

175-01-2013
**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL
DESEMPEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES EN
LABORATORIO**
**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO
DESEMPENHO DOS TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE EM
LABORATÓRIO**

Natalia Zúñiga García
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
natalia.zunigagarcia@ucr.ac.cr

Fabián Elizondo Arrieta
LanammeUCR
San José, Costa Rica
fabian.elizondo@ucr.ac.cr

Resumen

Mediante esta investigación se propone una metodología para evaluar el desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio, desarrollada a través de la adaptación de ensayos utilizados en sellos de lechada asfáltica en los que se mide la pérdida de agregado y la exudación, correspondientes a los modos de fallas más comunes. Adicionalmente, se utilizaron técnicas de fotogrametría y percepción remota para determinar el porcentaje de área de la muestra que presenta exudación. A través del ensayo adaptado para la medición de la pérdida de agregado, fue posible discriminar entre especímenes con distinta cantidad de emulsión asfáltica, mientras que con el ensayo implementado para medir exudación, no se obtuvieron los resultados esperados. Sin embargo, con el análisis fotogramétrico se pudo determinar la cantidad de asfalto a partir de la cual se empieza a dar exudación, en las muestras de tratamiento superficial realizadas en el laboratorio. Finalmente los resultados de desempeño obtenidos para distintas dosificaciones, fueron comparados con las cantidades de material obtenidas de cinco metodologías teóricas de diseño y con las cantidades indicadas en el Manual de especificaciones para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica (CR-2010).

Resumo

Nesta pesquisa é proposta uma metodologia para avaliar o desempenho dos tratamentos de superfície em laboratório, desenvolvido através da adaptação de testes utilizados em slurry seal onde é medido a perda de agregado e exsudação, que são correspondentes as falhas mais comuns. Adicionalmente, foram utilizadas técnicas de fotogrametria e percepção remota para determinar a percentagem de área da amostra que apresentaram exsudação. Através do teste adaptado para medir a perda de agregado, foi possível discriminar entre amostras com quantidades diferentes de emulsão, enquanto o teste executado para medir a exsudação, não obtiveram os resultados esperados. Porém, com a análise fotogramétrico foi-se possível determinar a quantidade de asfalto a partir do qual começa-se a dar e exsudação, em amostras de tratamento de superfície realizadas em laboratório. Finalmente os resultados de desempenho obtidos para várias dosagens,

foram comparados com as quantidades de materiais obtidos a partir de cinco metodologias teóricas de projecto e os montantes indicados no Manual de especificações para a construção de auto-estradas, estradas e pontes na Costa Rica (CR-2010).

INTRODUCCION

Los tratamientos superficiales constituyen una técnica económica y eficiente para el mantenimiento de pavimentos y sirven como superficie de ruedo en rutas de bajo volumen de tránsito. En Costa Rica por lo general son colocados sin un diseño previo, se emplean métodos empíricos para la selección de materiales y cantidades, además no existe un control de calidad estricto. Esto ha generado una serie de deficiencias en cuanto al desempeño, tales como exudación y pérdida de agregado, que limitan la vida útil del tratamiento.

Las especificaciones vigentes establecidas en el Manual de especificaciones para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010), presentan rangos de dosificaciones recomendados para la construcción de tratamientos superficiales, sin embargo, estos fueron establecidos en países donde las condiciones climáticas y las propiedades de los materiales son distintas a las presentadas en Costa Rica.

A través de esta investigación, se realiza un estudio en el que se ejecutan comparaciones entre las dosificaciones de materiales sugeridas por el CR-2010, respecto a las que se obtienen mediante métodos de diseño determinísticos basados en las características de los materiales. Se evalúa, además, la variación en el desempeño de muestras de tratamiento superficial a escala de laboratorio.

Para evaluar la variación en el desempeño de las distintas muestras, se propone la implementación de ensayos con los que se pueda discriminar entre distintos tratamientos superficiales. Se cuantifica, además, la mejora en el desempeño de tratamientos superficiales al utilizar una emulsión modificada con polímero, mediante la comparación con los resultados obtenidos utilizando emulsión sin aditivos.

