 9 % y se debe evitar una operación en más del 11 %.

Además, de su efecto directo sobre la lechada, la humedad presente en los agregados tiene un efecto importante en la velocidad de dosificación del peso de agregado. La emulsión asfáltica también añade agua, pues entre un 35 % a 43 % es agua. Finalmente, el contenido total de agua en una lechada asfáltica está en un rango entre 12 % y 20 % del peso seco del agregado. El contenido total de líquidos no debe exceder los vacíos del agregado suelto, se debe utilizar el método ISSA TB 106 para chequear el contenido óptimo de líquidos.

Contenido de humedad apropiado: una mezcla adecuada de lechada asfáltica debe tener una consistencia similar a la del concreto de cemento Pórtland fresco. La cantidad adecuada de agua debe estar en la mezcla de lechada asfáltica para proveer “emulsión libre” para una adecuada adherencia a la superficie. Si la mezcla está muy húmeda, la emulsión puede desplazarse a la cuneta. Si está muy húmeda, la mezcla tiene una viscosidad inadecuada para permanecer homogénea, por lo que el agregado grande se va a la parte inferior y la emulsión y los finos flotan en la superficie. Esto puede producir una superficie que será muy negra y brillante (poco friccionante).

Si la mezcla está muy seca no puede mezclarse uniformemente a través de toda la superficie. Una lechada seca tiene insuficiente “emulsión libre” para cubrir correctamente el

agregado o adherirse al pavimento. Las mezclas muy secas normalmente permitirán a la lechada “romper” o “asentarse” en la caja distribuidora antes de que pueda aplicarse.

Los **aditivos** que se añaden a las lechadas asfálticas se usan para ajustar la trabajabilidad de la mezcla y para modificar las características de rompimiento y curado. Los aditivos pueden ser en *seco*, *líquidos* o *rellenos minerales*. En raras ocasiones un aditivo se adiciona como relleno mineral solo para mejorar la granulometría del agregado.

Los aditivos secos más comunes son cristales de sulfato de aluminio, sulfato de amonio u otras sales inorgánicas, se alimentan a través de las tolvas de finos en la máquina de mezclado, en niveles de dosificación de hasta 1 por ciento por peso seco de agregado. Los aditivos líquidos más comunes son sulfato de aluminio líquido, aminas u otros materiales líquidos, se dosifican hasta 1 % del peso seco de agregado.

Los rellenos minerales más usados son el cemento Pórtland, cal hidratada, polvo de piedra caliza, cenizas volantes y otros rellenos que cumplan con las especificaciones de la sección 4.4 de este documento. Se añaden como peso seco de agregado y los porcentajes de dosificación de los otros componentes de la mezcla de lechada, se expresan como porcentajes del peso combinado de agregado seco y relleno mineral. Es muy importante usar la misma calidad de relleno en la fórmula de trabajo al igual que en el diseño de mezcla, pues los rellenos minerales son parte importante en las reacciones químicas que determinan las propiedades finales de rompimiento y curado de las lechadas asfálticas y pequeños cambios pueden afectar de manera significativa estas propiedades.

5.2.2 Mezcla de lechada asfáltica

La composición de la mezcla de lechada asfáltica tiene que ser determinada por el diseño de mezcla de laboratorio, donde la cantidad de emulsión asfáltica para ser mezclada con el agregado se ajusta finalmente en el equipo de mezclado en el sitio de pavimentación.

Una vez que se estudió la calidad de los componentes de manera individual, se deben realizar los ensayos para determinar la *compatibilidad* de los mismos, para evaluar el

desempeño de estas mezclas bajo condiciones simuladas de deterioro. Se debe cumplir con las especificaciones resumidas en la sección 4.5 de este documento.

Hay que recordar que existen tres sistemas de sello de lechada asfáltica: *sistema rompimiento lento/tránsito lento (Slow set/Slow traffic)* donde estas mezclas rompen y se curan principalmente por evaporación del agua; *sistema rompimiento acelerado/tránsito lento (Quick set/Slow traffic)* donde estas mezclas rompen por reacción química y se curan principalmente por evaporación; y *sistema rompimiento acelerado/tránsito acelerado (Quick set/Quick traffic)* donde estas mezclas rompen y se curan principalmente por reacción química.

En todos los casos, cuando la emulsión es mezclada con el agregado y el relleno mineral, el emulsificante emigra de las partículas de asfalto que son absorbidas dentro de las superficies del agregado. Cuando esto sucede, las partículas de asfalto pierden su estabilidad y se combinan para formar la película de asfalto, a este proceso se le llama rompimiento.

Las características de rompimiento y curado de las lechadas asfálticas se pueden controlar con el uso de aditivos químicos, estos son normalmente adicionados al agua de pre-humedecido y son absorbidos dentro del agregado para hacerlo menos reactivo y permitir la prolongación de la trabajabilidad antes de que la lechada rompa.

La resistencia al daño por humedad de la unión entre el asfalto y el agregado determina la durabilidad así como la adherencia con la superficie del pavimento existente.

Debe cumplirse los requisitos de granulometría de la Tabla 12, pues la granulometría afecta directamente la cantidad de emulsión asfáltica requerida para producir la lechada asfáltica. Los agregados finos poseen una mayor área superficial por peso unitario. Mayor área superficial requiere de más emulsión para poder recubrir las partículas de manera adecuada. Los contenidos de asfalto varían significativamente entre los tres tipos de granulometrías así como dentro de los rangos de especificación de cada una cuando hay cambios en las fracciones más finas como la de 150 μm y 75 μm (N° 100 y N° 200).

Por las razones anteriores, es importante tener presente que el diseño de mezcla se debe hacer con muestras representativas de los materiales que van a ser usados.

La emulsión asfáltica se debe dosificar de acuerdo al diseño de mezcla, pero estos son los rangos de contenidos típicos que dependen del tipo de granulometría, porcentajes basados en el peso seco de agregado que incluye el relleno mineral:

- Tipo I** - Contenido de emulsión asfáltica entre 13 % y 18 %
- Tipo II** - Contenido de emulsión asfáltica entre 12 % y 16 %
- Tipo III** - Contenido de emulsión asfáltica entre 10 % y 15 %

La dosificación de diseño se tiene que suministrar, indicando el contenido porcentual de cada material en la mezcla, con base en una referencia por peso o volumen; para su evaluación y consideración, al menos 7 días antes del inicio de los trabajos. El reporte de diseño debe detallar las proporciones óptimas recomendadas de agregado, emulsión y aditivos pues es la guía para la construcción de la lechada asfáltica.

En la Tabla 16 se presentan los rangos límites de dosificación para cada componente de la mezcla, estas dosificaciones están basadas en peso seco de agregado.

Tabla 16: Rangos límite para la dosificación de las mezclas de lechada asfáltica.

Material componente	Límites
Asfalto residual	Tipo I: 10 % - 16 % Tipo II: 7.5 % - 13.5 % Tipo III: 6.5 % - 12 %
Relleno mineral	0.5 % a 2.0 %
Aditivos	Lo requerido según el diseño
Agua	Lo requerido según el diseño para alcanzar una consistencia adecuada de la mezcla

5.2.3 Calibración de la máquina de mezclado

Para asegurar que la mezcla de lechada asfáltica está compuesta con las proporciones adecuadas encontradas en el diseño de mezcla, el equipo de mezclado debe calibrarse utilizando los materiales que se usaran en el proyecto de pavimentación. El proceso de calibración provee de los datos que permiten operar con precisión cada máquina para las proporciones de los componentes ensayados en el diseño de mezcla.

Para las mezclas de lechada asfáltica, todos los diseños de mezcla y formulaciones están basados en la combinación de peso seco del agregado y el peso de cualquier relleno mineral. Para programar las máquinas a una determinada combinación de diseño y producir una mezcla consistente, es necesario que se calibre en la máquina, la información exacta sobre la velocidad de alimentación del agregado, emulsión asfáltica, agua y aditivos. El diseño de mezcla está basado en el agregado seco y el relleno mineral seco. Es necesario realizar correcciones por humedad en el agregado.

Las razones por las cuales es obligatoria la calibración incluyen:

- a. Fijar los parámetros de la máquina a una determinada combinación de diseño.
- b. Mantener el diseño de mezcla consistente para todas las mezcladoras cuando se estén usando 2 o más máquinas en el proyecto.
- c. Tener una base de datos para una máquina dada.

Una adecuada calibración se basa en que:

- a. Todos los pesos están basados en el peso combinado del agregado seco y el peso del filler mineral (si se usa). El agregado en el campo o en el sitio de calibración puede incluir humedad y el peso debería corregirse para tenerla en cuenta.
- b. El asfalto emulsificado y el agregado deben mezclarse en las proporciones deseadas, lo cual significa *calibrar a una unidad* común tal como en la banda del agregado, cabeza de la polea o eje intermedio. La industria en general prefiere usar la *cabeza de la polea* porque las máquinas tienen un contador que es muy exacto y legible en esta locación.
- c. Se deben hacer tres corridas para cada componente. Las corridas para la prueba tienen que ser suficientemente largas para permitir que una cantidad suficiente de los diferentes componentes pasen a través del sistema. Las muestras más grandes proveen resultados más exactos.

5.2.4 Procedimiento de calibración de la velocidad de alimentación para cada uno de los componentes de la mezcla

Como todas las calibraciones requieren el uso de la cabeza de la polea, la cual gira la banda transportadora del agregado, es más fácil comenzar sin el agregado sobre la máquina y calibrar otros dispositivos primero. Esto elimina la necesidad de limpiar la tolva de agregados después de la calibración.

a. Calibración de la emulsión:

Las bombas de emulsión varían entre los distintos fabricantes de maquinaria. Las bombas son ya sea de bombeo de desplazamiento fijo positivo o de bombeo de desplazamiento variable positivo, que se puede fijar mecánicamente a diferentes velocidades de flujo. Como una bomba de volumen variable por lo general, no se podrá cambiar durante el desarrollo del proyecto, es necesaria una calibración para establecer lo que el contratista tiene intención de utilizar. Las bombas de volumen variable deben estar equipadas con un dispositivo de seguridad para evitar cambios accidentales y debe ser bloqueado en el lugar una vez que la calibración se ha completado. Es recomendable calibrar la emulsión para el contador de la cabeza de la polea.

Se describe a continuación el procedimiento paso a paso para la calibración de la velocidad de alimentación de la emulsión asfáltica:

- a.1. Vaciar la máquina de todo el agregado. Llenar la máquina de mezclado con la emulsión y se tiene que determinar el peso bruto.
- a.2. Hay que enganchar la salida de la bomba al segundo contenedor (cisterna).
- a.3. Correr el número deseado de giros en el contador de la cabeza de la polea.
- a.4. Determinar el peso de la emulsión bombeada registrado por la pesadora de la máquina.
- a.5. Determinar el peso de la emulsión bombeada por conteo de la cabeza de la polea.
- a.6. Se deben hacer tres pruebas para asegurar la exactitud de los resultados. Si se usan bombas variables y serán reajustadas a cero durante el proyecto, la calibración tendrá

que estar lista para suficientes escenarios hasta establecer una línea recta en un gráfico.

- a.7. La bomba de emulsión debe descargar la emulsión en el tambor mezclador con tal consistencia volumétrica, que la desviación de la velocidad de entrega para cada corrida individual, debe tener una variación de menos de 2 % del promedio matemático de tres corridas de 1135 litros (300 galones) cada una, mínimo.

b. Calibración del aditivo seco/relleno mineral

Los distintos tipos de máquinas usan diferentes métodos para suplir el aditivo seco. Algunas están conectadas mecánicamente a la cabeza de la polea mientras que otras son adaptadas hidráulicamente a través de un indicador de índice. Los alimentadores mecánicos tienen una puerta programada de manera similar a la banda transportadora del agregado. Las unidades hidráulicas tienen un ajuste del flujo hidráulico.

Se describe a continuación el procedimiento paso a paso para la calibración de la velocidad de alimentación del aditivo en seco:

- b.1. Hay que revisar que todo el agregado sea removido de la máquina mientras la banda transportadora debe girar mientras se calibra el alimentador de finos.
- b.2. Usar una bandeja pequeña o caja para recoger el relleno mineral que cae de la tolva alimentadora. Pesar este contenedor antes de realizar los próximos pasos.
- b.3. Usando un contador de giros de la cabeza de la polea o el tornillo del alimentador de finos, echar aproximadamente 9 kg (20 libras) de material dentro de la caja.
- b.4. Pesar el contenedor de material y restar el peso del contenedor. El peso del material dividido por el conteo de la cabeza de la polea o el alimentador de finos da el peso por giro.
- b.5. Hay que repetir a tres escenarios para desarrollar una curva para el material a varias programaciones de la compuerta.
- b.6. Calcular el escenario deseado para cumplir los requerimientos del diseño de mezcla, programar la compuerta o los controles hidráulicos y hay que verificar la velocidad de alimentación.

c. Calibración del agregado:

Para realizar la calibración de la velocidad de alimentación del agregado, hay que determinar el contenido de humedad del agregado usado en la prueba de calibración para obtener el peso seco. Hay que seleccionar y registrar tres o más aberturas de las compuertas. Dejar correr al menos 3 toneladas de agregado por la abertura de la compuerta preestablecida. La máquina debe brindar la consistencia volumétrica tal que la desviación individual de cualquier velocidad de ejecución del agregado no será superior al 2 % de la media aritmética de tres corridas de por lo menos 3 toneladas de duración cada uno.

