

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

INFORME: LM-PI-UMP-015-R1

ENTRENAMIENTO LABORATORIO DE ROAD SCIENCE

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Octubre, 2013



Documento generado con base en el Art. 6, inciso i) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capít. 6, Art. 67 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

1. Informe LM-PI-UMP-015-R1		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: ENTRENAMIENTO LABORATORIO DE ROAD SCIENCE		4. Fecha del Informe OCTUBRE, 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <p>En Costa Rica actualmente se emplean emulsiones asfálticas para una variedad muy limitada de aplicaciones, por ejemplo: riegos de liga, riegos de imprimación y tratamientos superficiales. En estas aplicaciones se utilizan emulsiones de rompimiento rápido comúnmente. No es hasta hace poco tiempo que se están introduciendo las emulsiones de rompimiento lento para estabilizar materiales granulares. Esto contrasta con la realidad de muchos países alrededor del mundo, en los cuales la tendencia es cada vez más utilizar emulsiones asfálticas por su versatilidad y bajo costo económico y ambiental.</p> <p>Con este panorama y para complementar los proyectos de investigación que se vienen ejecutando en el LanammeUCR, se realizó en la semana del 6 al 10 de mayo del 2013 un entrenamiento en las instalaciones del Laboratorio de Road Science en Tulsa, Oklahoma. Esto para aprender las metodologías de ensayo que utilizan en este laboratorio a la hora de diseñar bases estabilizadas ó reciclado en frío con emulsión asfáltica, lechas asfálticas y microcapas. Este laboratorio cuenta con una basta experiencia en los Estados Unidos y a nivel internacional en el campo de las emulsiones y sus aplicaciones, además de contar con equipos sofisticados y de primer nivel.</p>		
10. Palabras clave Emulsión asfáltica, microcapas, sellos de lechada asfáltica, base estabilizada con emulsión	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 20
13. Preparado por: Juan Carlos Múnera Miranda Técnico de laboratorio mezclas bituminosas  Fecha: 03 / 10 / 13		
14. Revisado por: Ing. Andrea Ulloa Calderón Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 03 / 10 / 13	15. Aprobado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 03 / 10 / 13	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: 03 / 10 / 13

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. METODOLOGÍA PROPUESTA	5
2.1 PERSONAL, EQUIPO E INSTALACIONES DE ROAD SCIENCE	5
2.2 METODOLOGÍAS DE DISEÑO VISTAS EN EL LABORATORIO	5
2.2.1 DISEÑO EN LABORATORIO DE BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA UTILIZANDO MATERIAL RECICLADO (FULL DEPTH RECLAMATION).....	5
2.2.1.1 Preparación de muestra.....	5
2.2.1.2 Elaboración de especímenes de ensayo.....	7
2.2.1.3 Ensayos físicos y mecánicos	8
2.2.1.4 Construcción de base estabilizada con emulsión asfáltica utilizando material reciclado (Full Depth Reclamation)	12
2.2.1.5 Control de Calidad.....	13
2.2.2 ELABORACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	14
2.2.3 DISEÑO DE MICROCAPAS Y LECHADAS ASFÁLTICAS	15
3. CONCLUSIONES	18
4. RECOMENDACIONES	20
5. REFERENCIAS	20

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA FDR	6
FIGURA 2: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DISEÑO BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN	8
FIGURA 3: ENSAYO DE COHESIÓN	9
FIGURA 4: ENSAYO DE ITS.....	9
FIGURA 5: ENSAYO DE RAVELING	10
FIGURA 6: ENSAYO IDT	11
FIGURA 7: CONSTRUCCIÓN DE FDR	12
FIGURA 8: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA RECLAMADORA.....	13
FIGURA 9: ELABORACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	15
FIGURA 10: DOSIFICACIÓN DE MICROCAPAS.....	16
FIGURA 11: ENSAYO DE AZUL DE METILENO	17
FIGURA 12: ENSAYO DE PISTA HÚMEDA	17
FIGURA 13: ENSAYO DE RUEDA CARGADA	18
FIGURA 14: CONDICIONES DE LABORATORIO A 40 °C	18

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: GRANULOMETRÍA, ROAD SCIENCE, 2011.....	7
TABLA 2: SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA DISEÑO, ROAD SCIENCE	7
TABLA 3: ESPECIFICACIONES DE DISEÑO FDR, ROAD SCIENCE	11
TABLA 4: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIÓN, ROAD SCIENCE.....	13
TABLA 5: FORMULACIÓN DE EMULSIÓN.....	14
TABLA 6: DISEÑO DE EMULSIÓN	15

1. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento en el laboratorio de la empresa Road Science consistió en aprender en laboratorio cómo se diseñan las bases estabilizadas con emulsión asfáltica con material reciclado. Comprender como se elaboran las emulsiones asfálticas en laboratorio. Y analizar el diseño de lechadas asfálticas y microcapas.