Desempeño de los Tratamientos Superficiales

Para cada proyecto existe un diseño o un rango de diseño que producirá un tratamiento superficial con las características de calidad y desempeño adecuadas. Cuando se dosifica una cantidad de emulsión menor que la indicada, se presenta pérdida de agregado en el tratamiento superficial. Si por el contrario se utilizan cantidades de emulsión mayores, se presenta exudación del asfalto, por lo tanto existe un rango o zona de buen desempeño donde ninguna de estas deficiencias se presentan.

A nivel internacional existen distintas maneras de cuantificar el desempeño de un tratamiento superficial, tanto en el campo como en el laboratorio. Debido a que la pérdida de agregado es la falla que, por lo general, se presenta con más frecuencia, las metodologías para medir el desempeño se encuentran enfocadas en valorar dicha pérdida. Sin embargo, también existen metodologías para medir aspectos como profundidad embebida del agregado y exceso de asfalto. En la Tabla 1 se muestran algunos de estos ensayos.

Tabla 1: Ensayos utilizados en tratamientos superficiales

Medida de desempeño	Ensayo	Agencia
Pérdida	Vialit	British Standard EN 12272-3
	Adhesión y cohesión ESSO	
	Ensayo de barrido	ASTM D 7000
	Macrosurfacing Sweep	
Profundidad embebida del agregado	Retención de agregado Texas	Texas DOT, Tex-216-F
	MMLS3	
	Mancha de arena	ASTM E 965
Exudación	Círculo de arena modificado	
	MMLS3	

Los sellos asfálticos tipo lechada, conocidos como *Slurry Seals*, utilizan ensayos similares a los descritos anteriormente para medir el desempeño. Mediante el Ensayo de la Pista Húmeda (ISSA TB 100) se determina la pérdida por abrasión en una mezcla de lechada asfáltica, mientras que el ensayo de la rueda cargada (ISSA TB 109) se utiliza para determinar el exceso de asfalto.

Diseño de un Tratamiento Superficial

Existen varias metodologías de diseño de tipo determinístico, que se basan en las características de los materiales componentes del tratamiento (granulometría, dureza y peso específico de los agregados, entre otros) y de las condiciones de campo como tipo de pavimento existente y volumen de tránsito, para estimar las cantidades de agregado y de asfalto o emulsión asfáltica. En la Tabla 2 se muestran los parámetros de diseño utilizados por cada metodología en estudio.

MATERIALES

En el presente proyecto se utilizó agregado proveniente de Guápiles, específicamente de la confluencia entre el río Toro Amarillo y el río Sucio, en la provincia de Limón, Costa Rica. El agregado utilizado posee cuatro distintas graduaciones: C, D, E y F, según lo establecido en el CR-2010. La distribución granulométrica se muestra en la Tabla 3. Con estas granulometrías se conformaron dos tratamientos superficiales tipo TS-3: designación 3A y designación 3B, como se muestra en la Figura 1.

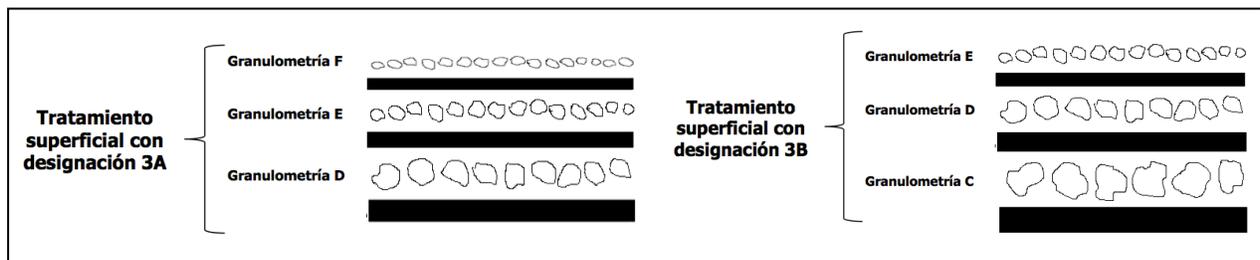


Figura 1: Tratamientos superficiales conformados según el CR-2010

La emulsión convencional empleada es catiónica de rompimiento rápido y la emulsión modificada consiste en emulsión catiónica de rompimiento rápido modificada con polímero de caucho estireno-butadieno conocido como SBR, ambas fueron fabricadas en el LanammeUCR y se utilizó asfalto AC-30.