Los resultados deben producir una línea recta sobre un gráfico aritmético.

Se describe a continuación el procedimiento paso a paso para la calibración de la velocidad de alimentación del agregado:

- c.1. Establezca el ajuste de la compuerta a la programación deseada.
- c.2. Dejar pasar una pequeña cantidad de material a través de la compuerta para establecer el flujo y relleno de la compuerta, remover el exceso de material.
- c.3. Pesar la máquina. (Anote todos los pesos y los conteos)
- c.4. Poner el contador de la cabeza de la polea en cero.
- c.5. Dejar pasar el material fuera de la máquina y detener la banda transportadora cuando el contador cambia a una nueva cuenta. (Para evitar los conteos parciales.)
- c.6. Remover el exceso de material que está sobre la banda que pasa por la compuerta pero no ha caído dentro del tambor mezclador. Volver a pesar la máquina. El peso neto de la corrida dividido entre el conteo provee los kilogramos de agregado por revolución de la cabeza de la polea.

5.2.5 Procedimiento para la colocación del sello de lechada asfáltica

La construcción de los sellos de lechada asfáltica, en el presente donde los costos son elevados, los conteos del tránsito aumentan, el incremento en la complejidad del lugar de trabajo y los constantes cambios que se producen en la industria, exigen la plena

cooperación y entendimiento entre las partes implicadas, es decir, la Administración y Contratista.

Para lograr una producción exitosa del trabajo se requiere hacer todo lo posible, con el máximo orden y eficiencia para obtener el mejor resultado posible. Esta meta puede ser alcanzada solo a través del entendimiento que todas las partes tienen una función mutua y una obligación a realizar. Una construcción exitosa requiere continua revisión, coordinación, planeamiento, buen juicio, y una superposición de esfuerzos de las partes informadas y calificadas.

5.2.5.1 Preparación de la superficie

Antes de aplicar el sello de lechada asfáltica, todas las fisuras, fallas de la base u otras fallas se deben reparar, en el pavimento a tratar. (Ver Figura 33)



a. Sellado de fisuras



b. Reparación de baches



c. Superficie sin preparar

Figura 33: Condición de la superficie para aplicar el sello de lechada asfáltica.

Figura tomada de la presentación de Scott Metcalf en Conferencia PPTG 2007

Luego de que se realizan estas actividades de reparación, toda la superficie por recubrir se debe limpiar de toda la vegetación presente, materiales desprendidos, manchas de limo, manchas de aceite o cualquier otro material contaminante. Para lograr este propósito, los métodos convencionales como barredoras autopropulsadas, aire a presión o agua a presión son efectivos (aunque el agua a presión es frecuentemente más efectiva en remover polvo y suciedad de la superficie). La limpieza con agua debería evitarse cuando la condición de la superficie es tal que puede introducirse humedad dentro de la base justo antes de que la superficie se selle. Finalmente, el lavado con agua a presión también es un desperdicio de un recurso natural.

Lo mejor es barrer con una escoba mecánica usualmente, aunque las recientes mejoras en las aspiradoras han permitido su uso de manera exitosa. El factor más importante es que la escoba debe estar diseñada para el barrido de calles, utilizar una barredora de parqueos no es suficiente. Una escoba recogedora es necesaria donde el camino tiene bordes de caño y cunetas, mientras que, utilizar una escoba es aceptable y suficiente para mover la suciedad hacia el lado de la carretera (tal como la mayoría de las carreteras).

El césped y la hierba crecen con fuerza sobre el asfalto y es necesario removerlos o destruirlos por medio de un químico que ayuda a deshacerse de la hierba antes de que el sello de lechada asfáltica se aplique. La superficie asfáltica no se adhiere correctamente cuando hay amplias manchas de grasa o superficies con aceite saturado, y éstas deben ser eliminadas o tratadas antes de la aplicación del sello. El uso de detergentes industriales podría ayudar en el lavado para quitar estas manchas. Otros métodos efectivos incluyen remover con agua a presión o quemar. Para problemas severos, los selladores acrílicos están disponibles para lugares donde se requiere el tratamiento de las manchas de aceite.

En algunos tipos de superficies existentes antes del tratamiento con el sello de lechada asfáltica hay que realizar un recubrimiento con asfalto. Las áreas sin pavimentar requieren primero una capa de asfalto gruesa para impermeabilizar y endurecer la superficie de la base. Las capas livianas de emulsión asfáltica diluida son efectivas para mejorar la adhesión entre el sello de lechada asfáltica y el concreto o el pavimento de adoquines existente, también entre el pavimento de asfalto que es excesivamente polvoriento o tiene agregado pulido que está expuesto en áreas muy extendidas. La emulsión asfáltica debe ser la misma

que la usada en la mezcla de lechada asfáltica. La combinación para un efectivo “tack coat” consiste de tres partes de agua y una parte de emulsión. Se recomienda una tasa de aplicación que va de 0.23 a 0.45 l/m² (0.05 a 0.1 gal/yd²). La tasa real depende del contenido de asfalto residual real después de diluirlo, pero principalmente en la textura y las características de absorción de la superficie vieja. El recubrimiento se debe dejar curar antes de la aplicación del sello de lechada asfáltica.

Las tapas de alcantarilla y los cobertores de las válvulas necesitan protegerse. Esto puede hacerse usando varios métodos: cortar un papel cobertor al tamaño y pegarlo en el lugar usando un pegamento en spray; remover los cobertores, cubriéndolos en bolsas plásticas y volviéndolos a colocar en su posición original. Cada procedimiento requiere quitar la protección al final de cada día. (Ver Figura 34)

Para asegurarse que todas las coberturas y válvulas están localizadas, una cuadrilla debe mantener un esquema de los lugares o referenciar cada uno con un marcador temporal o marcar el borde del caño adyacente.



a. Colocación de protección



b. Luego del sello de lechada asfáltica



c. Remoción de la protección

Figura 34: Tratamiento de las tapas de alcantarilla.

Figura tomada de la presentación de MTAG Capítulo 8

Con respecto a la *señalización horizontal*, a menos que la señalización termoplástica esté muy nueva normalmente no necesita ningún tratamiento especial, el sello de lechada asfáltica se adherirá en forma normal, a las bandas de señalización desgastadas. Cinta adhesiva de señalización y la pintura termoplástica deben removerse.

Si existen botones resaltados y marcas, también deben localizarse como se hace para las tapas de alcantarillado, se usan algunos métodos y uno o más pueden listarse dentro de las especificaciones. Por ejemplo, remover todas las marcas y volver a colocar después de que el sellado se ha completado; hay disponibles cobertores plásticos que protegerán las marcas, lo que pasa es que a menudo no son exitosos pues la caja de distribución tiende a quitarlas; lavar las marcas trabaja bien si se hace inmediatamente detrás de la caja distribuidora usando un rociador de mochila o un vástago conectado al sistema de presión de agua de la máquina de mezclado. La clave aquí es “inmediato” para que el sello no tenga tiempo de romper sobre las marcas y como mínimo es necesario un “tiro” de chorro de agua para remover el sello; y finalmente otra opción es tapar las marcas con cinta adhesiva y después remover la cinta. Esto consume mucho tiempo y es una labor intensa pero podría ser aceptable si el número de marcas es pequeño.

Las marcas en el pavimento de tipo termoplástica, si existen, presentan sus propios requisitos especiales. El sello de lechada asfáltica no se adherirá al termoplástico a menos que esté bien gastado y áspero. Esto es debido al grosor del termoplástico y a su superficie densa lisa. La caja de distribución tiende a despegar el material de la superficie. Una vez más hay varios enfoques para resolver esta situación:

- ⇒ Remover el termoplástico antes del tratamiento con slurry. Esto es obligatorio sobre autopistas pero es costoso removerlo y volverlo a colocar.
- ⇒ Proteger el termoplástico con cinta adhesiva y papel durante la operación de colocación del slurry. Esta labor es muy intensiva y presenta problemas con la caja de distribución pues puede rasgar el papel. Puede ser necesario referenciar con marcas temporales o referenciar con estacas.
- ⇒ Con la misma idea, cuadrar un bloque de área alrededor del pavimento marcado (paradas, cruce de ferrocarril, zona escolar, etc.) y usar cinta o papel de construcción

para evitar que el slurry quede sobre el termoplástico. Este método es el más favorable, ya que no solo preserva el termo pero conserva el slurry a una distancia lejana respetable y previene el marcado permanente sobre el termoplástico.

Las cunetas de concreto se encuentran ocasionalmente sobre las calles residenciales o autopistas. Éstas normalmente no presentan problemas para el equipo de trabajo y el sello no es colocado sobre el concreto.

Los rieles del ferrocarril normalmente son manejados de la siguiente manera: el sellado se detiene en el borde del derecho de vía. No se debe permitir que el sello entre en el área de los rieles.

5.2.5.2 Notificación y control de tránsito

Para las autopistas, el control de tránsito debe realizarse de acuerdo con las especificaciones establecidas apliquen para control de tránsito y seguridad.

Para las carreteras de ciudad/residenciales, aunque todos los residentes favorecen el mantenimiento de las calles y que tengan una apariencia agradable, algunos siempre resentirán el inconveniente inherente de todas las construcciones de calles y mantenimiento. La aplicación del sello de lechada asfáltica requiere que el área a ser tratada se cierre temporalmente para todo tipo de tránsito, ambos peatones y vehículos. Algún tipo de tránsito sobre el slurry sin curar causará huellas que afectan la apariencia final del sello.

Al menos 24 horas antes de comenzar las operaciones de sellado, el contratista debería notificar a todos los residentes, negociantes y agencias para informar de manera escrita los detalles de las calles y los límites del trabajo a ser realizado así como de las horas de trabajo. Si el contrato lo requiere, el contratista debería antes del comienzo de las operaciones de sellado, rotular en todas las calles que se van a trabajar con señales aprobadas de "no parquear-remolque" situadas en intervalos de 60 metros (200 pies). Esas señales deberán especificar el día de la semana y las horas en las cuales no se permitirá el parqueo. En caso de que el trabajo no se produzca en el día especificado, se debe distribuir una nueva notificación. (Ver Figura 35)

Se deben tomar todas las medidas necesarias para proteger el sello de lechada asfáltica del daño por tránsito antes de que la mezcla cure suficientemente y soporte el tránsito sin daño. La duración de tiempo antes de que se permita el uso de la superficie depende del tipo de asfalto emulsificado, características de mezcla, y de las condiciones meteorológicas. Los oficiales encargados de hacer cumplir la ley deben estar a disposición para coordinar el remolque de vehículos de las áreas con sello y detener a los que violan las barreras. Se sugiere contratar policía fuera de servicio para realizar esta labor, sobre todo en las zonas donde el volumen de tránsito es alto.

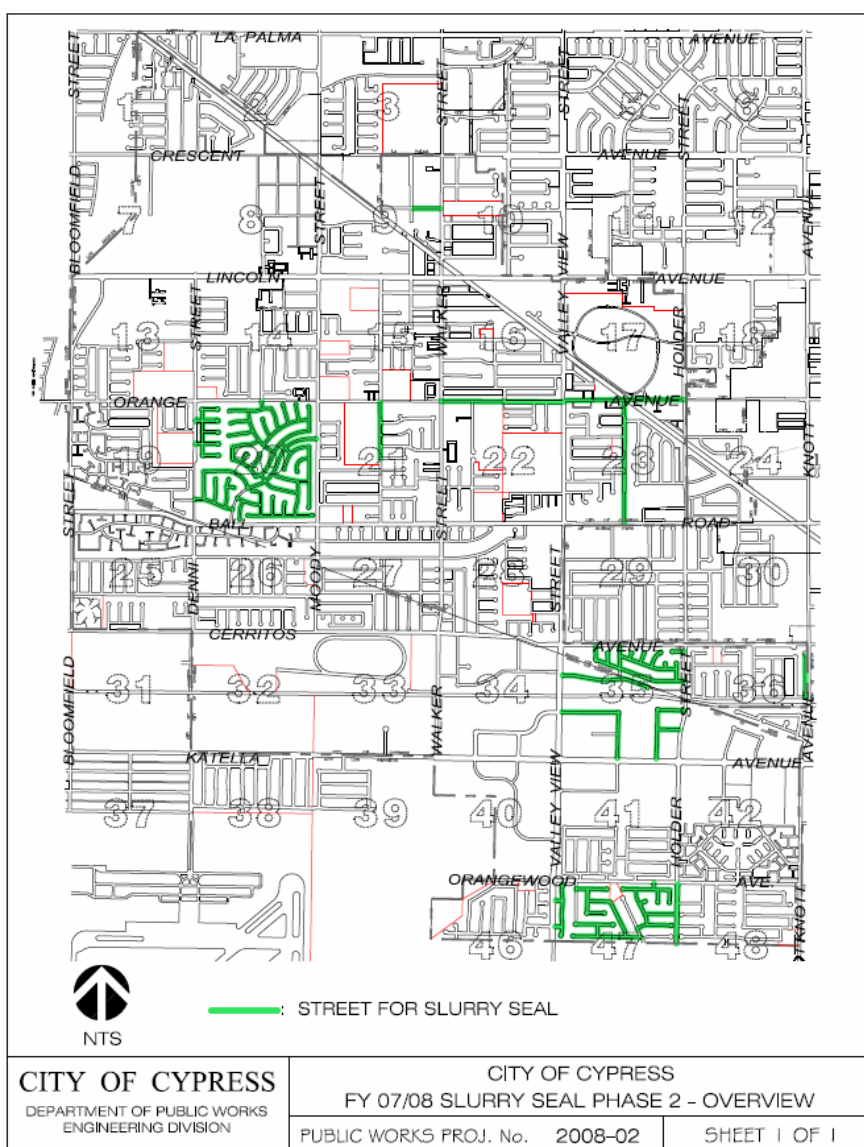


Figura 35: Ejemplo de notificación de las zonas a ser tratadas con el sello.