2. METODOLOGÍA PROPUESTA

2.1 Personal, equipo e instalaciones de Road Science

Este laboratorio cuenta con profesionales y técnicos de mucha calidad y experiencia, que desempeñan sus labores con compromiso y seriedad. Llama la atención de manera positiva el ambiente amigable que existe dentro del laboratorio tanto entre compañeros como hacia visitantes. Los equipos son todos muy actuales y sofisticados. Inclusive cuentan con equipos prototipos para ser usados en propuestas de normas de ensayos. Algunos equipos son diseñados en el laboratorio. El laboratorio cuenta con instalaciones acondicionadas para cada tipo de análisis que se realice. Se conoció al siguiente personal entre otros:

- Graig Good. Senior Manager, Design Group.
- Al Palmer. Engineering Services Leader.
- Tim McKinney. Manager, Mix Design.
- Jon Wingo. Product and Process Development Leader.
- Pat Denney. Microsurfacing Manager.
- William Criqui. Pavement Performance Testing Manager.

2.2 Metodologías de diseño vistas en el laboratorio

2.2.1 Diseño en laboratorio de base estabilizada con emulsión asfáltica utilizando material reciclado (Full Depth Reclamation)

2.2.1.1 Preparación de muestra

Se preparó el material para los ensayos involucrados en el diseño de base estabilizada con emulsión asfáltica. El material de base que se utiliza viene del reciclado de un pavimento existente ya en condiciones de deterioro. Se toman núcleos del camino cada 250 m o 500 m, aproximadamente, también depende de la variabilidad de materiales a lo largo del camino. Estos núcleos se enfrían dentro de una refrigeradora a 10 °C para ser después triturados en un molino. El congelamiento se debe a que

Informe LM-PI-UMP-015-R1	Fecha de emisión: 03 de octubre de 2013	Página 5 de 20
--------------------------	---	----------------

a temperatura ambiente el asfalto en el material reciclado tiende a mantener unido el material y dentro del molino es difícil quebrarlo o que no se pegue en el mismo. Posteriormente, se cuartea el material según el tamaño de muestra requerido, en este caso se cuartearon 2700 g para compactar los especímenes en compactador giratorio, el material se pasa por tamiz de 25 mm, lo retenido se descarta. El material se encuentra en condición húmeda. Se toma una muestra para contenido de humedad, los baches permanecen en recipientes plásticos tapados (Figura 1).

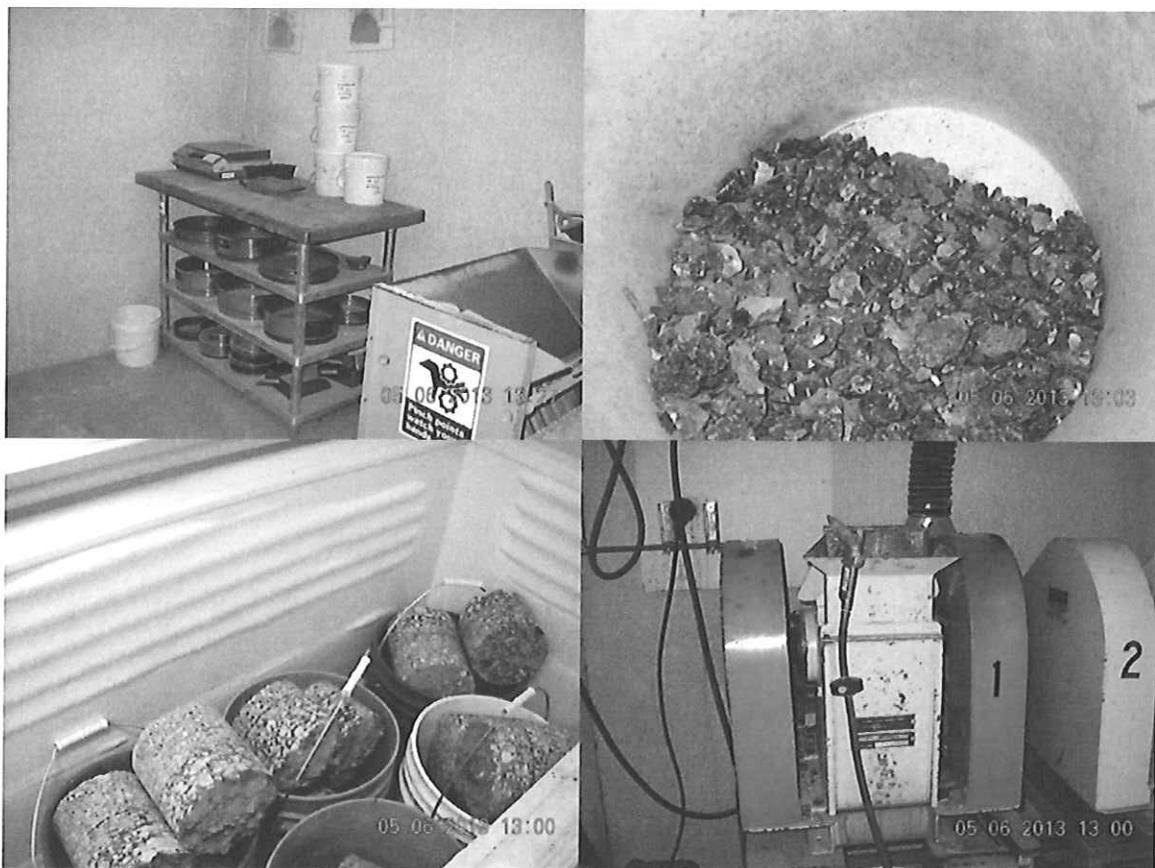


Figura 1: Preparación de muestras para FDR

La granulometría del material triturado debe cumplir con las siguientes tolerancias:

Tabla 1: Granulometría, Road Science, 2011

Tamiz (mm)	% Pasando
31,25	100
25	90-100
19	80-97
4,75	30-55
0.6	5-15

2.2.1.2 Elaboración de especímenes de ensayo

El diseño implica elaborar especímenes para diferentes ensayos de desempeño variando el contenido de emulsión, que van a depender, de los contenidos de asfalto sobre el peso total agregado que se requiera, comúnmente se utilizan 2.0 %, 2.5 %, 3.0 % y 3.5 %.