Tabla 2: Parámetros de diseño para cada metodología

Parámetros de diseño	Metodologías de diseño				
	Hanson	McLeod	Regla del décimo	Texas DOT	ASTM-D1369
Gravedad específica bruta seca	X	X		X	
Peso unitario suelto (kg/m ³)		X		X	X
Vacíos en el agregado suelto (%)		X		X	
Índice de Lajas (%)	X	X			
Absorción de asfalto (%)		X			
Tamaño máximo (mm)			X		X
Tamaño mínimo (mm)			X		
Tamaño medio (mm)	X	X			
Emulsión					
Porcentaje de asfalto residual (%)	X	X	X	X	X
Otros					
Condición superficial	X	X		X	
Condición climática		X		X	
Volumen de tránsito (veh/día)	X	X		X	
Desperdicio (%)	X	X			

Tabla 3: Granulometría del agregado utilizado

No. de tamiz estándar	Abertura (mm)	Porcentaje pasando (por peso)							
		C		D		E		F	
		Agregado utilizado	CR-2010	Agregado utilizado	CR-2010	Agregado utilizado	CR-2010	Agregado utilizado	CR-2010
3/4"	19,00	100	100 ⁽¹⁾						
1/2"	12,50	99,6	90-100 (3)	100	100 ⁽¹⁾				
3/8"	9,50	18,1	0-35 (5)	98,3	85-100 (3)		100 ⁽¹⁾		100 ⁽¹⁾
No. 4	4,75	0,2	0-12 (3)	0,4	0-35 (5)	100	85-100 (3)	100	85-100
No. 8	2,36				0-8 (3)	0,0	0-23 (4)	60,5	---
No. 200	0,075	0,2	0-1 (1)	0,2	0-1 (1)	0,0	0-1 (1)	0,3	0-10

⁽¹⁾ El procedimiento estadístico no aplica.

() Tolerancia permisible.

Fuente: LanammeUCR, 2011 y CR-2010, 2010.

Las metodologías de diseño analizadas dependen de ciertos parámetros de los materiales utilizados, como los mostrados en la Tabla 2. De la caracterización realizada a materiales empleados en la fabricación de las muestras de tratamientos superficial en laboratorio, se obtienen los valores mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4: Parámetros de diseño utilizados

Parámetros de diseño	Designación 3A			Designación 3B		
	D	E	F	C	D	E
Gravedad específica bruta seca (Gbs)	2,65	2,64	2,63	2,67	2,65	2,64
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1379	1333	1382	1440	1379	1333
Vacíos en el agregado suelto (%)	47,8%	49,4%	47,3%	46,0%	49,4%	49,4%
Índice de Flakiness(%)	0,0%	0,0%	26,2%	6,0%	0,0%	0,0%
Absorción de agua (%)	1,8%	2,3%	2,1%	1,7%	1,8%	2,3%
Absorción de asfalto (%)	< 1,5%	< 1,5%	< 1,5%	< 1,5%	< 1,5%	< 1,5%
Tamaño medio agregado (mm)	7,1	3,5	2,0	10,6	7,1	3,5
Emulsión						
Porcentaje de asfalto residual (%)	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Otros						
Condición superficial	Liso	Capa 2	Capa 3	Liso	Capa 2	Capa 3
Condición climática	Clima tropical					
Estación climática de construcción	Verano	Verano	Verano	Verano	Verano	Verano
Volumen de tránsito (veh/día)	500 - 1000	500 - 1000	500 - 1000	500 - 1000	500 - 1000	500 - 1000

Mediante las distintas metodologías de diseño, se realiza el diseño de dos tratamientos superficiales tipo TS-3 (designación 3A y 3B). Debido a que se trata de tratamientos múltiples, se toman las proporciones de dosificación de ligante de 30 %, 40 % y 30 %, para la primera, segunda y tercera capa, respectivamente, con base en la cantidad total de asfalto obtenida de los

diseños teóricos. Estas proporciones corresponden a las utilizadas en las dosificaciones recomendadas por el CR-2010.