En la Figura 36 se muestran algunos ejemplos de la señalización vial que se debe tomar en cuenta para la aplicación de los sellos de lechada asfáltica.



a. Uso de conos



b. Personal pendiente del tránsito



c. Cierre de un solo carril

Figura 36: Ejemplos de la señalización vial.

5.2.5.3 Condiciones climáticas

Las temperaturas del pavimento juegan una parte importante en la cura de las mezclas de lechada asfáltica, porque las mezclas dependen en alguna parte de la evaporación del agua del producto curado. Casi que todos los sellos en uso hoy en día son de “rompimiento acelerado” (Quick set) forman una reacción química a edades tempranas; después la evaporación termina de secar el producto final. Los avances en sellos de lechada asfáltica y microcapas actualmente “empujan” el agua fuera de la mezcla y permiten que la evaporación comience más temprano. La humedad puede afectar los tiempos de rompimiento retrasando el proceso de evaporación.

Aunque los sellos de lechada asfáltica pueden abrirse al tránsito en un corto tiempo, algo de agua puede permanecer en la mezcla por algunas pocas horas. En los lugares donde se dan temperaturas de congelamiento puede ser causa de un problema para el buen acabado del sello. Todas las emulsiones asfálticas se arruinan si se permite que el agua en la emulsión se congele.

Mientras que las bajas temperaturas podrían extender el tiempo de ruptura del sello, las altas temperaturas pueden acelerar el rompimiento. Durante los días cálidos la cuadrilla de trabajo debe incrementar el uso de las barras de spray para humedecer el pavimento a medida que se incrementa la temperatura de la carretera. El spray de agua ayuda a enfriar la superficie y evitar que la emulsión rompa al contacto con el pavimento. Las temperaturas elevadas podrían hacer que la mezcla requiera agua adicional para contrarrestar las temperaturas más altas en el pavimento y evitar la deshidratación en la caja de distribución.

El sello es generalmente menos rígido durante las primeras semanas de clima caliente y a temperaturas elevadas podría tomar un tiempo más largo para alcanzar la cura final, a veces algunas semanas. Durante periodos calurosos, los vehículos podrían despegar o rayar el sello bajo torsión pesada o carga lateral. La abrasión es normal para los sellos y podría ser más marcada en callejones sin salida, parqueos, o alguna área donde los giros de los vehículos son limitados por el espacio.

Limitaciones de clima: el sello de lechada asfáltica no debería aplicarse si la temperatura del pavimento o el aire está por debajo de 10 °C (50° F) y que continúe bajando, pero podría aplicarse cuando ambas temperaturas, la del pavimento y del aire están por encima de 7 °C (45 °F) pero que continúe subiendo. El sello de lechada asfáltica no debería colocarse cuando hay peligro de el producto terminado se congele antes de 24 horas.

Los sellos que curan por evaporación no deberían colocarse durante periodos anormales de alta humedad, o cuando hay pronóstico de lluvia en pocas horas. Slurries que cura por reacción química es mucho menos afectado por la humedad. Tampoco se deberían colocar durante períodos de niebla o lluvia o que el pronóstico de temperaturas esté por debajo de 0 °C (32 °F) dentro de 24 horas del tiempo de colocación de la mezcla.

5.2.5.4 Aplicación del sello de lechada asfáltica

La superficie puede ser prehumedecida por riego por delante de la caja de distribución si es necesario por las condiciones locales (Ver Figura 29). La tasa de aplicación del spray de humectación debe ajustarse durante el día de acuerdo con la temperatura, textura de la

superficie, humedad y sequedad de la superficie del pavimento, para que la superficie entera quede húmeda pero sin indicios de corriente de agua en frente de la caja.

La mezcla de lechada asfáltica debe tener la consistencia deseada al salir del tambor mezclador, sin añadir materiales adicionales. El tiempo total de mezclado no debe ser superior a 4 min, luego del cual se llena la caja. La caja de distribución del sello de lechada lo esparce en la superficie. Una cantidad suficiente de lechada tiene que llenar todas las partes de la caja de distribución, en todo momento, de manera que se obtenga una cobertura completa de la superficie a tratar. Se tiene que evitar la sobrecarga de la caja. No se puede permitir que quede dentro de la caja grumos de agregado o sin mezclar.

Si el agregado grueso se asienta en el fondo de la mezcla, la lechada deberá ser removida del pavimento. No se puede permitir un rompimiento excesivo de la emulsión en la caja de distribución. La superficie acabada debe mantenerse sin ranuras o estrías, como las causadas por agregados sobredimensionados. La mezcla debe ser uniforme y homogénea después de la aplicación y no debe presentar separación de la emulsión y el agregado después de romper.

La barra con el borde de hule detrás de la caja (Ver Figura 37) distribuye la lechada a través de la superficie para crear una capa uniforme. Cuando la lechada está húmeda todavía, tiene una apariencia marrón, y llega a ser negro cuando está curada completamente.

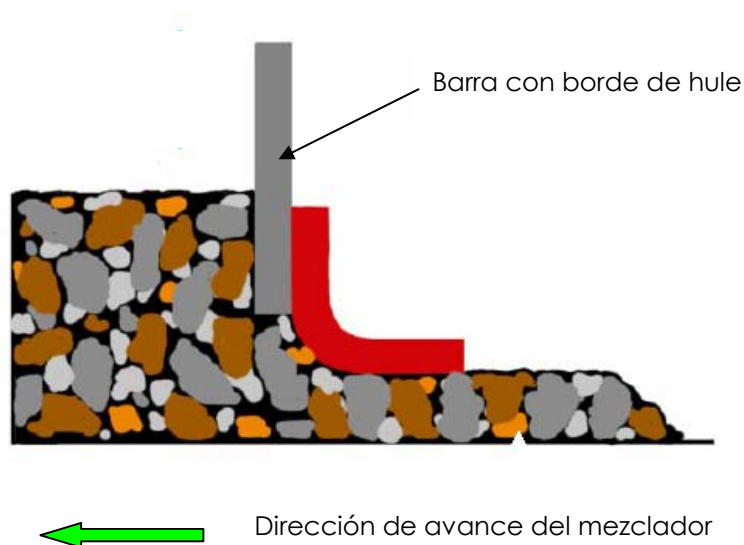


Figura 37: Colocación de la lechada asfáltica por medio de la caja de distribución.

a. Tasa de aplicación

La tasa de aplicación correcta del sello de lechada asfáltica tiene un efecto importante en el éxito del proyecto, ya que un espesor excesivo puede resultar en ondulaciones, desplazamientos y segregación; por otro lado un espesor inadecuado puede causar un desprendimiento de partículas excesivo y por lo tanto reducir la vida útil del sello.

Las tasas de aplicación pueden variar durante la colocación debido a los cambios en la textura superficial del pavimento. Esta variación es más pronunciada en las capas más delgadas.

Los dos factores principales que determinan la tasa óptima de aplicación son la **granulometría del agregado y la textura de la superficie existente.**

i. Granulometría del agregado

El agregado que cumple con las especificaciones, pero que posee un sesgo hacia el lado grueso, debe aplicarse en un espesor grueso, ya que si la tasa de aplicación provee un espesor menor que el tamaño máximo del agregado, puede causar que las partículas más gruesas queden sin recubrimiento, y al mismo tiempo la barra con el borde de hule las arrastra generando surcos.

En caso de que el sesgo sea hacia el lado fino, esto es mayor porcentaje de partículas finas debe aplicarse en un espesor delgado.

Los sellos de lechada asfáltica están diseñados para ser aplicados en espesores correspondientes al tamaño máximo del agregado. La colocación de estos sellos en capas múltiples para incrementar el espesor, produce un sello inestable que puede degenerar en deterioros como desprendimiento de partículas, exudación, deformación permanente y/o colapso. Si se requieren espesores mayores, colocados en varias capas, lo mejor es utilizar micro capas (Micro-Surfacing).

ii. Textura de la superficie existente

El contenido de vacíos de la superficie existente afecta directamente la tasa de aplicación del sello. Una superficie más suave no tiene muchos vacíos que llenar y así se mantiene la

tasa de aplicación al mínimo. Una superficie rugosa debido al desgaste, desprendimiento de partículas podría incrementar la tasa de aplicación ya que se requiere de más material para llenar los vacíos y al mismo tiempo cubrir toda la superficie.

La cantidad y tamaño de los vacíos en la superficie del pavimento existente se ve afectada por muchos factores: tamaño del agregado de la mezcla a ser tratada, porcentaje de finos en la mezcla original o deterioros tales como: bombeo de finos y desprendimiento de partículas; desde el punto de vista constructivo el factor que afecta los vacíos en la superficie, es el porcentaje de compactación durante la colocación.

Un sello de lechada asfáltica que es colocado sobre una superficie con desprendimiento de partículas muy severo puede requerir el doble de material a ser aplicado apropiadamente, para obtener una superficie cerrada de bajo contenido de vacíos con la misma granulometría de material. El sello aplicado a la tasa correcta tiene las piedras de mayor tamaño embebidas en al menos un 75%.

El boletín técnico ISSA TB N° 112 describe el método para estimar la tasa teórica de aplicación. El procedimiento cubre las demandas de ambas superficies (lisa y rugosa) y corrige para granulometrías finas, medias y gruesas dentro del rango específico del Tipo I, II, III. En la Tabla 17, se muestra una guía para calcular la tasa de distribución del sello de lechada asfáltica.

Tabla 17: Guía para calcular la tasa de distribución teórica.

Factores	Escala McLeod	Textura caja de Arena	Agregar		Total
			lb/yd ²	kg/m ²	
Tasa básica	S	16- 18' (4.9-5.5 m)			
Añadir textura a la superficie	H-1	10-12' (3.0-3.7 m)	1	0.54	
	H-2	8-10' (2.4-3.0 m)	2	1.08	
	H-3	5.7' (1.5-2.1 m)	3	1.63	
		2-4' (0.6-1.2 m)	4	2.17	
Añadir por irregularidad transversal	Nominal – 3/8" (9.5 mm)		1	0.54	
	Moderado – 1/2"- 3/4" (12.7-19.05 mm)		2	1.08	
	Severo 1-1 1/2" (25.4 – 38.1 mm)		3	1.63	
Añadir por juntas y curvas (calcular)					
TASA DE ESPARCIMIENTO APROXIMADA TOTAL					

Tabla tomada del Boletín Técnico TB N°112, Tabla 2.

La tasa de aplicación real se calcula de la siguiente manera, con la ayuda de la **sección de control**.

iii. Cálculo de la tasa de aplicación

1. Calcular el peso de agregado utilizado en una distancia ya medida
2. Calcular el área cubierta de la superficie del pavimento
3. Calcular la tasa de aplicación luego de que la sección de control está finalizada:

$$\text{Tasa de aplicación} = \frac{\text{Peso agregado usado}}{\text{Área cubierta de superficie}}$$

La textura de la superficie a menudo varía en la misma carretera entre las zonas de tránsito, los espaldones y áreas centrales. Las tasas de aplicación podrían variar con la textura de la superficie y así a través de una sección transversal dada del pavimento.

Las tasas de aplicación están calculadas de acuerdo con el peso seco de agregado de la mezcla. Estas son afectadas por el peso unitario, granulometría del agregado y la demanda de la superficie a ser tratada.

En la Tabla 18, se muestran las tasas de aplicación sugeridas.

Tabla 18: Tasas de aplicación de los sellos de lechada asfáltica sugeridas.