Para el mezclado de los especímenes, se colocó dentro de la mezcladora automática el material de base a estabilizar y se mezcló por 60 s aproximadamente, se agregó el agua requerida según el resultado de equivalente de arena, ver tabla 1, dentro del rango seleccionado, se escoge un porcentaje de humedad que se aproxime a la condición saturado superficie seca. Esta humedad se corrige según la humedad que tenga el material, se mezcla por 30 s; y se agrega el % de emulsión requerido, y se mezcla por 30 s. La mezcladora automática que se utilizó es marca Troxler PMW. Después del mezclado, se coloca el espécimen en recipientes plásticos abiertos, y se dejan curando 30 minutos en un horno a 40 °C, para simular condiciones de campo. Posteriormente se compacta en compactador giratorio a 30 giros, 1,25 ° de ángulo y 600 kPa de presión. Los especímenes para Indirect Tensile Strength (ITS), Modulo Resiliente, agrietamiento térmico (IDT) y las máximas teóricas se dejan curando a 40 °C por 72 horas. Los especímenes para el ensayo de Short-Term Strength (STS) se curan por 1 hora a 25 °C (Figura 2).

Tabla 2: Selección del contenido de humedad, Road Science, 2011

Equivalente de arena	Porcentaje del contenido óptimo humedad (AASHTO T 180)
Promedio anual de lluvia \geq 20 pulgadas	
\leq 30	60-75
$>$ 30	45-65
Promedio anual de lluvia $<$ 20 pulgadas	

≤ 30	50-75
> 30	40-65

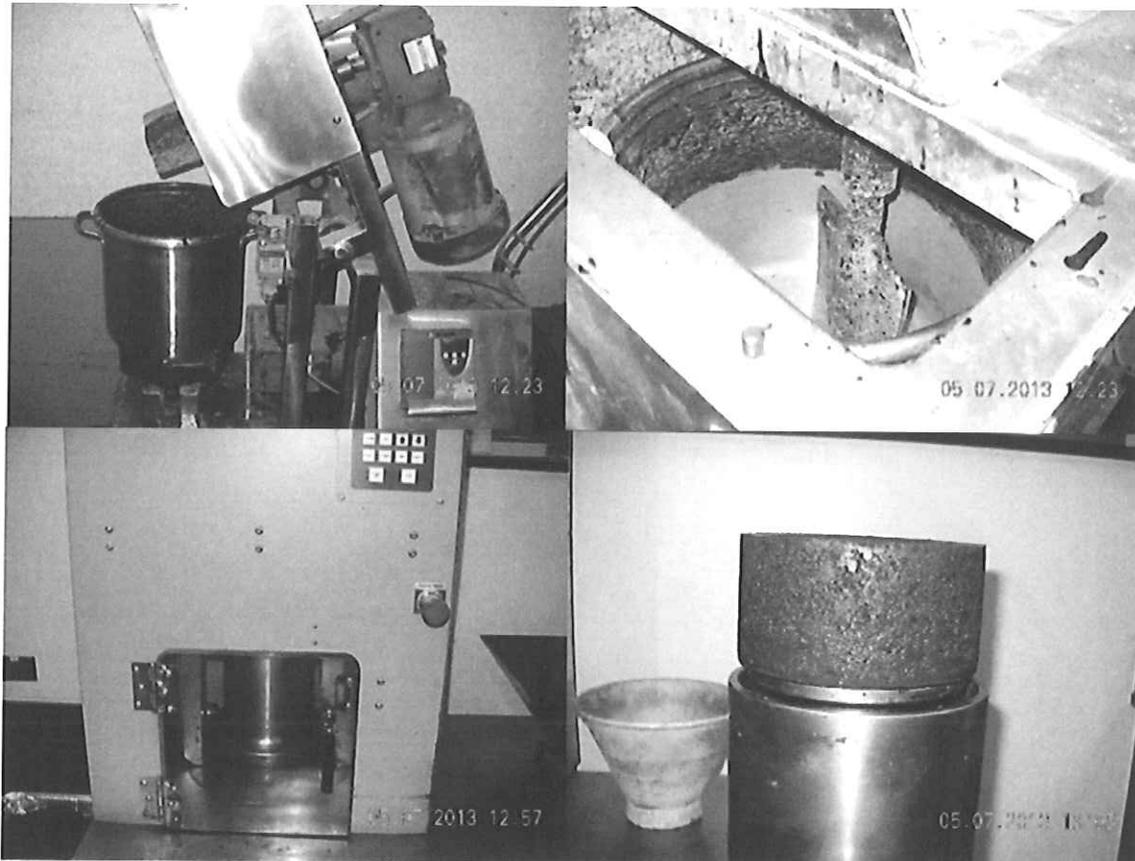


Figura 2: Elaboración de especímenes diseño base estabilizada con emulsión

2.2.1.3 Ensayos físicos y mecánicos

Se elaboran dos pastillas para STS (ASTM D 1560) por cada contenido de emulsión. Después de los 60 minutos de curando a 25 °C el espécimen se ensaya en el cohesiómetro (Figura 3). Las pastillas se fallan a flexión, y se mide el grado de cohesión que desarrolla el espécimen en un periodo de tiempo corto. Esto para evaluar el tiempo de apertura al tránsito. La resistencia mínima es 175 g/25 mm de espesor.