MÉTODOS DE ENSAYO

Para poder evaluar el desempeño de las muestras de tratamiento superficial en laboratorio, fue necesaria la implementación de metodologías de ensayo que permitieran discriminar el comportamiento del tratamiento superficial de manera comparativa. Dado que en Costa Rica no se cuenta con ensayos estandarizados para realizar la evaluación del desempeño en tratamientos superficiales, se plantea aplicar dos ensayos estandarizados por la norma ISSA (*International Slurry Surfacing Association*) utilizados para cuantificar el exceso de asfalto y determinar el desprendimiento de agregado en sellos de lechada asfáltica.

El procedimiento seguido para la preparación de las muestras de tratamiento superficial está basado en el proceso constructivo utilizado en el campo, para poder realizar especímenes que representen al tratamiento de manera cercana a lo que se presenta en los proyectos. Para esto se definieron cuatro procesos, que se repiten para cada capa: rociado de la emulsión, colocación del agregado, compactación y curado, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Proceso de fabricación de las muestras

Ensayo de Medición de Pérdida de Agregado

La medición de la pérdida se realiza mediante un procedimiento similar al de la norma ISSA TB 100, con algunas modificaciones necesarias para adaptar el ensayo utilizado en sellos de lechada asfáltica a tratamientos superficiales. La muestra fabricada en un molde de acero de 279 mm de diámetro, se coloca a saturar durante 60 minutos previos al ensayo, para simular las condiciones de humedad presentes en el país. Posteriormente se coloca el espécimen en una mezcladora mecánica tipo planetaria equipada con una cabeza abrasiva, que posee una manguera reforzada con hule, y se deja girar la manguera durante 10 minutos con la muestra en condiciones húmedas. Finalmente se seca la muestra a masa constante y se obtiene la cantidad de material desprendido durante los 10 minutos de ensayo. En la Figura 3 se muestra el procedimiento descrito.

Ensayo de Medición de Exceso de Asfalto

Para la medición del exceso de asfalto se utiliza un procedimiento similar al utilizado para medir el exceso de asfalto en sellos de lechada asfáltica descrito por la norma ISSA TB 109, además se incorpora un análisis de imágenes digitales, similar al aplicado a muestras de tratamiento superficial en el Ensayo MMLS3 propuesto por la Universidad del Estado de Carolina del Norte (Lee, 2007).



Figura 3: Procedimiento del ensayo de medición de la pérdida de agregado

Las muestras para este ensayo se realizan sobre un molde rectangular de 50 mm de ancho y 380 mm de largo. Los especímenes se colocan en el equipo de la rueda cargada mostrado en la Figura 4, y se someten a 1000 ciclos de carga (56,7 kg), luego se toma una fotografía a la muestra en condiciones constantes de luz, distancia, y definición. Posteriormente se colocan 100 g de arena Ottawa a 60 °C sobre el espécimen y se somete a 100 ciclos de carga adicionales, se retira la arena suelta y se obtiene, por diferencia de peso, la cantidad de arena Ottawa adherida a la muestra. En teoría, la cantidad de arena adherida aumenta al aumentar la cantidad de asfalto del espécimen, ya que se adhiere al sector exudado provocado por los primeros 1000 ciclos de carga.



Figura 4: Procedimiento del ensayo de medición del exceso de asfalto

Las fotografías tomadas a las muestras fueron procesadas para obtener el porcentaje de la muestra que presentó la condición de asfalto expuesto crítico (visualmente cercana a la exudación), y asfalto expuesto no crítico (la muestra posee asfalto debido al proceso de fabricación), como se muestra en la Figura 5. Para esto se emplean técnicas de fotogrametría y percepción retoma, comúnmente utilizadas en la determinación de usos de suelos a partir de fotografías multiespectrales aéreas.