Tipo de granulometría	Localización	Tasas de aplicación sugeridas
Tipo I	Áreas de parqueo Calles urbanas y residenciales Pistas de aeropuerto	4,3-6,5 kg/m² (8-12 lb/yd ²)
Tipo II	Calles urbanas y residenciales Pistas de aeropuerto	6,5-10,8 kg/m² (12-20 lb/yd ²)
Tipo III	Autopistas interestatales y primarias	9,8-16,3 kg/m² (18-30 lb/yd ²)

b. Juntas transversales

Las juntas laterales se controlan mejor por medio de la colocación de una felpa de cartón alquitranado sobre la superficie donde se ha colocado la lechada. Esto normalmente se requiere solo al comienzo y al final de cada calle y no entre las juntas. Una tasa de aplicación mayor tal como la Tipo III puede requerir un procedimiento de unión por cubrejunta para asegurar una transición lisa. (Ver Figura 38a y b.)

c. Juntas longitudinales

El tratamiento adecuado de las juntas es crítico en autopistas y en pistas de alta velocidad donde tanto lechadas Tipo II o Tipo III se requieren para minimizar las superposiciones. Las áreas de superposición pueden causar problemas de exudación, desplazamiento y podrían dejar la superficie irregular. Una anchura adecuada de distribución por el equipo debe aplicarse para producir un mínimo número de juntas longitudinales en un proyecto. Cuando sea posible estas juntas se deben colocar en las líneas (luego se coloca la señalización) del carril. La junta de línea centro normalmente se controla con un dispositivo colocado en la caja de distribución. (Ver Figura 38c.)

Las calles de bajo volumen así como de residenciales donde se aplican lechadas de Tipo I o II normalmente, las juntas no requieren de un tratamiento especial. Para asegurar una superficie lisa en las juntas se realiza un trabajo manual con rastrillos con borde de hule. (Ver Figura 38d.)

Lo mejor es que el contratista provea una caja de distribución con el mayor ancho posible para minimizar el número de juntas longitudinales a lo largo del pavimento (ancho del carril). Las pasadas en mitades y cambios en los anchos se deben utilizar en cantidades mínimas. Cuando sucedan pasadas en mitades no debe ser la última pasada del área a pavimentar.

Se permite un traslape de 152 mm en las juntas longitudinales de la línea entre carriles.



a. Junta transversal Tipo III
Tomada de presentación Intermountain 2006 ISSA
President Award



b. Felpa para el tratamiento de la junta transversal
Tomada de Capítulo 8 CP² Task group



c. Junta línea central
Tomada de presentación de Scott Metcalf, PPTG
2007 Conference



d. Trabajo manual en la junta longitudinal
Tomada de presentación Intermountain 2006 ISSA
President Award

Figura 38: Juntas transversales y longitudinales.

d. Trabajo manual

La mayoría de los proyectos incluirán áreas que no son accesibles para la caja distribuidora. Esas áreas son cubiertas usando rastrillos con borde de hule "squeegees" (Figura 39a.) (para lechadas muy gruesas se puede utilizar otro tipo de rastrillo dentado "asphalt lutes" para una mejor trabajabilidad, ver Figura 39b.).



a. Rastrillo con borde de hule
"Squeegee"



b. Rastrillo con borde dentado
"Asphalt lute"

Figura 39: Rastrillos usados para el trabajo manual.

La calidad del producto terminado será directamente proporcional a la calidad y habilidad del personal a cargo del rastrillo squeegee. La velocidad a la cual la mezcla rompe se acelera por las condiciones del ambiente seco y caliente, esto prueba la habilidad de la persona. Si se utilizan telas de arrastre tipo trapeador en la caja distribuidora, éstas deberían coincidir y usarse sobre los rastrillos manuales para lograr la misma textura.

La regla fundamental para el trabajo manual es "**menos es mejor**". La mayoría de mezclas de lechada asfáltica que se manipulan mucho conllevan segregación. Como el movimiento del squeegee es hacia delante y hacia atrás, el agregado grueso va a la superficie mientras que los finos pueden perderse y la mezcla se puede deshidratar. El agregado grueso se incrusta inadecuadamente y podría desprenderse.

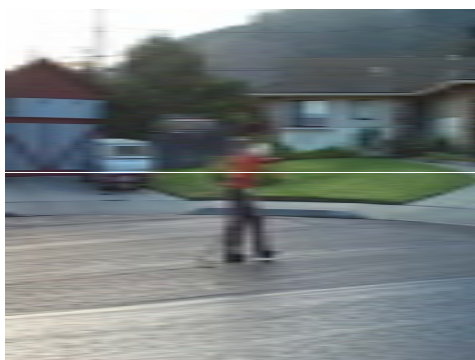
Cuando el trabajo manual se va a realizar, se debe tener cuidado de *humedecer la superficie de asfalto existente* en primer lugar y para asegurarse de que la superficie de la lechada terminada quede uniforme. El agua en la mezcla reduce la tensión superficial del

pavimento y ayuda al personal del squeegee a mover y trabajar con la lechada. Cuando la lechada asfáltica ha roto durante el trabajo manual, ésta debe removerse.

El trabajo manual en áreas donde es inevitable evadirlo, es mejor realizarlo temprano en el día cuando el ambiente esté frío y las temperaturas del pavimento permitan tener tiempo extra para que la mezcla se pueda trabajar antes de que comience a asentarse.



a. Trabajo manual en parqueo
Tomada de presentación de Richard Sampson y
Dustin Lang



b. Personal con rastrillo
Tomada de presentación Intermountain 2006 ISSA
President Award



c. Rastrillo con trapeador al igual que la caja distribuidora
Tomada de presentación de Richard Sampson y Dustin Lang

Figura 40: Trabajo manual.

e. Caja distribuidora

Hay muchos tipos y variedad de cajas distribuidoras pero todas realizan la misma función, distribuir la mezcla de lechada asfáltica de manera uniforme sobre el pavimento. Se pueden encontrar desde unidades simples, livianas y no ajustables hasta cajas de gran tamaño equipadas con tornillos, correderas especiales y controles hidráulicos.

El tipo de caja depende del tipo de trabajo que se vaya a realizar, por ejemplo, el relleno de roderas, trabajo en el espaldón y anchos variables de distribución, así como de la tasa de distribución.

La limpieza es obligatoria en la caja distribuidora. La caja debería limpiarse al final de cada día de cada período de trabajo y podría requerir limpiarse (especialmente en la parte trasera del hule) durante el día de trabajo si hay acumulación excesiva de la lechada asfáltica y se lleva a cabo a partir del punto en que se comienzan a ver estrías en la mezcla.

La caja distribuidora no debe dejar escapar la lechada. Debe instalarse a los costados un hule (donde sea apropiado) de manera que, los bordes se mantengan aseados. El hule de la parte de atrás de la caja (o de acero) debe dejar un espesor uniforme y cortar el material de lechada con el fin de que no haya crestas desiguales u ondas longitudinales en la “alfombra”. El hule de la parte trasera puede ser cambiado en el grosor, anchura y dureza para lograr los resultados deseados.

La caja distribuidora se debe jalar suavemente y uniformemente sin vibración. La velocidad de la máquina debe mantenerse uniforme. Una velocidad excesiva puede causar que la caja vibre o salte dejando líneas onduladas transversales en el sello de lechada asfáltica. Si se usa una rastra niveladora (típicamente una longitud corta de tela), la velocidad excesiva puede dejar ondas e irregularidades de igual manera.

Las cajas distribuidoras de diferentes diseños reaccionan de manera distinta a los esfuerzos de distribución. Una velocidad normal en un tipo de caja puede ser una velocidad excesiva para otra caja diferente. El factor más importante para una velocidad permitida en la aplicación, es el resultado final y la calidad del sello. La velocidad también se ve afectada por la tasa de aplicación, granulometría del agregado, viscosidad de la lechada asfáltica y las condiciones de la superficie existente, tanto su textura y su lisura.

f. “Cortadora” de hule

La parte trasera de la caja de distribución con un *revestimiento de hule flexible* ayuda a permitir que la mezcla se aplique con el espesor indicado. El material del hule de cortado muy grueso o duro podría segregar el material y dejar el agregado grueso en la caja

distribuidora; si el material del hule es muy suave y fino permitiría la colocación de múltiples capas de lechada pasando debajo de la caja de distribución. Están disponibles varios tipos de hules o materiales sintéticos con diferentes niveles de rigidez. Algunas aplicaciones de Micro-capas podrían incluso requerir una cortadora de acero.

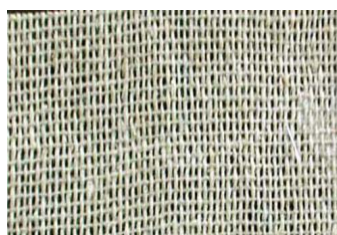
g. Tipos de tela de arrastre y usos

El arrastre de una tela es usado frecuentemente para producir una textura uniforme en el sello colocado. Una tela niveladora puede consistir en lonas, yute, alfombra u otros materiales escogidos para producir una textura particular (Ver Figura 41). Para materiales gruesos como Tipo III y Micro-capas, un segundo hule de corte podría usarse en lugar de una tela niveladora para beneficiar a la textura final de la superficie. Si la tela niveladora se usa sobre la caja distribuidora, el mismo material debería adjuntarse a los rastrillos del trabajo manual para duplicar el resultado producido con la caja distribuidora. (Ver Figura 40c.)

La tela niveladora usada incorrectamente puede causar que grandes piedras se enrolen en una posición donde ellas no quedan apropiadamente incrustadas en el sello. La longitud de la tela niveladora, la altura y el grosor debe ajustarse para cada granulometría específica del agregado o sistema de lechada. Las telas necesitan reemplazarse cuando comiencen a rasgarse o rigidizarse con el asfalto.



a. Lona



b. Tela de yute



c. Alfombra

Figura 41: Telas de arrastre.

h. Variaciones de color

Cuando se tiene más de una máquina mezcladora es importante la uniformidad de una máquina a la otra. Las máquinas producen un porcentaje diferente, el cual podría resultar en una variación de color del producto terminado. Esta variación de color normalmente no es perceptible al ojo hasta que el sello de lechada asfáltica está consolidado totalmente, usualmente al día siguiente.

Cuando la temperatura ambiente varía sustancialmente se producen diferencias de color entre los sellos colocados. El sello colocado cerca de 10 °C puede tener una apariencia visual de "oxidado", en lugar de los mismos materiales colocados a temperaturas mayores a 27 °C. Esta condición visual es muy diferente cuando el porcentaje de emulsión no es consistente; los dos pueden ser distinguidos en la diferenciación de color debida a la temperatura será uniforme de una aplicación a la siguiente y usualmente se magnifica en áreas del pavimento que estaban sombreadas al tiempo de la aplicación. Esta diferencia de color se disipa cuando el sello de slurry se expone a temperaturas elevadas y al tránsito. Esto no afecta la calidad y vida útil del sello de lechada asfáltica.

i. Curado

En las zonas tratadas con el sello de lechada asfáltica se tiene que esperar el tiempo de curado, hasta el momento en que el sello se ha alcanzado el tiempo de curado se puede permitir la apertura al tránsito.

j. Aplanado de la superficie

Normalmente no se requiere un proceso de compactación en las superficies tratadas con lechada asfáltica. Sin embargo, en las áreas de tránsito lento con virajes, por ejemplo, *campos de aviación* o *estacionamientos*, la superficie pavimentada debe ser aplanada con un *rodillo de 9 llantas neumáticas* con un peso de 10 a 12 toneladas. El área pavimentada debe ser sometida a un mínimo de dos pasadas. Si se utiliza un rodillo neumático, éste debe ser operado con una presión en los neumáticos de 345 kPa (50 psi).

No es recomendable utilizar un rodillo de acero pues tiende a colocarse entre los puntos altos (como un puente) y no compacta las áreas bajas, y dejará marcas de rayas en la superficie y quebrará los agregados gruesos.

Finalmente, el aplanado se debe realizar una vez que el sello ha alcanzado una buena rigidez para soportar al compactador y que a éste lo que quede material adherido en las llantas.

k. Limpieza del sitio de pavimentación

Durante la aplicación del sello de lechada asfáltica, y especialmente al terminar el proyecto de preservación, es importante que todas las áreas involucradas se mantengan limpias y en orden. Se sugiere que se realice una inspección diaria del área de carga, con énfasis particular en el área de carga de la emulsión. Para asegurar que esta actividad se realice a satisfacción, la aceptación final del trabajo debería pagarse a plazos hasta que la inspección esté satisfecha con la limpieza de todas las áreas involucradas y éstas hayan sido restablecidas a su estado original de limpieza.

CAPÍTULO 6 FACTIBILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE SELLOS SLURRY EN COSTA RICA

Para determinar la factibilidad real de la aplicación de los sellos de lechada asfáltica en nuestro país, se realizaron entrevistas a los siguientes sectores: Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) y Contratista (Empresa Constructora Santa Fé) ya que pueden influir de manera significativa en que se ponga en práctica este tratamiento.

6.1 Implementación

La información brindada por el MOPT, refleja que la primera intención era de aplicar esta técnica en el mantenimiento de las rutas de lastre, sin embargo no se realizó porque se trataba de un proceso licitatorio, que ya era de por sí complicado, como para incluirle este tipo de actividades que no están implementadas a nivel nacional, además la administración tenía sus reservas de que no hubieran suficientes oferentes que cumplieran con todos los requisitos. Existe una estimación de costos producto de esta primera intención, actualmente se esta pensando en separar esta técnica del mantenimiento de rutas de lastre, como una actividad independiente pero complementaria en algunos proyectos. La administración no cuenta con información o datos de proyectos anteriores en los que se haya aplicado esta técnica, al menos no formalmente.