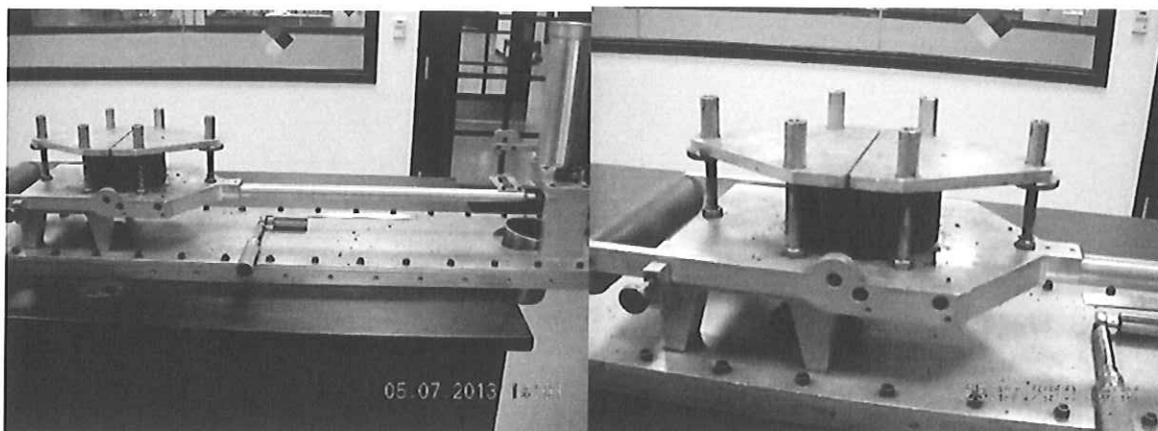


Figura 3: Ensayo de cohesión

Para el ensayo de ITS (AASHTO T 283) se elaboran 4 pastillas por contenido de emulsión, dos acondicionadas y el resto sin acondicionar. Se realiza la volumetría, Gmb y Gmm. Los especímenes acondicionados se someten a saturación un mínimo de 55 % y se sumergen en agua por 24 horas a 25 °C. Se fallan a tensión indirecta (Figura 4). Se vio que el porcentaje de vacíos para FDR ronda entre un 7 % y 8 %, máximo un 16 %, esto varía según el contenido de asfalto que tenga ya el material traído de campo, ya que se maneja en un gran porcentaje, material reciclado. La mínima resistencia para especímenes sin acondicionar es 40 psi y para especímenes acondicionados 25 psi.



Figura 4: Ensayo de ITS

Adicionalmente se realiza el ensayo de Raveling, con un equipo muy parecido al que se usa con pista húmeda en lechadas asfálticas. Este consiste someter a la pastilla a un desgaste por medio de un hule

que gira encima de la misma, se mide el porcentaje de pérdida (Figura 5). Las pastillas antes de ser ensayadas se curan a 10 °C por 4 horas. El máximo permitido de pérdida es 2 %.

