

DOSIFICACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN SOBRECAPAS ASFÁLTICAS CON GEOSINTÉTICOS

Mario Solano-Rodríguez¹, Paulina Leiva-Padilla²,
Luis Guillermo Loría-Salazar³

¹ LANAMME, Universidad de Costa Rica, Ciudad de la Investigación, mario.solanorodriguez@ucr.ac.cr

² LANAMME, Universidad de Costa Rica, Ciudad de la Investigación, paulina.leivapadilla@ucr.ac.cr

³ LANAMME, Universidad de Costa Rica, Ciudad de la Investigación, luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

Resumen

Durante la rehabilitación de pavimentos con sobrecapa asfáltica, es vital garantizar una adherencia adecuada entre la capa existente y la nueva. Esto se logra distribuyendo una cantidad adecuada de emulsión asfáltica, que va a variar en el caso de que se agreguen sistemas intercapa para el retardo del reflejo de grietas, como es el caso de los geosintéticos. La presente investigación muestra los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo del Departamento de Transportes de Alabama (ALDOT-430), para especímenes cilíndricos de 100 mm, con materiales geotextiles o geomallas, acondicionados a 25°C y 60°C, y para dos metodologías de aplicación de riego distintas: fraccionada (70% del total previo al geosintético y 30% luego) y completa (100% previo a la colocación del geosintético). Como conclusiones del estudio se determina que: (1) la resistencia a la adherencia se reduce en un 250% cuando se coloca material geotextil, y en un 32% cuando se coloca una geomalla; (2) Al utilizar la geomalla en lugar de un geotextil en el sistema de intercapa la resistencia a la adherencia aumenta en aproximadamente un 50% (3) la variación de temperatura aplicada mostró diferencias de hasta 9 veces el valor del ensayo bajo la condición original, pasando parte de su trabajo a la componente de fricción en la interfaz en el caso de los tratamientos con geotextil y de aproximadamente 80% cuando se utiliza la geomalla.

Palabras Clave: geosintéticos, sobrecapas asfálticas, adherencia, emulsión asfáltica.

1 Introducción

Para la rehabilitación de pavimentos mediante la tecnología de sobrecapas asfálticas, se han desarrollado técnicas en las que se utilizan geosintéticos, con el fin de retardar la propagación de las grietas que existen en el pavimento deteriorado hacia la nueva capa bituminosa.

Durante el uso de estas técnicas el colocar una capa de emulsión asfáltica asegura la adherencia entre la superficie pavimento nuevo y la sobrecapa. De esta manera, cuando se coloca un geosintético como sistema intercapa, la sustancia utilizada como adherente forma una baja conductividad hidráulica que mejora la unión de este material en la nueva capa de pavimento.

A pesar de que existen recomendaciones establecidas por el fabricante con respecto a las dosificaciones que se deben usar cuando se usan estos sistemas de intercapa, no hay un criterio uniforme con respecto a especificaciones y metodologías constructivas que deben utilizarse, por tanto, la colocación en campo de esta técnica se ha hecho de manera empírica.

1.1 Antecedentes

Según el Instituto del Asfalto (2010), a nivel estructural el pavimento debe desarrollar un comportamiento monolítico (hecho de una sola pieza), para mejorar sustancialmente su funcionamiento. Cuando se colocan múltiples capas asfálticas o se unen con la base granular, es necesario colocar una sustancia que sirva para adherir las capas entre los diferentes materiales,

como es el caso de la emulsión asfáltica o el asfalto rebajado (comúnmente conocido como riego de liga).

Según Loría (2008), pesar de que se conoce que una mala adherencia del riego de liga puede influir directamente en la falla prematura de la estructura del pavimento, la colocación adecuada del riego de liga ha tenido poca importancia en la construcción de sobrecapas de mezclas asfálticas en Costa Rica. Recientemente, se desarrolló el manual *Buenas prácticas constructivas en la aplicación de riego de liga para la construcción de sobrecapas asfálticas* y la *Guía para la colocación de sobrecapas asfálticas*, que contemplan consideraciones importantes con respecto al riego de liga en sistemas de sobrecapa asfáltica; sin embargo, aún queda de lado el caso de la incorporación de sistemas intercapa como es el caso de los geosintéticos.

Adicionalmente, en el *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010* del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica, se especifica de manera general que la combinación de emulsión asfáltica y agua en sistemas de sobrecapa asfáltica, debe de estar a una tasa de 0,2 a 0,7 litros por metro cuadrado, quedando por fuera el caso donde se colocan de geosintéticos. Debido a esto, es necesaria la definición de especificaciones y metodologías de diseño y construcción específicas a la región, que garanticen una adecuada colocación e inspección y control de calidad de la obra.

Pese al desarrollo de investigaciones (NCHRP, 2012) con esquemas experimentales para el estudio de la adherencia en sistemas de sobrecapas asfálticas, aún queda mucho que estudiar con respecto a estos sistemas cuando se utilizan geosintéticos como sistema de intercapa. El presente estudio muestra el uso del ensayo de corte directo del Departamento de Transportes de Alabama (ALDOT-430) considerando el uso de geotextiles y geomallas de uso típico como sistema intercapa en Costa Rica.

2 Etapa experimental

Durante la etapa experimental de este proyecto se compara la resistencia al cortante puro de probetas unidas por emulsión asfáltica de rompimiento rápido y geosintético.

El procedimiento de ensayo empleado fue el propuesto por el Departamento de Transportes de Alabama de Estados Unidos de América (ALDOT por sus siglas en inglés), con nombre: *Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la adherencia entre capas de pavimento, ALDOT-430*, adaptado para ser ejecutado con probetas que contienen el material geosintético en la interfaz de las sobrecapas asfálticas.