Todavía en el MOPT no se ha visualizado este tratamiento como una técnica de mantenimiento preventivo para Conservación Vial, es decir no se tiene pensado para intervenir rutas pavimentadas que estén en condición regular y/o buena con el propósito de prolongar su vida de servicio.

Una de las limitaciones que se mencionan es que debe existir anuencia de parte de RECOPE para producir las emulsiones (o al menos una) necesarias, sin embargo esta limitación puede resolverse a través de relaciones diplomáticas entre MOPT y RECOPE, que se han dado y que aún existen.

Otra limitación es que debe existir también una mayor apertura de parte de todos los sectores involucrados, sobre todo del sector de los contratistas ya que ha sucedido anteriormente, en licitaciones de otro tipo de trabajos que no hubo oferentes, por varias

razones, entre ellas de más peso es que se alega poca rentabilidad para las empresas. En este sentido la solución que propone la administración es realizar una contratación que se considere rentable, para los contratistas que tienen mayor posibilidad de importar equipo y capacitar personal.

El MOPT reconoce que es fundamental capacitar a los ingenieros que supervisan estas actividades, ya que la mayoría no conoce esta técnica en detalle, y sobre todo se debe hacer hincapié en los controles que deben realizar, para asegurar el cumplimiento de especificaciones.

El MOPT considera que en aproximadamente un año se puede implementar la aplicación de esta técnica, pues ya se ha trabajado e investigado para establecer las especificaciones para la contratación inicial, sobre todo tomando en cuenta que en nuestro país, los procesos administrativos y políticos, tienen un gran peso en la toma de decisiones.

6.2 Producción de la emulsión asfáltica de rompimiento lento o controlado

Según la información brindada por RECOPE, sí existe la posibilidad de producir emulsiones catiónicas y aniónicas de rompimiento lento o acelerado, con la condición de que exista suficiente demanda para evitar pérdidas económicas y del producto, incluso en épocas anteriores se producían 4 tipos de emulsiones asfálticas, utilizando un mismo tanque el cual se lavaba cada vez que se necesitaba almacenar una emulsión diferente.

Con respecto a la infraestructura necesaria, se está realizando o se tiene pensado realizar un estudio comparativo que permita diferenciar si es mejor modernizar y mejorar la planta o comprar una totalmente nueva, automatizada y que se pueda colocar en el sitio más conveniente. En cuanto a los tanques de almacenamiento, se cuenta con uno, que como se mencionó anteriormente, se puede utilizar para diferentes propósitos siempre y cuando se maneje adecuadamente, sin embargo sí es necesaria la implementación de dos tanques más, la ventaja es que la estructura de soporte ya existe. Otro tanque sería necesario o conveniente para el manejo del ácido que se necesita agregar a la solución. En la Figura 42 se muestran las instalaciones actuales en RECOPE para la producción de emulsión asfáltica.



a. Tanques de almacenamiento de emulsión asfáltica.



b. Planta para la producción de emulsiones asfálticas.



c. Tanques de almacenamiento anaranjado: ácido clorhídrico, verde: gasóleo, blanco pequeño: emulsificante y blanco mediano: solución jabonosa

Figura 42: Planta de emulsión asfáltica de RECOPE.

Fuente: Fotos tomadas en la gira a RECOPE, Ochomogo del curso de técnico de inspector de obra vial, 2008.

Es necesario también que exista una decisión de parte del gobierno, que respalde la inversión, en infraestructura y en costos de producción, ya que como se mencionó anteriormente, si existe demanda, las emulsiones necesarias se producirían sin ningún problema.

Para empezar a producir los diferentes tipos de emulsiones, el tiempo que se requiere depende de si se va a mantener una producción baja, para la cual sería suficiente con la

infraestructura existente o si se necesitaría una gran producción con la consecuente implementación de una infraestructura más amplia. Si se mantiene la infraestructura actual, en dos meses se podría estar produciendo las emulsiones requeridas, sin embargo si se requiere modernizar o ampliar la infraestructura se necesitarían aproximadamente dos años, para realizar todo el proceso, en este momento se están realizando los estudios de costos asociados a la actualización de la planta, por lo tanto de momento no se cuenta con esta información.

Lo que se puede estimar de manera preliminar es que el costo de la emulsión para el consumidor, sería muy similar al costo de la única emulsión que se comercializa actualmente, sin embargo inicialmente tendría un costo mayor para la recuperación de la inversión.

El control de calidad de las nuevas emulsiones producidas, se basarían en las especificaciones ASTM o AASHTO.

Existe la preocupación de que a pesar de que se produzcan y vendan las emulsiones adecuadas para la construcción y colocación de los sellos de lechada asfáltica, se den dificultades si los agregados y el proceso constructivo no son los adecuados.

6.3 Construcción de los sellos de lechada asfáltica

Según la información recolectada en las entrevistas, no se tiene un análisis de costos específico para la construcción de sellos de lechada asfáltica para el país, pero sí existe la posibilidad de calcularlos, ya que la empresa entrevistada se encuentra realizando este tipo de trabajos en otros países del área centroamericana, para los cuales se hizo todo un estudio de costos para poder hacer la oferta, con respecto a los agregados, a los asfaltos y a la emulsión asfáltica.

En cuanto a la materia prima necesaria que se requiere para producir los sellos de lechada asfáltica, es necesario según los contratistas, que RECOPE y el MOPT lleguen a acuerdos que impliquen la producción necesaria de la emulsión asfáltica necesaria, sin embargo, en el

caso de que el volumen de trabajo sea muy atractivo, existe la posibilidad de que el contratista invierta en una planta de emulsión.

Existe la preocupación de parte del contratista con respecto al desempeño de estos sellos, en cuanto al aseguramiento de la calidad de la emulsión.

En cuanto a la producción del agregado, dependiendo de las granulometrías necesarias, se puede trabajar con los agregados existentes, con la salvedad de que sería necesario, en algunos casos cribarlos y para esto es necesario incluir nuevos dispositivos que permitan cumplir con las especificaciones granulométricas. Además existe un costo de oportunidad asociado a dejar de producir las otras granulometrías.

Dado que las granulometrías necesarias son finas es muy importante el control de la humedad en el proceso de quebrado, para evitar que el material quede adherido en la maquinaria de producción, ya que por otro lado un control inadecuado genera costos por retrasos en el proceso.



a. Producción de agregados Planta MECO, Guápiles



b. Producción de agregados Planta Santa Fé, Guápiles

Figura 43: Producción de agregados.

En el país existen suficientes fuentes de agregados sin embargo presenta mucha variabilidad, no obstante es importante que para cada proyecto se asegure la homogeneidad del agregado, para lograr el mejor desempeño de los diseños. El hecho de poder extraer agregados de casi cualquier parte del país facilita la construcción y colocación de sellos ya que los costos de transporte de los materiales son mínimos.

Los equipos para producir los sellos de lechada asfáltica se utilizaron en nuestro país en los años 70's y 80's sin embargo, por falta de mantenimiento comenzaron a fallar, lo cual ocasionó que se descontinuara su uso, por lo tanto para poder aplicar los sellos actualmente se requiere volver a invertir en maquinaria de mezclado y colocación.

Las empresas aún no poseen estos equipos en el país (por lo menos la empresa entrevistada) sin embargo existe el interés y las facilidades para traerlo. En el corto plazo y para bajos volúmenes de trabajo es más factible traer el equipo a manera de préstamo desde proyectos en otros países, en cambio si el volumen de trabajo es considerable, se puede realizar la inversión que se recuperaría en el largo plazo. Este equipo no representa para las empresas del sector un costo significativo (aproximadamente 200 000 dólares), comparado con otras maquinarias utilizadas en la producción y colocación de pavimentos.

Si existen las disposiciones gubernamentales, al sector de la construcción le tomaría solamente dos meses para adquirir el equipo, capacitar al personal, estudiar e implementar los métodos de diseño. También se ha dado que en los proyectos fuera del país los capataces han sido costarricenses, lo que significa una ganancia en la experiencia para la implementación de esta técnica.

6.4 Consideraciones sobre costos

De manera general, para tomar la decisión de colocar un sello de lechada asfáltica como tratamiento preventivo se tiene que realizar un análisis económico con el objetivo principal de determinar el punto óptimo entre los costos relacionados con la inversión en el proyecto (relativos a los estándares de diseño) y los beneficios que trae el proyecto en cuanto a la reducción de los costos de operación que afectan al usuario. El propósito primordial de este análisis económico es lograr que la inversión que se realiza, minimice los costos del ciclo de vida del pavimento. El estándar de diseño óptimo está íntimamente relacionado con los niveles de tránsito, para un mayor tránsito es necesario que los estándares de diseño sean más rigurosos.

En la Figura 44 que se presenta a continuación, se explica de manera conceptual los costos de una carretera que está formada por los costos de construcción/rehabilitación,

mantenimiento y operación de los usuarios. Se muestra que a medida que los costos de construcción/rehabilitación aumentan (los estándares de calidad) los costos de operación del usuario se reducen.

Para explicar el fenómeno perjudicial con base en la Figura 44, para un nivel de tránsito dado, si el sello se construye con un estándar de diseño mayor que el punto óptimo, entonces lo que se produce es que se reducen los costos de operación del usuario y los costos de mantenimiento pero esta reducción no es suficiente para la recuperación de los costos de inversión en la construcción del sello, es decir, la inversión no es rentable pues se está subestimando. Esto destaca la importancia de asegurar que las especificaciones de calidad del diseño y control adoptadas sean las adecuadas para que el fenómeno económico explicado anteriormente no se dé.

De aquí la importancia de escoger las especificaciones de diseño y control de calidad de los sellos de lechada para asegurar que el proyecto sea rentable.

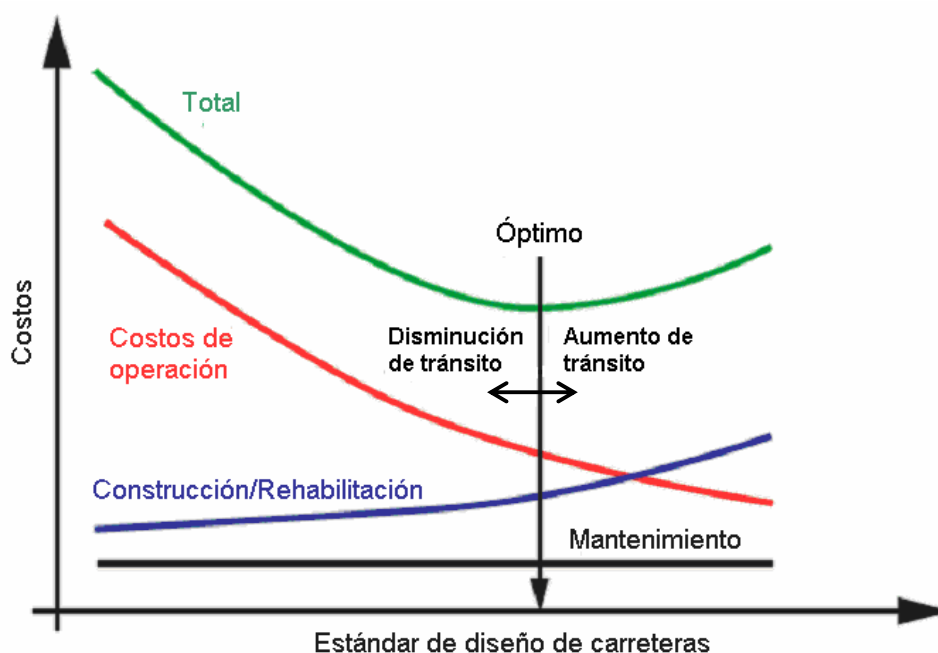


Figura 44: Relación de costos con estándar óptimo de diseño de carreteras.

Tomado de Guideline low-volume sealed roads, SAT, Julio 2003

Específicamente, para la aplicación de los sellos de lechada asfáltica, el tiempo al cual este tratamiento se aplica sobre el pavimento, es primordial en los costos totales y en la

efectividad de la aplicación del tratamiento. Esto se puede ver claramente en las Figuras 45 y 46. Donde, en la Figura 45 se puede ver de manera cualitativa el beneficio de la aplicación de estos sellos con base en la curva de deterioros de Kandhal, la serviciabilidad del pavimento; y en la Figura 46 se puede ver el ahorro de la aplicación de este tipo de tratamientos preventivos en el largo plazo con respecto a los costos de rehabilitación, donde se ilustra una condición de PCI (Índice de Condición del Pavimento) inicial de 100 o estado excelente, una caída de 40% en la condición, es decir, una condición buena, luego de un 75% de la vida de servicio, otra caída de un 40% en la condición, es decir a una condición mala cercana a 0, si esta condición no se trata con un tratamiento preventivo al final lo que se produce es que los costos se incrementan desde un 550 colones (si se hubiera realizado un tratamiento preventivo) hasta 5500 colones cuando ya hay que realizar una rehabilitación, además se muestra que si se aplican sucesivos tratamientos preventivos no se permite que la condición del pavimento baje a una condición mala.