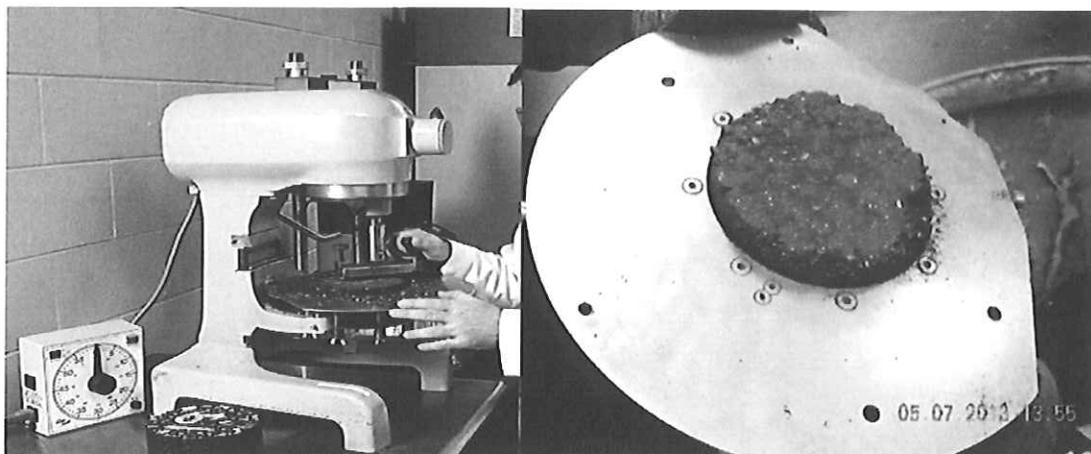


Figura 5: Ensayo de Raveling

Dentro de los ensayos mecánicos que se realizan a los FDR, están también módulo resiliente (ASTM D 4123) y agrietamiento térmico (IDT) (AASHTO T 322), estos dos ensayos son efectuados en el mismo equipo. El módulo resiliente lo realizan a 25 °C solamente, y se considera un valor mínimo de 150000 psi. El ensayo de IDT consiste en aplicar una carga estática de magnitud fija (que produzca una deformación horizontal de 0,00125 mm a 0,0190 mm para especímenes de 150 mm de diámetro) a lo largo del eje diametral del espécimen, a temperaturas de 10 °C por encima y 10 °C por debajo de la temperatura crítica, seleccionada según el FHWA LTPPbind software. El espécimen se carga por 100 s para cada temperatura. En el ensayo de resistencia a la tensión indirecta se falla el espécimen a una velocidad de 12,5 mm/min (Figura 6). Este ensayo es importante cuando se manejan temperaturas por debajo de -20 °C, y los cambios de temperatura son muy bruscos, ya que en estas condiciones es común que suceda el agrietamiento térmico, y se vean grietas transversales en el pavimento. Es probable que por las condiciones climáticas de nuestro país no sea tan crítico realizar este ensayo.



Figura 6: Ensayo IDT

El porcentaje de emulsión que se selecciona es aquel que cumpla todas las especificaciones, tabla 3.

Tabla 3: Especificaciones de diseño FDR, Road Science, 2011

FDR (tipo 1) para mezclas que contengan < 8 % pasando tamiz No 200		
Especímenes de 150 mm se preparan en compactador giratorio		
Ensayo	Especificación	
Compactación giratoria con un ángulo de 1.25 ° y una presión de 600 kPa, giros	30	
Resistencia a corto tiempo, 1 hora, cohesiómetro modificado, ASTM D 1560-92, g/25 mm de ancho	175 min.	
Resistencia a la tensión indirecta (ITS) sin acondicionar, ASTM D 4867, 25 °C, kPa	276 min.	
Resistencia a la tensión indirecta (ITS) acondicionados, ASTM D 4867, 25 °C, kPa	172 min.	
Módulo resiliente, ASTM D 4123, 25 °C, MPa	1034 min.	
Agrietamiento térmico (IDT), AASHTO T 322 (basado en LTPPbind software para clima)*		
*Es opcional para proyectos con temperaturas de -20 °C o poco más altas (98 % de confianza)		
FDR (tipo 2) para mezclas que contengan ≥ 8 pasando tamiz No 200 o todas las mezclas granulares		
Especímenes de 150 mm se preparan en compactador giratorio		
Ensayo	Especificación	
Compactación giratoria con un ángulo de 1.25 ° y una presión de 600 kPa, giros	30	
Resistencia a corto tiempo, 1 hora, cohesiómetro modificado, ASTM D 1560-92, g/25 mm de ancho	150 min.	
Resistencia a la tensión indirecta (ITS) sin acondicionar, ASTM D 4867, 25 °C, kPa	241 min.	
Resistencia a la tensión indirecta (ITS) acondicionados, ASTM D 4867, 25 °C, kPa	138 min.	
Módulo resiliente, ASTM D 4123, 25 °C, MPa	827 min.	
Agrietamiento térmico (IDT), AASHTO T 322 (basado en LTPPbind software para clima)*		
*Es opcional para proyectos con temperaturas de -20 °C o poco más altas (98 % de confianza)		
Informe LM-PI-UMP-015-R1	Fecha de emisión: 03 de octubre de 2013	Página 11 de 20

2.1.1.4 Construcción de base estabilizada con emulsión asfáltica utilizando material reciclado (Full Depth Reclamation)

La parte constructiva consiste primero en dar forma al camino existente, ya sea por medio de una reclamadora o de una niveladora, para corregir el perfil o el contorno según se requiera, antes de la adición de la emulsión. En este punto se puede agregar agua o material granular. El material debe ser compactado para que pueda dar soporte al equipo o el tráfico y también para proveer un control del espesor durante el paso de la recicladora. Esta operación se puede hacer con compactador de rodillo de acero. El porcentaje de humedad debe estar dentro del 1 % del contenido de humedad de diseño recomendado. La humedad se agrega por medio de un camión aspersor y se ajusta con la recicladora. La recicladora va pulverizando y mezclando el material reciclado con el agua y la emulsión asfáltica, y va colocando el material terminado. Detrás de la recicladora, a no más de 150 m va la compactadora de pata cabro, que compacta a alta amplitud y baja frecuencia, esta se pasa hasta que se vea una luz entre los dientes del rodillo. Posteriormente se remueven las huellas del pata cabro pasando una niveladora. Después del primer día de haber adicionado la emulsión, no se debe tratar de dar forma a la base estabilizada. Se termina de dar la compactación requerida con compactador de neumáticos y de rodillo de acero. No se debe colocar ninguna sobre capa hasta que la base estabilizada haya curado adecuadamente, es decir, hasta que el material tenga menos del 50 % del contenido óptimo de humedad. A la base se debe colocar una sobre capa, ya sea una carpeta asfáltica o un chipseal, slurry seal o microsurfacing antes del invierno para que esta no sufra un deterioro.