Se realiza una clasificación supervisada a cada fotografía utilizando el método de máxima verosimilitud, a través del programa ArcGIS. En esta clasificación, el programa le reasigna un valor a cada pixel, correspondiente a las clases definidas (asfalto expuesto crítico, no crítico o área sin asfalto expuesto). Este valor depende del valor real de intensidad que posea el pixel, que para este caso se encuentra en tres bandas distintas: rojo, verde y azul o RGB y va de 0 a 255, y depende también de la muestra supervisada, que son pequeñas áreas del espécimen que efectivamente corresponden a las clases definidas y que el analista selecciona previamente.

Finalmente, como se conoce el tamaño real de los pixeles de la fotografía del espécimen, se obtiene el porcentaje de área de la muestra que presenta asfalto expuesto crítico y no crítico.

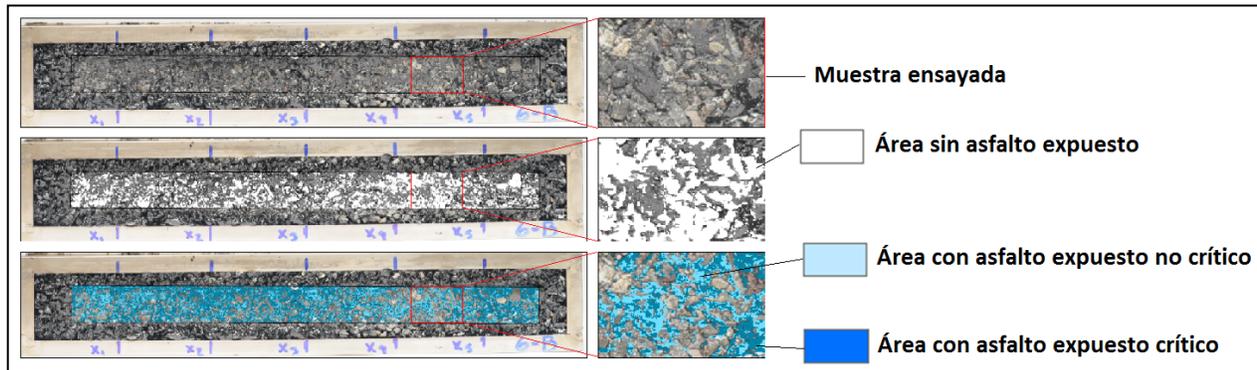


Figura 5: Análisis de imágenes digitales, asfalto expuesto crítico y no crítico

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

La evaluación del desempeño de las muestras de tratamiento superficial se realizó utilizando las metodologías de ensayo descritas anteriormente. En cada espécimen analizado se utilizó una cantidad constante de agregado por capa y se realizaron variaciones en la cantidad de asfalto. Las cantidades de agregado utilizadas fueron determinadas mediante la realización de una serie de muestras en ensayos preliminares, con las que se obtuvo la cantidad de material necesaria para cubrir adecuadamente el área efectiva del molde para cada capa del tratamiento, en un procedimiento similar al empleado en la prueba del tablero.

Mediante el ensayo de pérdida se obtuvo una disminución en el material desprendido con forme se aumentó la cantidad de asfalto (ver Figura 6). Los resultados del ensayo de pérdida, para ambos tratamientos superficiales evaluados (3A y 3B), presentan un cambio notorio de pendiente al aumentar la cantidad total de asfalto. Para cantidades bajas de asfalto, la pérdida muestra una mayor disminución que en cantidades altas. El punto en el que las dos pendientes identificadas se intersecan se definió como la mínima cantidad de asfalto necesaria para obtener una pérdida aceptable en los ensayos realizados, ya que a partir de este punto la pérdida disminuye a menor razón que en el área con menor cantidad de asfalto, es decir que al aumentar la cantidad de asfalto se obtiene poca variación en la pérdida. Adicionalmente, se observa que no existe una notable diferencia en la pérdida entre muestras de tratamiento superficial con asfalto convencional y modificado.