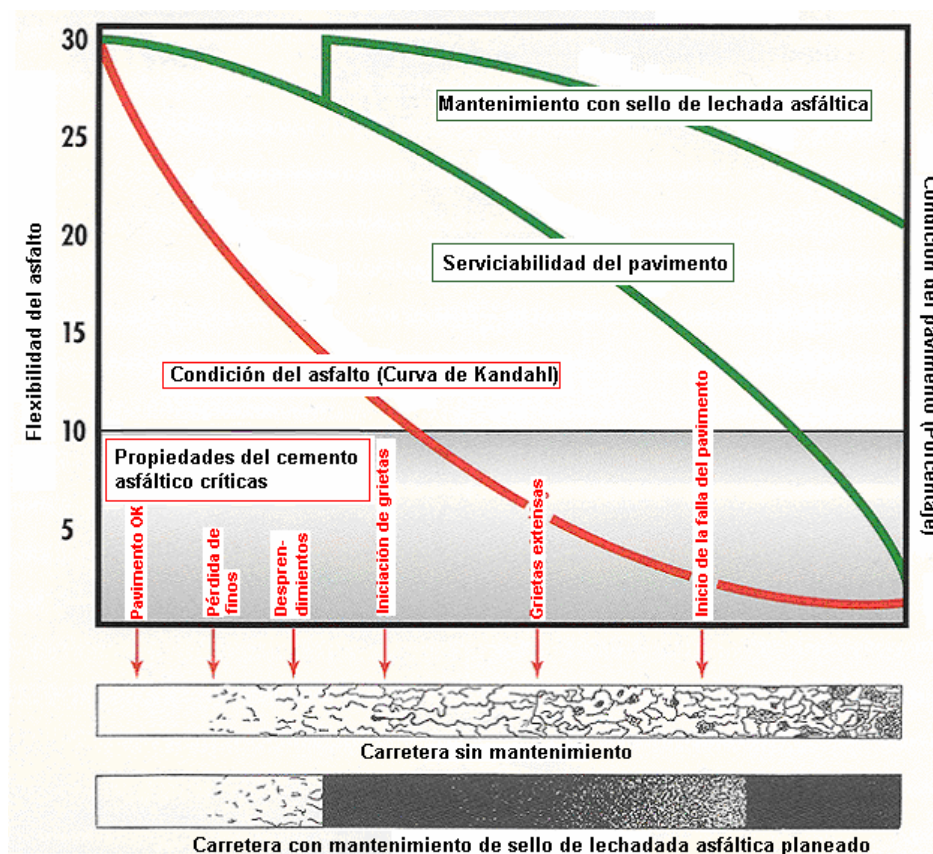


Figura 45: Histograma cualitativo de desempeño de un pavimento flexible. Tomados de Intermountain Slurry Seal, Inc y de Principes of pavement preservation de FHWA.

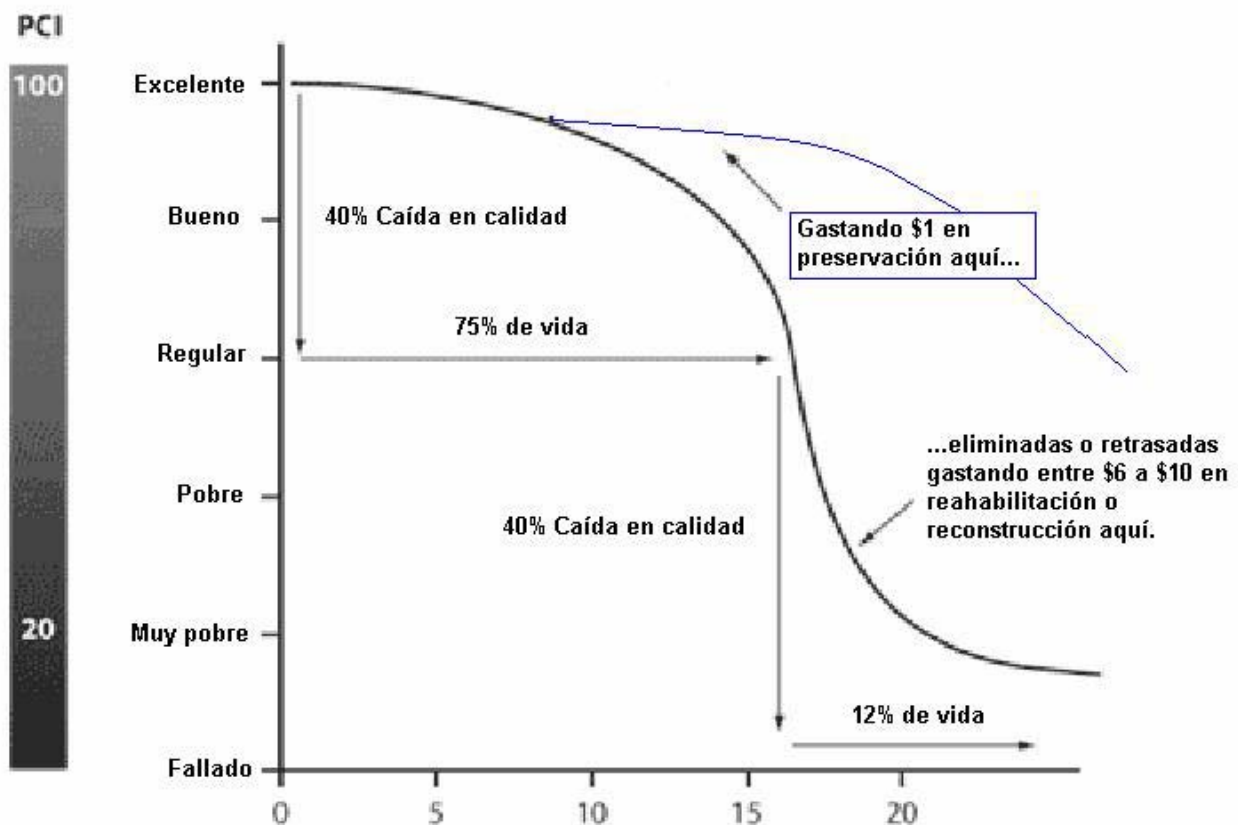


Figura 46: Histograma cuantitativo de desempeño de un pavimento flexible.

Tomados de Intermountain Slurry Seal, Inc y de Principles of pavement preservation de FHWA.

Debido a que no se han realizado ni documentado proyectos de tratamientos con sellos de lechada asfáltica en Costa Rica, la información que se presenta a continuación en cuanto a costos y beneficios, proviene de fuentes internacionales, de países en los que esta técnica se ha aplicado por varias décadas.

En la Tabla 19 se presenta una comparación de los costos de aplicación en colones por metro cuadrado, entre las distintas técnicas de preservación aplicadas en Estados Unidos, resumidas en la Tabla 2.

Tabla 19: Comparación de costos de distintos tratamientos para el mantenimiento de pavimentos (Referencia 10).

Tratamiento	Costo típico (¢/m²)	Costo relativo (%)	Vida útil esperada
Sello de niebla "Fog Seal"	297	0,4	1 a 3 años
Sello de arena "Sand Seal"	462	0,6	3 a 4 años
Sello de barrido "Scrub Seal"	853	1,1	4 a 6 años
Tratamientos superficiales "Chip seal"	792	1,0	4 a 6 años
Lechada asfáltica "Slurry Seal"	792	1,0	4 a 6 años
Sello de capa "Cape seal"	1315	1,7	6 a 8 años
Microcapas "Microsurfacing"	985	1,2	6 a 8 años
Recubrimiento para pavimentos "Pavement dressing"	495	0,6	4 a 6 años

6.5 Valores de IRI y deterioros superficiales correspondientes, posibilidad de intervención con sellos de lechada asfáltica.

Se cuenta con la premisa de que el IRI es un indicador de la condición superficial de la carretera y que valores bajos de IRI están relacionados con deterioros leves en los pavimentos.

Por esta razón, se toma como base la información del proyecto de investigación que se está realizando actualmente: *"Determinación de herramientas de gestión vial a nivel de red, cálculo de índices para la Red Vial Nacional"*. En este proyecto, para cada una de las distintas zonas de conservación del país, se toman los datos de IRI más actuales para las rutas de cada zona y se dividen en tramos homogéneos. Cada tramo homogéneo es representado por un valor de IRI promedio.

Con base en los valores de IRI de cada tramo homogéneo, se realizó una gira, en este caso a la zona 4-2 (Zona Sur), con el fin de observar la correlación que existe entre el valor de IRI determinado para los distintos tramos homogéneos y los tipos y severidades de deterioros presentes. Se seleccionó esta zona ya que es una de las pocas que presentan un tramo homogéneo con IRI menor a 2, considerado como bueno, además era posible observar tramos con distintas clasificaciones según el IRI, como se muestra en la Figura 47.

En el eje horizontal de este gráfico es posible observar los distintos tramos homogéneos que forman parte de esta zona de conservación, y sus valores correspondientes de IRI.

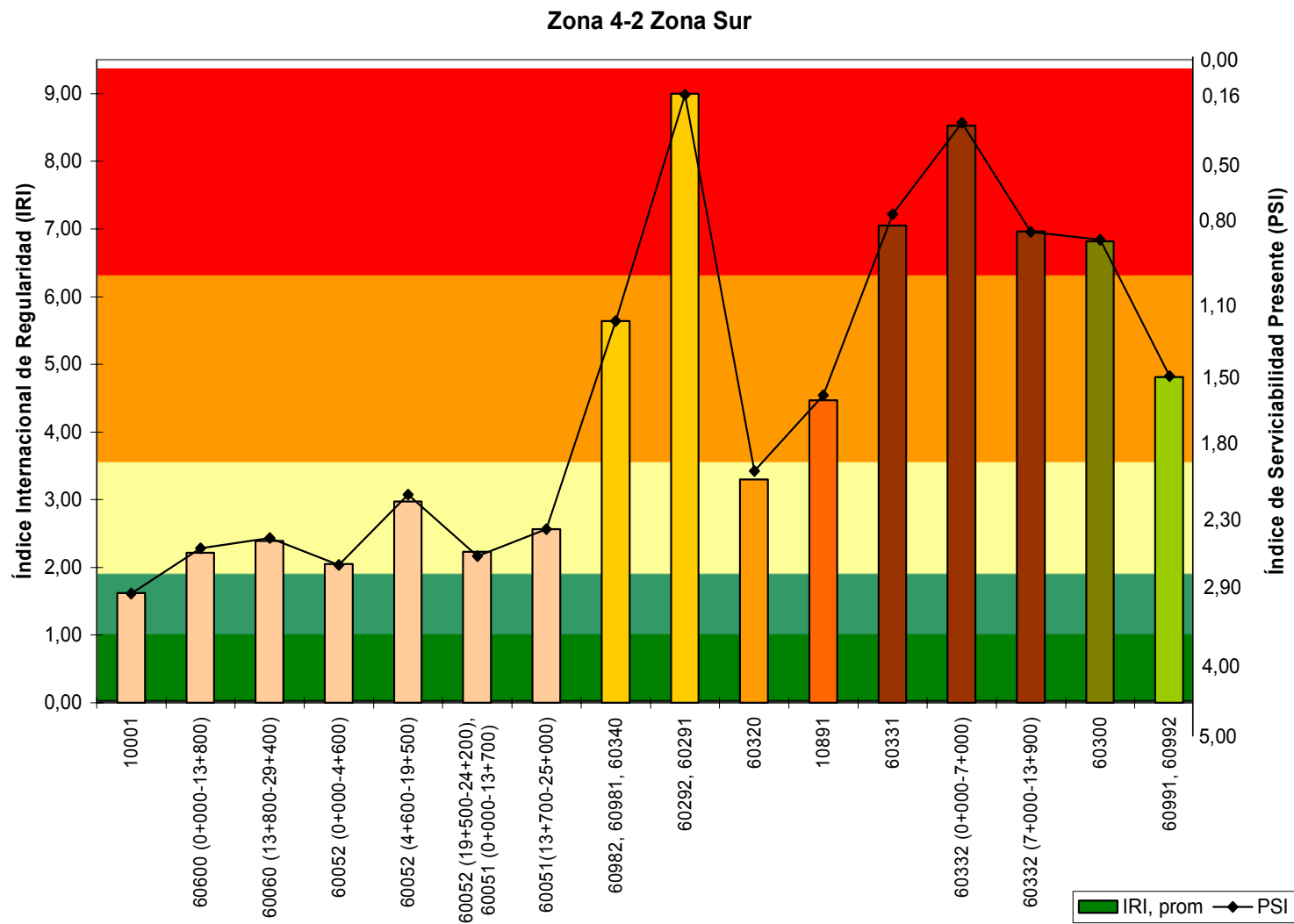


Figura 47: Clasificación por medio de IRI en la zona 4-2 de la Zona Sur.



A continuación se presenta también el resumen de la auscultación visual llevada a cabo de estos tramos homogéneos, con las respectivas fotografías y los deterioros superficiales encontrados y sus severidades

6.5.1 Sección de control 10001

Para esta sección de control se realizó la observación visual de dos tramos, uno antes del puente de San Pedro y otro quinientos metros después.

a. Tramo antes del puente de San Pedro, Pérez Zeledón

En este tramo se observaron cuatro puntos, a continuación se muestran las fotografías y la descripción de los deterioros.