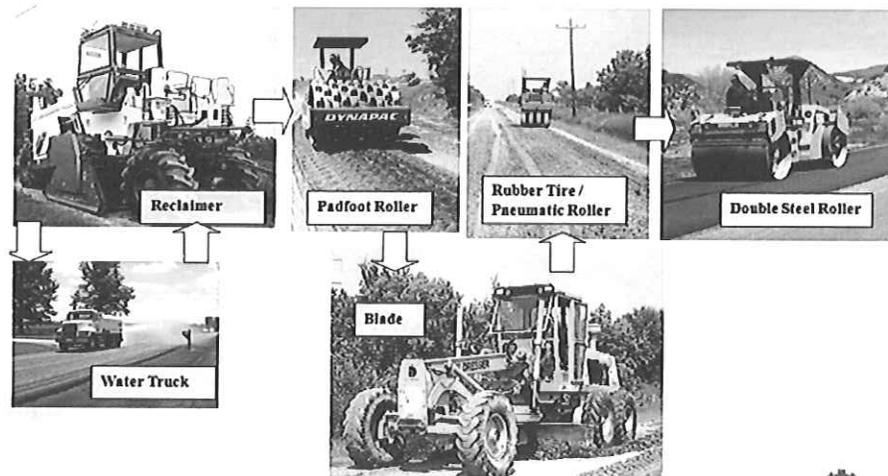


Figura 7: Construcción de FDR, Road Science

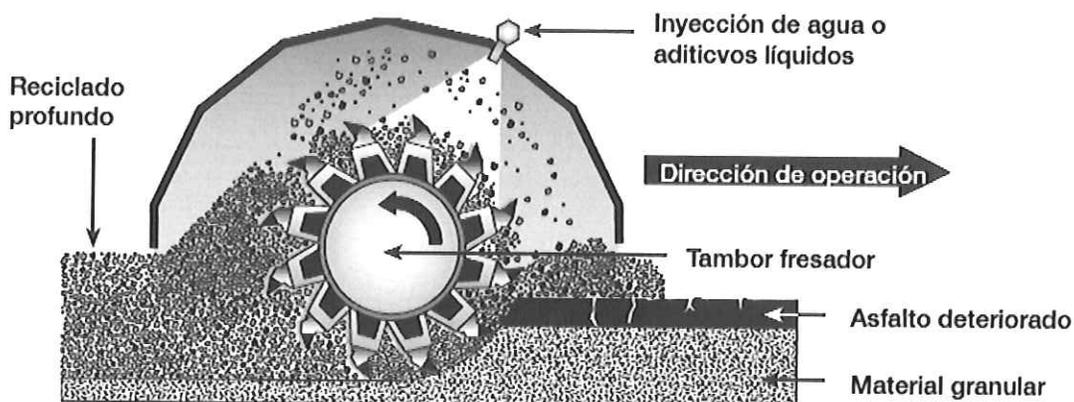


Figura 8: Esquema de funcionamiento de una recicladora, Wirtgen, 2004

2.1.1.5 Control de Calidad

El control de calidad comprende la evaluación de la emulsión asfáltica que se utiliza en campo con las siguientes especificaciones:

Tabla 4: Especificaciones para emulsión, Road Science, 2011

Ensayo	Norma	Mínimo	Máximo
Residuo de destilación, %	ASTM D 244	63	
Destilado de aceite en destilación, %	ASTM D 244		0,5
Malla 20, %	ASTM D 244		0,1
Penetración a 25 °C, dmm	ASTM D 5	-25 %	+25 %

Se debe comprobar que la cantidad de emulsión que se está adicionando sea la de diseño. También se debe controlar la cantidad de material virgen que se adiciona en campo así como el filler (cal o cemento). El sobre tamaño máximo permitido en campo en el material granular es de 50 mm con un porcentaje pasando entre 98 y 100. Se debe chequear el contenido de humedad en el material a estabilizar antes de incorporar la emulsión, el cual debe diferir de la humedad de diseño en ± 1 %.

Se realiza chequeo de compactación tomando como referencia la determinación de la densidad máxima de material muestreado y compactado según la norma ASTM D 1557 con molde de 6 “. Se maneja un mínimo de 97 % de compactación.

2.2.2 Elaboración de emulsión asfáltica

Se elaboró una emulsión asfáltica catiónica de rompimiento acelerado para microsurfacing, esta fue modificada con polímero SBR. Se agregó al agua de la fase jabonosa, estando está a 60 °C, una sal llamada Actigum CS-6, esto es un agente espesante. Se dejó disolviendo con agitación constante por una hora aproximadamente. Esta sal tiene la función mejorar la estabilidad de la emulsión, aumentado la viscosidad de la misma, sin embargo, puede afectar el rompimiento y la adhesión de las emulsiones. Se utilizó la siguiente formulación.

Tabla 5: Formulación de emulsión

Componente	Porcentaje sobre peso total de emulsión
Emulsificante ARRTEKK 1212 A	1,5
Látex	3,5
Actigum	0,01
Asfalto	65,0
Agua	29,99

El procedimiento para la fabricación de la fase jabonosa consistió en pesar la cantidad de agua requerida a 60 °C, agregar el agente espesante Actigum, dejar disolviendo con agitación por una hora aproximadamente, añadir el emulsificante previamente calentado a 60 °C, agitar con agitador magnético, adicionar el látex y agregar el ácido clorhídrico hasta pH 1,5. El asfalto se calentó a 140 °C. El molino coloidal utilizado controla la cantidad de asfalto adicionado así como su temperatura, también controla la velocidad y cantidad de fase jabonosa que entra al molino. Produce varios galones de emulsión en un solo ciclo.