En los resultados del ensayo para medir exudación, se observa una disminución en la cantidad de arena adherida con forme aumenta la cantidad de asfalto, contrario a los resultados esperados. Esto se puede deber a que al tener baja cantidad de asfalto, se tienen más vacíos en la muestra, y se observó que la arena se introduce entre los vacíos y no únicamente en el área exudada. En la Figura 7 se muestran dos especímenes con alta (izquierda) y baja (derecha) cantidad de asfalto, en donde se puede notar una diferencia notable entre la cantidad de vacíos.

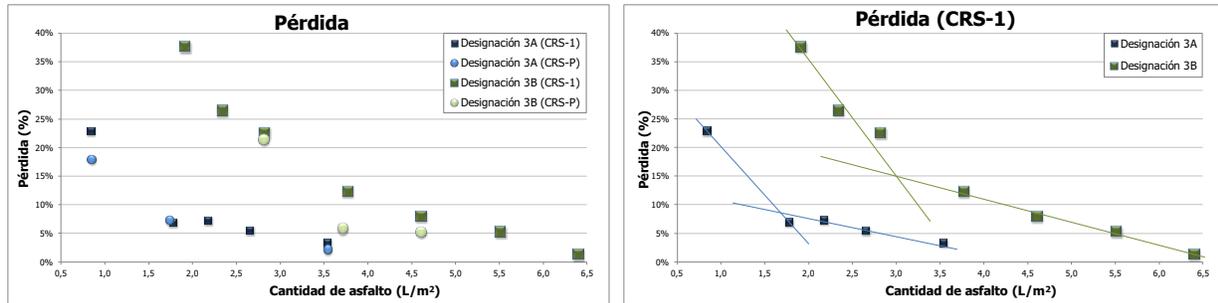


Figura 6: Pérdida de material contra cantidad total de asfalto

En la Figura 7, se observa que no existe una notable diferencia entre muestras de tratamiento superficial con asfalto convencional y modificado en cuanto a adherencia de arena, y las muestras siguen la misma tendencia decreciente que presentan los especímenes de emulsión asfáltica convencional.

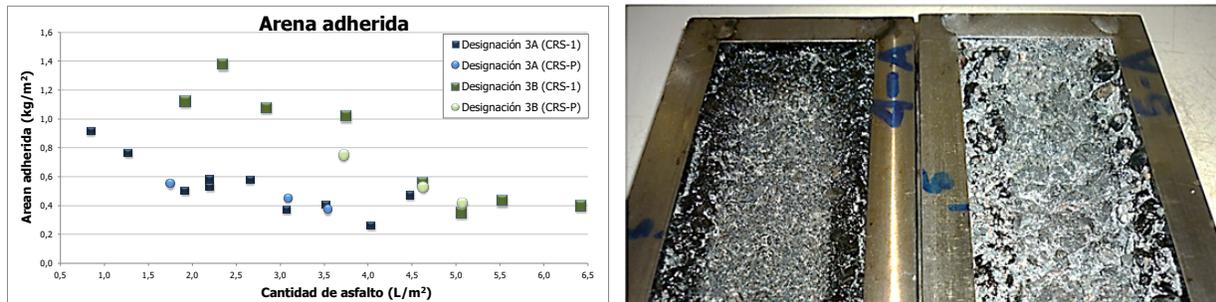


Figura 7: Arena adherida

Mediante el análisis fotogramétrico de las muestras del ensayo de exceso de asfalto, se obtuvo que a partir de aproximadamente un 40 % de área con asfalto expuesto (crítico y no crítico), las muestras presentan la condición de asfalto expuesto crítico, definida como un estado cercano a la exudación. Esto sucede en ambas granulometrías estudiadas y se puede apreciar en la Figura 8.