Punto	Descripción
<p>Punto 1:</p> 	<p>Punto ubicado cerca del restaurante HAWAI.</p> <p>No presenta deterioros de ningún tipo, incluso las juntas longitudinales se observan bien logradas.</p> <p>IRI = ■ en la franja verde oscuro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
<p>Punto 2:</p> 	<p>Entrada a las Mercedes de Cajón.</p> <p>Existen algunas grietas de más de 2mm de espesor.</p> <p>Hay desprendimientos leves y puntuales. Pero en general la condición superficial es buena.</p> <p>IRI = ■ en la franja verde oscuro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>


Punto	Descripción
<p>Punto 3:</p> 	<p>800 metros después de la entrada a las Mercedes de Cajón.</p> <p>Grietas puntuales con espesores superiores a los 2mm. Que requieren de ser tratadas antes de la aplicación del sello.</p> <p>IRI = en la franja verde oscuro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
<p>Punto 4</p> 	<p>Frente al taller Prado</p> <p>Condición superficial buena.</p> <p>Existe un punto en el que se realizó un muestreo, y está exudado y mal conformada la reparación (podría darse inclusión de agua y/o finos)</p> <p>IRI = en la franja verde oscuro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>

b. Tramo después del puente de San Pedro, Pérez Zeledón:

En este tramo se observaron cuatro puntos, a continuación se muestran las fotografías y la descripción de los deterioros.

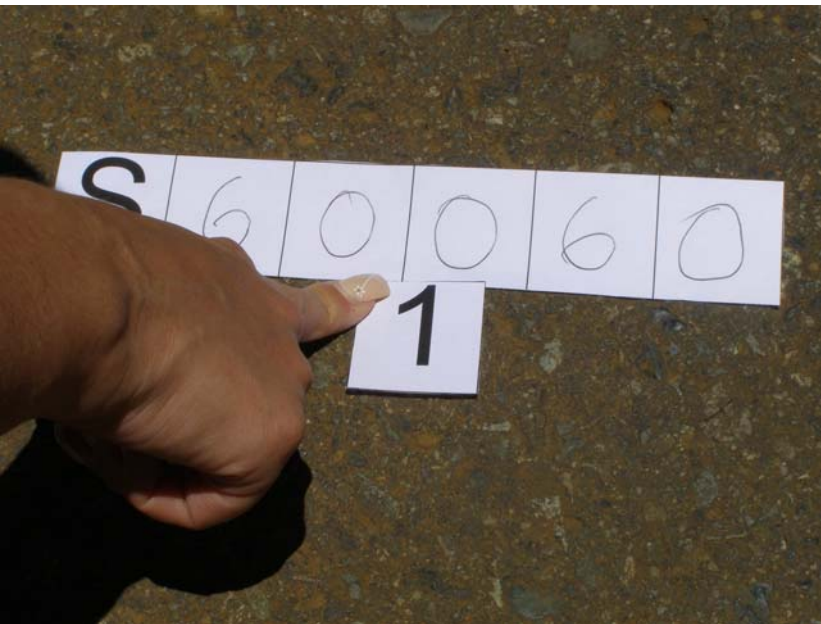

Punto	Descripción
<p data-bbox="145 506 252 535">Punto 5</p> 	<p data-bbox="911 506 1442 591">Después del puente de San Pedro, en la entrada a Santa Ana.</p> <p data-bbox="911 613 1385 698">No se encuentran deterioros en la evaluación visual del pavimento.</p> <p data-bbox="911 721 1342 804">IRI = en la franja verde oscuro.</p> <p data-bbox="911 826 1385 904">Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
	
<p data-bbox="145 1200 260 1229">Punto 6:</p> 	<p data-bbox="911 1200 1442 1547">En este punto la condición superficial es buena, sin embargo existen problemas de manejo de aguas, producto de entradas a propiedades o pueblos que funcionan como canales que llevan el agua y materiales hasta la carretera.</p> <p data-bbox="911 1570 1342 1653">IRI = en la franja verde oscuro.</p> <p data-bbox="911 1675 1385 1756">Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
	


Punto	Descripción
<p>Punto 7:</p> 	<p>No existen deterioros en la zona de tránsito normal, sin embargo, en la bahía de los autobuses hay un hundimiento producto posiblemente de la mala o no conformación del relleno sobre el que se encuentra. La pendiente en este costado de la carretera es considerable. Condición que tiene que ser tratada antes de la aplicación del sello.</p> <p>IRI = en la franja verde oscuro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>

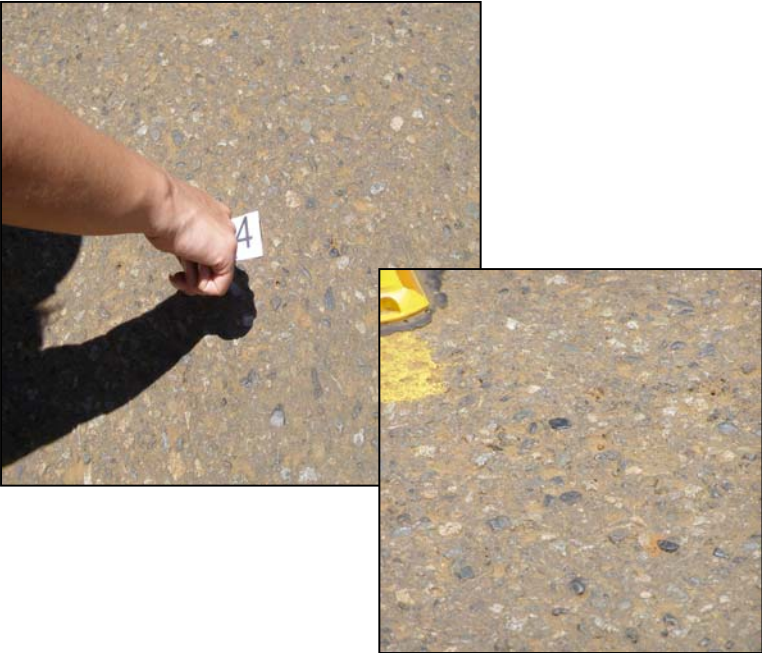
<p>Punto 8:</p> 	<p>No se encuentran deterioros en la evaluación visual del pavimento. Existen problemas de manejo de agua.</p> <p>IRI = en la franja verde oscuro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
---	--

6.5.2 Sección de control 60060

Para esta sección de control se realizó la observación visual de un tramo, ubicado entre el puente sobre el Río Cacao y la entrada a Volcán de Buenos Aires.

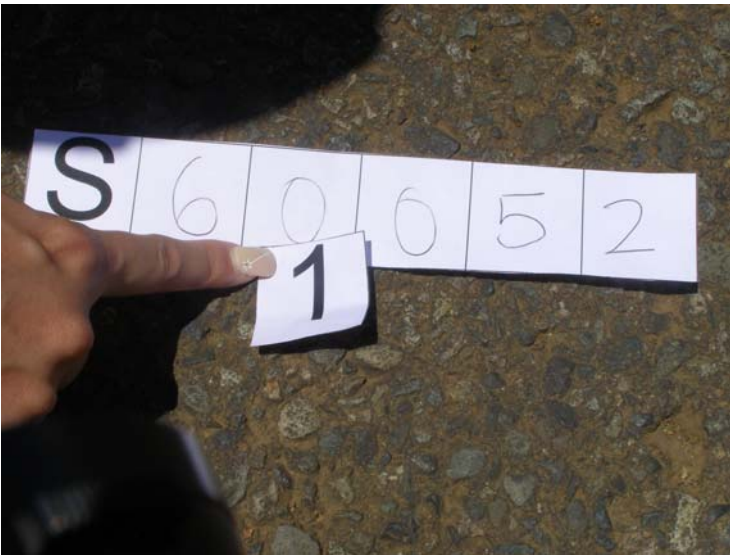

Punto	Descripción
<p>Punto 1:</p> 	<p>No se encuentran deterioros en la evaluación visual del pavimento.</p> <p>Existen problemas de manejo de agua.</p> <p>IRI = <input type="text" value=""/> en la franja amarillo claro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
<p>Punto 2:</p> 	<p>Existe cierta lisura en el pavimento, producto de la pulimentación de los agregados. El tamaño máximo de la mezcla es superior al del punto anterior.</p> <p>IRI = <input type="text" value=""/> en la franja amarillo claro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>

Punto	Descripción
<p>Punto 3:</p> 	<p>Recta antes de la entrada de Volcán de Buenos Aires. Existe oxidación y desprendimientos leves. También es posible observar lisura en el pavimento por pulimentación del agregado.</p> <p>IRI = <input type="text" value=""/> en la franja amarillo claro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>

<p>Punto 4:</p> 	<p>Entrada a Volcán de Buenos Aires. La condición superficial del pavimento es igual que en el punto anterior, solamente que el desprendimiento es moderado.</p> <p>IRI = <input type="text" value=""/> en la franja amarillo claro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
---	---

6.5.3 Sección de control 60052

Para esta sección de control se realizó la observación visual de un tramo, ubicado después de la entrada a Buenos Aires.

Punto	Descripción
<p>Punto 1:</p> 	<p>800 metros después de la entrada a Buenos Aires. Existe desprendimiento leve y una textura lisa debido a pulimentación del agregado.</p> <p>IRI = <input type="text" value=""/> en la franja amarillo claro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
<p>Punto 2:</p> 	<p>1.5 km después de la entrada a Buenos Aires. Existe una textura lisa leve debido a la pulimentación del agregado.</p> <p>IRI = <input type="text" value=""/> en la franja amarillo claro.</p> <p>Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>

Punto	Descripción
<p data-bbox="129 293 263 331">Punto 3:</p> 	<p data-bbox="893 293 1466 548">Entrada a San Carlos, KM 199. El pavimento se encuentra levemente oxidado y existe una textura lisa debido a la pulimentación del agregado.</p> <p data-bbox="893 548 1466 649">IRI = <input type="text" value=""/> en la franja amarillo claro.</p> <p data-bbox="893 649 1466 750">Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica.</p>
<p data-bbox="129 981 263 1019">Punto 4:</p> 	<p data-bbox="893 981 1466 1444">8 km después de la entrada a Buenos Aires. Existen grietas de severidad alta, así como oxidación y desprendimientos de severidad alta. Hay agrietamiento cuero de lagarto moderado y textura lisa debido a la pulimentación del agregado.</p> <p data-bbox="893 1444 1466 1545">IRI = <input type="text" value=""/> en la franja amarillo claro pero por encima de la mitad.</p> <p data-bbox="893 1545 1466 1747">Buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica, pero con tratamiento previo del agrietamiento.</p>

6.5.4 Sección de control 60982

Para esta sección de control se realizó la observación visual de un tramo, ubicado después del puente sobre el Río Térraba, en Paso Real.

Punto	Descripción
<p>Punto 1:</p> 	<p>Frente a Bar Paso Real. Existen baches tipo emergencia. Se pueden observar también grietas, oxidación y desprendimiento de severidad alta. También los agregados están muy pulimentados lo cual genera una superficie con textura inadecuada.</p> <p>IRI = en la franja anaranjada.</p> <p>No es buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica. Habría que realizar una intervención más extensiva para luego aplicar el sello.</p>
<p>Punto 2:</p> 	<p>1 km después del puente sobre el Río Térraba, en Paso Real. Existen baches tipo emergencia. Se pueden observar también grietas, oxidación y desprendimiento de severidad alta.</p> <p>También los agregados están moderadamente pulimentados lo cual genera una superficie con textura inadecuada. La mala condición de la carretera es evidente, la condición superficial impide transitar a una velocidad normal según geometría.</p> <p>IRI = en la franja anaranjada.</p> <p>No es buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica. Habría que realizar una intervención más extensiva para luego aplicar el sello.</p>

Punto	Descripción
<p>Punto 3:</p> 	<p>Entrada a Potrero Grande.</p> <p>Existen baches tipo emergencia. Se pueden observar también grietas, oxidación y desprendimiento de severidad alta.</p> <p>También los agregados están moderadamente pulimentados lo cual genera una superficie con textura inadecuada.</p> <p>IRI = en la franja anaranjada.</p> <p>No es buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica. Habría que realizar una intervención más extensiva para luego aplicar el sello.</p>
<p>Punto 4:</p> 	<p>Las Vueltas.</p> <p>La condición observada en la entrada de Potrero Grande permanece hasta este punto, los mismos deterioros con la misma severidad.</p> <p>IRI = en la franja anaranjada.</p> <p>No es buen candidato para tratamiento con sello de lechada asfáltica. Habría que realizar una intervención más extensiva para luego aplicar el sello.</p>

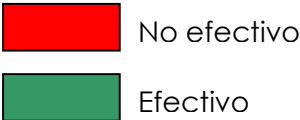
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS FINALES

7.1 Conclusiones

Se definió el concepto de sello de lechada asfáltica (slurry seal), y se establecieron las diferencias que existen con las otras alternativas de preservación. Con base en esta información es posible seleccionar de manera adecuada la técnica que resulte más eficiente, dependiendo de las características que se desean mejorar en el pavimento.