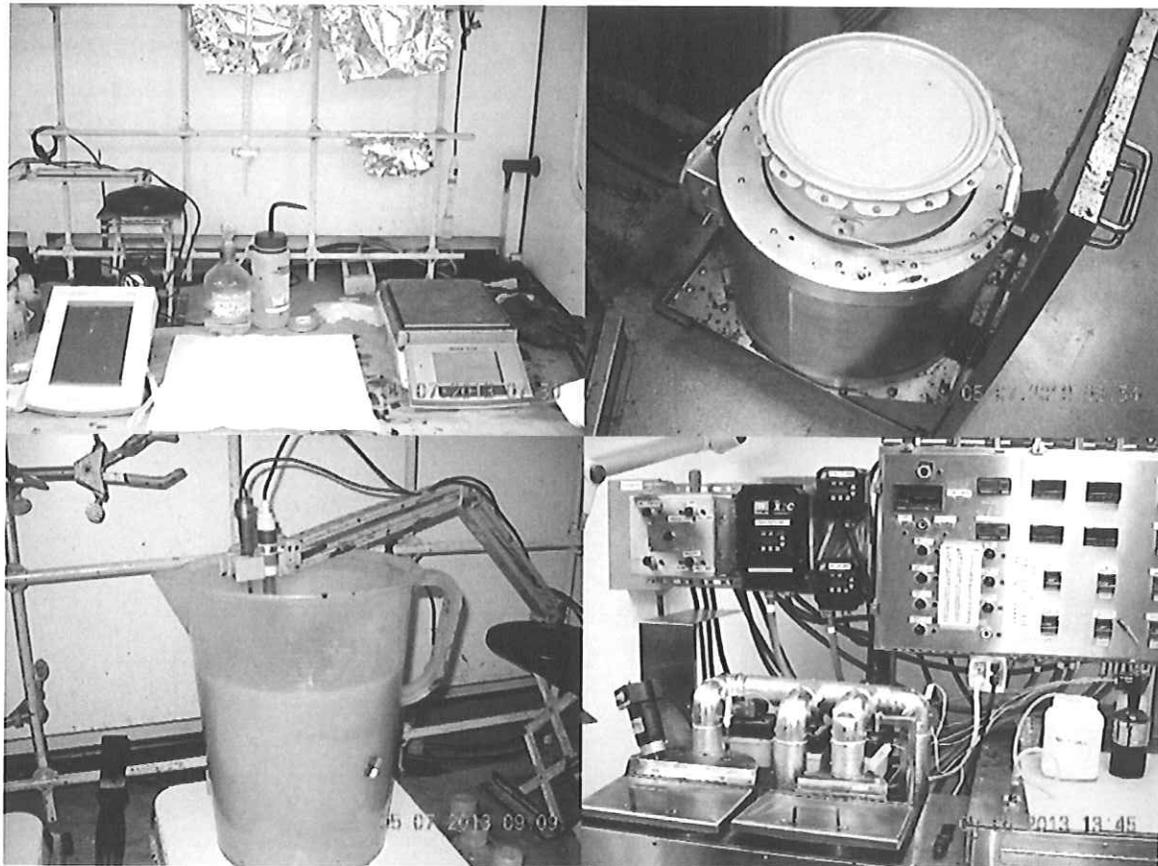


Figura 9: Elaboración de emulsión asfáltica

2.2.3 Diseño de microcapas y lechadas asfálticas

Los diseños para microcapas y lechadas asfálticas incluyen también el diseño de la emulsión asfáltica que se ajusta mejor a los tiempos de mezclado, set y agua clara en toalla. Para esto, se implementa la técnica de las cuatro esquinas. Esta técnica consiste en elaborar cuatro diferentes emulsiones variando el pH y el contenido de emulsificante (carga química). En la siguiente tabla se ilustra cuáles son las variaciones que se utilizan:

Tabla 6: Diseño de emulsión

Emulsión	pH	Porcentaje de emulsificante (Carga química)
1	1,2	2,0
2	1,2	1,2
3	2,0	1,2
4	2,0	2,0

Se realizan ensayos de dosificación con estas emulsiones, manteniendo constante el porcentaje de emulsión (12 %), agua (6 % - 8 %) y el filler (1 %), se determinan los tiempos de mezclado, set y de agua clara en toalla. Estos resultados se grafican con respecto a cada emulsión y se interpolan para obtener la formulación adecuada. Los tiempos de mezclado para microcapas deben ser mayores a 120 s pero menores a 300 s. Los tiempos set se buscan que sean entre 10 y 12 minutos, y los tiempos de agua clara en toalla, entre 5 y 6 minutos. Los agregados que utilizan los mantienen húmedos, entre 3 % a 5 % de contenido de humedad. Las emulsiones las almacenan por periodos largos de tiempo en algunos casos meses, se tiene el cuidado de agitar cuidadosamente de manera regular para evitar asentamiento o cremación.