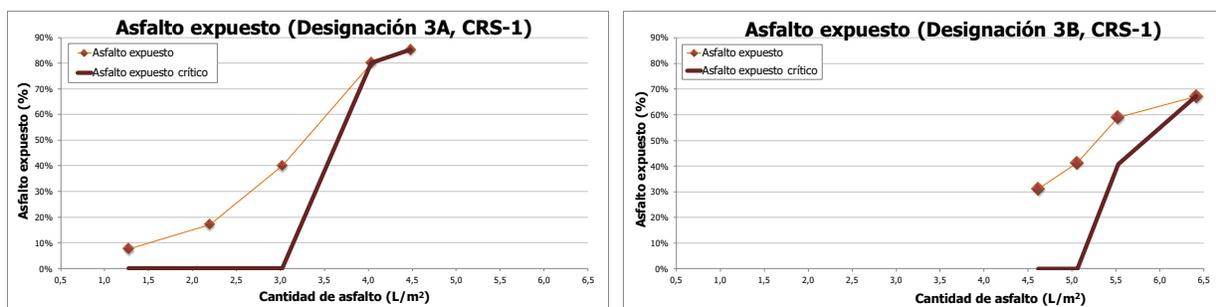


Figura 8: Asfalto expuesto contra cantidad total de asfalto, emulsión convencional

Con los resultados obtenidos se logró aproximar el área que constituye la zona con desempeño aceptable, que está definida a partir del cambio de pendiente observado en los resultados de pérdida y abarca hasta la cantidad de asfalto total donde se presenta un 40% de área con asfalto expuesto, que como se observó en la Figura 8, es cuando se empieza a presentar la condición de asfalto expuesto crítico, los resultados se muestran en la Figura 9. Al comparar la zona con desempeño aceptable obtenida en el laboratorio para las muestras ensayadas con la especificación nacional CR-2010, se observa que en el tratamiento con designación 3A presenta dicha zona

dentro del rango establecido por el CR-2010, para la muestra con designación 3B, la zona de desempeño aceptable se encuentra ubicada en un rango con cantidades mayores que las especificadas. Un factor relevante que pudo afectar en este caso en particular es que el tamaño medio de la segunda capa (granulometría D), no disminuye a la mitad con respecto a la primera capa (granulometría C), como se indica en la Tabla 4, esto implica que se requiera mayor cantidad de asfalto para evitar la pérdida o desprendimiento del agregado.

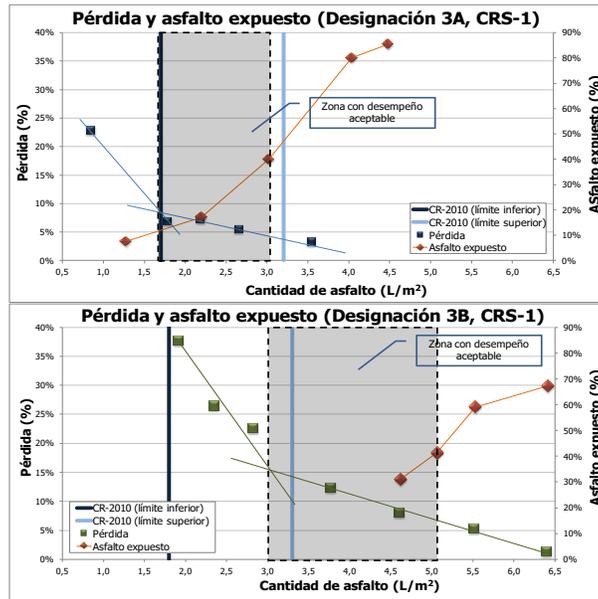


Figura 9: Comparación de la pérdida y el asfalto expuesto con el CR-2010

En cuanto a la comparación con las metodologías teóricas de diseño, las metodologías que mejor aproximan las dosificaciones de agregado son la regla del décimo y el método de Texas DOT, como se muestra en la Figura 10, donde se comparan las cantidades totales de agregado. Los métodos de Hanson, McLeod y ASTM (en el caso del 3B) presentan cantidades de agregado superiores a las utilizadas.