Se presenta un gráfico ilustrativo, para detallar cuándo se recomienda la aplicación de estos sellos y su efectividad según el nivel de severidad de los deterioros.

TIPOS DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD	
	MENOR ←	→ MAYOR
Desprendimiento de partículas	Efectivo	
Agregados pulidos	Efectivo	
Oxidación de la superficie	Efectivo	
Ahuellamiento	No efectivo	
Agrietamiento	Efectivo	
Exudación	Efectivo	
Superficie lisa	Efectivo	
Daño por humedad	No efectivo	



Se presentó un resumen de los tipos de sellos de lechada asfáltica que existen y los materiales requeridos para fabricarlas, es importante recalcar que los tipos de emulsión requerida no se comercializan actualmente en el país.

Se logró establecer que en otros países se ha utilizado ampliamente esta técnica, y en algunos casos se ha medido su desempeño, el cual ha sido mejor que el proyectado.

Con base en información recopilada desde diferentes fuentes, fue posible definir los ensayos de laboratorio que se deben realizar a los agregados, emulsión y mezcla para sellos de lechada asfáltica, desde el punto de vista de diseño y control de calidad. Como ventaja para el país los equipos requeridos para llevar a cabo estos ensayos ya se encuentran disponibles en el LanammeUCR.

Algunos de los ensayos que se utilizan para caracterizar la mezcla para sellos de lechada asfáltica son cualitativos, lo cual evidencia la importancia de la experiencia en la aplicación de esta técnica, para asegurar un buen diseño y desempeño.

Las especificaciones que se muestran de manera preliminar en este estudio, se basan en las características y necesidades de proyectos en otros países, es importante destacar que se deben calibrar con datos de proyectos que se realicen bajo las condiciones de nuestro país y así establecer los parámetros que deben cumplir este tipo de sellos.

Fue posible recavar información sobre los equipos de construcción empleados en otros países, con base en esta información se establece la necesidad del empleo de equipo especializado para el mezclado y colocación de los sellos de lechada asfáltica. Este equipo se puede utilizar también en la construcción de microcapas (microsurfacing).

Se presentó una descripción detallada del proceso constructivo y las etapas primordiales. Se destaca la importancia de la calibración del equipo de mezclado y colocación con respecto a las tasas de dosificación de los componentes; también hay que recalcar los cuidados necesarios para el cálculo de la tasa de aplicación del sello, debido a que esta depende de la granulometría del agregado y de la textura superficial del pavimento existente, para asegurar un buen recubrimiento de la superficie.

Luego de las entrevistas realizadas se determinó que si es factible la aplicación de los sellos de lechada asfáltica en el país:

- En cuanto a la emulsión necesaria para la fabricación de estos sellos, según RECOPE existe la posibilidad de producirla, siempre y cuando se garantice la comercialización

de estos productos, para recuperar o justificar la inversión inicial y los costos periódicos de producción.

- Con respecto a la producción de los agregados necesarios, según el contratista consultado, no existen mayores obstáculos, ni desde el punto de vista de fuentes ni técnicos, pues en la mayor parte del país se cuenta con materia prima. El cambio más importante que generaría la implementación de esta técnica de mantenimiento, tiene que ver con la adquisición de equipos de quebrado para obtener materiales más finos.
- Para el contratista es posible la compra del equipo especializado requerido para la construcción de los sellos de lechada asfáltica, ya que su costo no es significativo comparado con los costos de la maquinaria usual de construcción y colocación de mezcla asfáltica en caliente. También puede ser factible el traslado del equipo desde proyectos que se desarrollen en otros países del área.
- El MOPT tiene como meta que en aproximadamente un año se puede implementar la aplicación de esta técnica en las rutas de lastre, pues ellos ya han trabajado e investigado para establecer las especificaciones para la contratación inicial.

Como complemento para determinar la factibilidad de la aplicación de estos sellos, se realizó una gira a la Zona Sur, donde se pudo observar una correlación entre el valor de IRI determinado para los distintos tramos homogéneos y los tipos y severidades de deterioros presentes en rutas pavimentadas. Esto es importante ya que el IRI promedio de los tramos homogéneos permite tener un conocimiento previo del estado de la carretera y unido con una evaluación visual, hacen que sea posible diferenciar los deterioros que se lograrían corregir con la aplicación de los sellos de lechada asfáltica.

También se concluye de manera preliminar, que los tramos homogéneos que presentan resultados de IRI promedio en las franjas verde y amarilla, según la gira y la evaluación visual realizada, son los mejores candidatos para una intervención con sellos de lechada asfáltica. Sin embargo es importante tener en cuenta que se debe realizar una evaluación de la capacidad estructural ya que si la estructura es competente, en cuanto a respuesta ante las

cargas, los sellos son recomendables, pero si la estructura es deficiente se necesitaría otro tipo de intervención que mejore la capacidad estructural.

Como no se han realizado ni documentado proyectos de tratamientos con sellos de lechada asfáltica en Costa Rica, la información que se presenta en cuanto a costos y beneficios, proviene de fuentes internacionales, de países en los que esta técnica se ha aplicado por varias décadas con éxito y se puede concluir que la realización del análisis costo-beneficio es fundamental para que la aplicación de los sellos de este tipo sea justificable en nuestro país.

7.2 Recomendaciones

Sobre el presente estudio:

La implementación de esta técnica, es posible siempre y cuando todos los sectores involucrados se den a la tarea de realizar con rigor las labores que les corresponden, en este sentido la recomendación es que cada sector realice un plan detallado para que se dé la comunicación y la vinculación entre sectores de manera eficiente y a tiempo, para lograr que las inversiones se vean reflajadas en un buen desempeño de los sellos.

La capacitación para los sectores involucrados es fundamental, ya que a pesar de que alguna vez se aplicó esta técnica en el país, se deben reintroducir los conceptos necesarios para dar a conocerla, y lograr que se apliquen en proyectos con las características específicas y para lograr los mejores resultados. Se debe prestar especial atención a la capacitación de los inspectores de obra para asegurar que el producto cumpla con las especificaciones establecidas para lograr un buen desempeño a largo plazo.

En cuanto al tema de capacitación, el LanammeUCR podría implementar: curso introductorio sobre conceptos generales, y cursos más específicos como: ensayos de laboratorio para el diseño y control de calidad de las mezclas de lechada asfáltica. Estos cursos se dirigirían al personal de la Administración, laboratorios de control y verificación de la calidad, contratistas, y técnicos de laboratorio. También se puede incluir como tema adicional las labores de inspección en la construcción de los sellos de lechada asfáltica en el curso de Inspectores Viales, que el LanammeUCR ya imparte.

El papel que desempeña la Administración en la implementación de nuevas técnicas es fundamental, pues debe establecer cuáles son las necesidades del país y es quién debe planificar y coordinar junto con los demás sectores, la puesta en práctica de estas técnicas de preservación.

Unido a lo expuesto anteriormente, es importante recalcar que la Administración tiene que ser muy rigurosa en cuanto a las exigencias técnicas para la implementación de los sellos de lechada asfáltica que se plantean en las licitaciones, y que al mismo tiempo tienen que ser claras y concretas para lograr que sea atractivo y que se lleve de la mano para que el proceso sea un éxito en el menor tiempo posible.

Sobre estudios posteriores:

Para complementar la presente investigación, se propone una segunda fase donde se realicen los diseños de la mezcla a partir de los materiales disponibles en el país, para realizar la calibración de las especificaciones.

También se propone, realizar evaluaciones visuales a otros tramos homogéneos de IRI en otras rutas con distintos niveles de tránsito, y complementarlo con evaluaciones de la capacidad estructural del pavimento, para establecer qué tan buena es la correlación que existe con el IRI y establecerlo como un indicador para la intervención de las rutas con la aplicación de sellos de lechada asfáltica.

Una recomendación al largo plazo, es incorporar secciones con tramos experimentales utilizando los métodos de diseño, materiales y técnicas de construcción con la intención de que las partes involucradas vayan adquiriendo la experiencia para minimizar las posibles fuentes de error. Estos tramos experimentales se pueden construir en rutas que presentan los tipos de deterioro que los sellos corrigen; para medir características de funcionalidad como por ejemplo: fricción y rugosidad en conjunto con inspecciones visuales, esto para la obtención de una base de datos que permita determinar su desempeño a lo largo del tiempo.

7.3 Comentarios finales

La Administración que se vea en la necesidad de aplicar sellos con el propósito de preservar la vida de servicio de las carreteras (en términos de accesibilidad y costos de operación) y evitar su deterioro, tiene que utilizar técnicas de diseño no convencionales. La innovación es esencial y lo más importante, es que se implementen las técnicas en el momento en que se tenga la capacidad adecuada, para así obtener los mejores resultados y además generar una base de datos de desempeño para estas técnicas de innovación.

a) Camino a la implementación

El proceso de implementación se puede acelerar cuando se entienden los procesos que se tienen que desarrollar, como la transferencia de tecnología, identificar los obstáculos y adoptar las estrategias para mitigarlos. En términos generales, hay 5 pasos en el proceso de innovación:

1. **Generación de la idea:** lo primero fue percibir la necesidad para desarrollar este tema, lo cual se logró con la encuesta realizada en año anterior a los diversos sectores.
2. **Generación, adaptación y transferencia de tecnología:** esto se logra cuando se hace conciencia acerca de la importancia de los resultados de la investigación realizada en el país, la adaptación de los estándares apropiados y compartir el conocimiento adquirido en el desarrollo de este tema.
3. **La Administración:** la importancia de que las instancias gubernamentales (MOPT y CONAVI) se interesen en el tema de tal forma que pongan en acción la implementación.
4. **Especificaciones y contratos:** es fundamental calibrar las especificaciones y establecerlas en los contratos o licitaciones para que se adapten a las condiciones locales, con la consecuente participación durante las distintas etapas de los contratistas para que adopten las nuevas técnicas y las apliquen en los proyectos.
5. **Beneficios:** estar atentos a los beneficios potenciales que se pueden obtener al implementar la técnica basados en los hallazgos de esta investigación bibliográfica.

Este documento forma parte importante en los pasos 2 y 4, en este proceso de innovación.

b) De la visión a la práctica

El esfuerzo en la transferencia de tecnología, es esencial en el éxito de la implementación de esta técnica de preservación de pavimentos. Es primordial el interés por parte del MOPT reflejado en la encuesta así como en la entrevista realizada para lograr esto, pero se necesita un trabajo intensivo de concientización, el cual se tiene que realizar a través de talleres, conferencias y otros métodos de divulgación de la información, con el fin de disminuir la resistencia al cambio.

El papel del LanammeUCR se resume en la siguiente Figura 48 donde también se destaca el papel de cada institución para lograr que la aplicación de los sellos de lechada asfáltica sea todo un éxito.

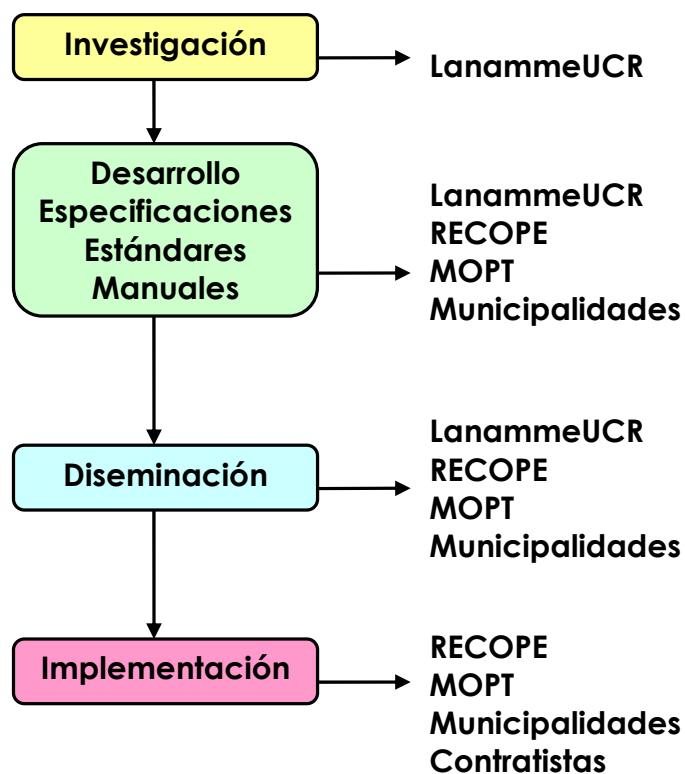


Figura 48: Diagrama de flujo de la implementación de la técnica de los sellos de lechada asfáltica.

Tomada de Guideline low-volume sealed roads, SAT, Julio 2003

Es importante dar espacio para la implementación de los estándares, manuales y especificaciones para acelerar el proceso de aplicación de los sellos de lechada asfáltica. Llevar un control de la aceptación, adopción y refinamiento de esta información.

Finalmente, el propósito es que este documento está dirigido a la Administración ya sea el MOPT o Municipalidades, los cuales están en posición de llevar a cabo el cambio y la implementación de las ideas contenidas en esta investigación.

CAPÍTULO 8 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>