Figura 10: Dosificación de microcapas

Adicional a los ensayos que el ISSA recomienda que se realicen a los agregados (granulometría, equivalente de arena, abrasión y sanidad), se evalúa el ensayo Azul de metileno (AASHTO T 330), el cual me da una indicación del contenido de arcilla y materia orgánica que tiene el agregado fino, es útil cuando no se están logrando los tiempos de mezclado mínimos y por lo tanto, se requiere un cambio en la formulación de la emulsión, incrementando el emulsificante o reduciendo el pH para hacer más estable la emulsión.



Figura 11: Ensayo de azul de metileno

Para el diseño de microcapas, realizan el ensayo de pista húmeda (wet track abrasion loss) con especímenes previamente saturados a 1 hora y seis días en agua a 25 °C. El ensayo de abrasión dura 5 minutos.



Figura 12: Ensayo de pista húmeda

El ensayo de rueda cargada (load wheel track) se ejecuta de igual manera que se hace en Lanamme, con la diferencia que a la hora de hacer el ensayo con la arena, se coloca una platina entre la arena y la rueda, la cual da una mejor precisión en el ensayo.



Figura 13: Ensayo de rueda cargada

Los ensayos implicados en el diseño de microcapas y lechadas asfálticas se realizan a temperatura de laboratorio (20 °C) y en una cámara a 40 °C, para simular condiciones de campo. Existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos para cada condición.



Figura 14: Condiciones de laboratorio a 40 °C

3. CONCLUSIONES

1. El diseño de FDR utilizado en el laboratorio de Road Science se puede aplicar a materiales de base sin reciclar y reciclados. Es una alternativa que se debe implementar en el país para mejorar la susceptibilidad a la humedad de las bases y su desempeño. Resiste ahuellamiento, agrietamiento térmico o por fatiga, aumenta la capacidad estructural.

2. Dentro del diseño de base estabilizada con emulsión asfáltica que se ha venido ejecutando en el laboratorio, se deben incluir los ensayos de Raveling y Short-term Strength como ensayos de desempeño en campo.
3. En estabilizaciones con emulsión asfáltica es cada vez más común utilizar emulsiones de rompimiento controlado (CQS), debido a la reducción en los tiempos de apertura al tránsito, ya que la ganancia de cohesión es más acelerada.
4. Dentro de los ensayos de desempeño en las bases estabilizadas con emulsión asfáltica esta el ensayo de agrietamiento térmico (IDT), que se aplica a temperaturas bajo cero. Por las condiciones climáticas de nuestro país es probable que no sea una variable tan crítica de controlar.
5. La construcción de un FDR en campo implica recuperar pavimento existente en mal estado por medio de una recuperadora, adicionar emulsión asfáltica y agua según un diseño previo, homogenizar y colocar. Seguidamente pasar el compactador pata cabro y dar acabado final con compactador de rodillo y ruedas neumáticas.
6. Con las bases estabilizadas con emulsión asfáltica se debe controlar en campo la calidad y la cantidad de emulsión asfáltica que se incorpora. Así como de la cantidad de material virgen y filler que se utiliza. Controlar el contenido de humedad y el porcentaje de compactación.
7. El diseño de lechadas asfálticas y microcapas implica también diseñar la emulsión que se va utilizar variando los niveles de emulsificante y pH y midiendo como repercute esto en los tiempos de mezclado, set y del agua limpia en toalla, que son parámetros que me definen el grado de cohesión que adquiere la mezcla en el tiempo, así como la trabajabilidad de la misma a la hora de aplicarla en campo.
8. En los diseños de lechadas asfálticas y microcapas es más representativo hacer el diseño en condiciones ambientales parecidas a las de campo, es decir, tratando de emular al menos, la temperatura ambiente. Los resultados obtenidos pueden ser muy diferentes a los obtenidos en condiciones estándar de laboratorio.
9. En los diseños lechadas y microcapas se toma en cuenta el grado de reactividad de los agregados con el ensayo de azul de metileno, de manera que se pueda diseñar la emulsión asfáltica tomando en cuenta este factor.
10. Los agregados que se utilizan para el diseño de lechadas asfálticas y microcapas deben conservar con un contenido de humedad entre 3 % y 5 % para evitar pérdida de finos, los cuales me inciden en los tiempos de rompimiento.

4. RECOMENDACIONES

1. Adquirir los equipos para los ensayos de Raveling y Short-term Strength para complementar el diseño de bases estabilizadas con emulsión.
2. Analizar el grado de correlación que existe entre uso el de compactación Marshall y compactación giratoria para los diseños de base estabilizada con emulsión.
3. Utilizar las especificaciones de diseño de base estabilizada sugeridas por Road Science, ya que estas son representativas de las que se utilizan en la actualidad en los Estados Unidos.
4. Realizar un diseño de lechada asfáltica y de microcapas tomando en cuenta el diseño de la emulsión asfáltica.
5. Evaluar el grado de reactividad de los agregados, por medio del ensayo de azul de metileno, que se utilizan en el diseño de lechadas asfálticas y microcapas.

5. REFERENCIAS

1. Road Science, "Guidelines For Asphalt Emulsion Full Depth Reclamation (FDR)". Oklahoma, Tulsa (2011) pp 1-14.
2. Wirtgen, "Manual de Reciclado en Frío". Alemania, Windhagen (2004) pp 30.