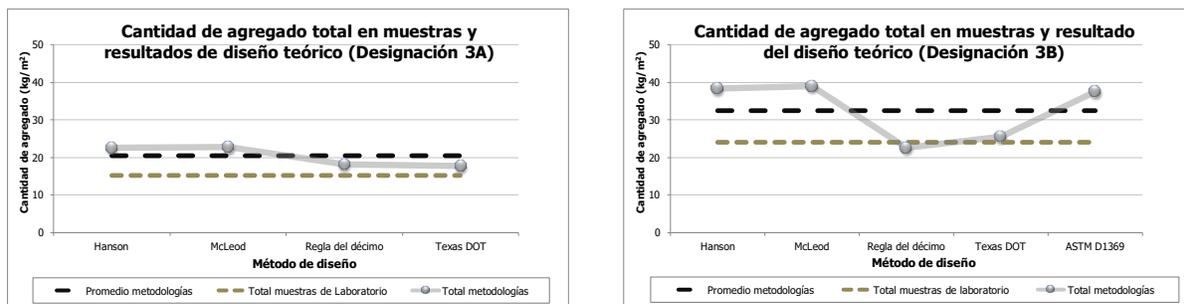


Figura 10: Comparación de la cantidad de agregado total las metodologías teóricas de diseño

CONCLUSIONES

Mediante este proyecto se propone una metodología para evaluar el desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio, a través de la evaluación de la pérdida y el exceso de asfalto, que son métodos utilizados en el diseño de sellos de lechada asfáltica. Se pudo determinar que el ensayo

de pérdida implementado, logró discriminar entre especímenes con distinta variación de cantidad de asfalto. Mientras que para el ensayo de exceso de asfalto, la medición de la adhesión de arena no proporcionó resultados concluyentes, sin embargo, a través del procesamiento de imágenes digitales sí se logró distinguir entre muestras con distintas cantidades de asfalto.

Las dosificaciones de materiales para la construcción de tratamientos superficiales establecidas en el CR-2010, concuerdan con la zona de buen desempeño obtenida en la presente investigación a través de los ensayos de desempeño para los tratamientos superficiales con designación 3A. Sin embargo, se recomienda realizar calibraciones en campo, para verificar la correlación del comportamiento presentado en el laboratorio con el comportamiento en el campo. Por otro lado, es necesario evaluar el efecto de la disminución del tamaño medio en la segunda capa del tratamiento superficial con designación 3B, para valorar si la variación en el rango de cantidades de asfalto que aportan un desempeño adecuado se ajusta al rango establecido en el CR-2010.

Las metodologías que mejor aproximan la cantidad de agregado con la dosificación utilizada en las muestras de laboratorio son el método de Texas DOT y la regla del décimo. Las metodologías de Hanson, McLeod y ASTM aportan cantidades de agregado mayores a las utilizadas en las muestras, que corresponden a las cantidades necesarias para cubrir adecuadamente el área efectiva del molde para cada capa del tratamiento.

Las muestras de tratamiento superficial fabricadas con emulsión asfáltica modificada con el polímero SBR, no mostraron resultados de desempeño distintos a los de las muestras que utilizaron emulsión convencional.

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard Practice for Quantities of Materials for Bituminous Surface Treatments ASTM D 1369-84. Estados Unidos: ASTM.
- Jiménez, M., Molina, D. & Sibaja, D. (2008). Evaluación de la factibilidad en la aplicación de sellos de lechada asfáltica "Slurry Seals" en Costa Rica. Reporte de investigación, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Lee, J. (2007). Performance Based Evaluation of Asphalt Surface Treatment Using Third Scale Model Mobile Loading Simulator. Proyecto de graduación para optar por el grado de doctorado en Ingeniería Civil, North Carolina State University, Carolina del Norte, Estados Unidos de Norteamérica.
- Lee, J. & Kim, R. (2007). Understanding the Effects of Aggregate and Emulsion Application Rates on Performance of Asphalt Surface Treatments. Transportation Research Board.
- Leiva, F. (2005). Diseño, construcción y control de calidad en la aplicación de tratamientos superficiales. Reporte de investigación, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Lerma, J. Fotogrametría moderna: analítica y digital. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010). Costa Rica: MOPT.