La dosificación de emulsión asfáltica aplicada en cada tratamiento varía dependiendo del tipo de geosintético. Las dosificaciones de aplicación seleccionados se encuentran dentro de las tasas recomendadas por el fabricante del geosintético. En la Tabla 1 se muestran las tasas de aplicación de ligante asfáltico residual para los tres geotextiles no tejidos y una geomalla:

Tabla 1 Tasas de aplicación de ligante asfáltico residual utilizados

Geosintético	Peso Nominal (g/m ²)	Tasas de ligante asfáltico residual (l/m ²)
Geotextil No Tejido	120	0,6 – 0,7 – 0,8 – 0,9
	140	0,8 – 0,9 – 1,0 – 1,1
	205	1,1 – 1,2 – 1,3 – 1,4
Geomalla	-	0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,6

2.1 Materiales

Se utilizó una sola mezcla asfáltica de tamaño nominal de 12,7 mm fabricada en planta, con el fin de mantener este parámetro constante durante todo el estudio.

Para el riego de liga: Se utilizó la emulsión asfáltica de la Refinadora Costarricense de Petróleos S:A. del tipo CRS-1, cuyas características principales son: catiónica, de rompimiento rápido y de baja viscosidad; por cada uno de sus símbolos, de igual manera, solamente se utilizó esta emulsión asfáltica para mantener este parámetro constante durante todo el estudio, además

esta es la única emulsión que produce la Refinadora Costarricense de Petróleo S.A. (RECOPE) en el país.

Como sistema de intercapa se emplearon tres geotextiles no tejidos con diferente gramaje y una geomalla hecha a base de filamentos de fibra de vidrio (ver Tabla 1).

2.2 Metodología de construcción de probetas

Los especímenes fabricados en el laboratorio están formados por dos capas de mezcla asfáltica producida en planta, entre las que se extiende el riego de la emulsión asfáltica y el geosintético. La siguiente metodología de construcción de probetas se elaboró por medio de pruebas con diferentes métodos de confección de pastillas de mezcla asfáltica en el laboratorio.

Para este trabajo se construyeron probetas de 100 mm de diámetro, pero también se puede aplicar esta metodología para confeccionar pastillas de mezcla asfáltica de 150 mm de diámetro.

Primeramente, para obtener la capa inferior o de soporte, se fabricaron pastillas de 150 mm de diámetro, mediante 100 giros en el compactador giratorio (SuperPave UNE EN 12697-31) con la cantidad de mezcla necesaria para obtener una altura de 115 ± 1 mm y con aproximadamente 5 ± 1 % de vacíos. La mezcla asfáltica empleada para esta capa debe disponer de un soporte lo suficientemente cerrado para que sea aplicada la emulsión de adherencia.

Una vez hecho esto, se les extrae el núcleo con una cortadora especial de 100 mm de diámetro, reduciendo el porcentaje de vacíos en aproximadamente 1%, teniendo como resultado un espécimen de $4,0 \pm 1$ % de vacíos. Por último, se corta en dos el núcleo para obtener dos probetas de 57 ± 1 mm de altura.

Las pastillas resultantes se meten en un horno a 60 °C de temperatura por un lapso de 5 días para oxidar la mezcla asfáltica y representar de manera pavimento viejo en esta primera capa (se verificó que las probetas no cambiaban el porcentaje de vacíos después de estar los días en el horno).

Para la aplicación del riego de liga se utilizaron dos metodologías de aplicación: colocando la totalidad de la dotación en una sola aplicación sobre el geotextil y colocando primeramente entre un 70-80% de la dosificación, posteriormente el geotextil, y finalmente el restante 30-20%. Cuando se haya extendido la dosificación de emulsión asfáltica deseada, se debe dejar un tiempo suficiente para que esta rompa (que se evapore el agua y el emulsificante, se observa un cambio de color café a negro en la sustancia, para esto se debe de esperar al menos 30 min después de ser aplicada).

Una vez que se haya verificado la ruptura de la emulsión, se realiza la colocación del geosintético, ya que la presencia de agua daña el desempeño del material. La instalación de este material es manual, y se debe de tener cuidado de que no se formen ondulaciones o arrugas, debe adicionalmente ser compactado para inducir la penetración del ligante en este, para ello se le aplican cinco golpes con el martillo de compactación Marshall que se estima que produce una compactación de aproximadamente 30 MPa.

Si se efectuó la segunda metodología de aplicación de la emulsión asfáltica, se completa la dotación para alcanzar la tasa total, y se espera a que la emulsión rompa para proseguir con la siguiente etapa de la fabricación de la probeta.

Seguidamente, se coloca la segunda capa de mezcla asfáltica, introduciendo el conjunto de la probeta, emulsión asfáltica y geosintético, dentro del molde SuperPave de 100 mm y se le agrega la cantidad necesaria de mezcla asfáltica para obtener una altura de 64 ± 1 mm. En la compactación de esta segunda capa se aplicaron 100 giros en la máquina SuperPave (UNE EN 12697-31), y de esta manera se agrega una capa de aproximadamente 64 ± 1 mm de altura, con de 7 ± 1 % de vacíos (este porcentaje de vacíos representa la cantidad que tiene un pavimento recién instalado en una vía).

En la Figura 1 se muestra un producto final de la fabricación de especímenes confeccionados para la presente investigación.



Figura 1 Espécimen confeccionado para la investigación

2.3 Ensayo de corte directo

Para este estudio se utilizó una modificación del ensayo propuesto por el Departamento de Transportes de Alabama de los Estados Unidos de América (ALDOT por sus siglas en inglés), ALDOT-430, de ejecución muy sencilla, capaz de medir la resistencia a las tensiones tangenciales provocadas por la aplicación de una fuerza de corte que se producen en la unión de dos capas asfálticas, adheridas por riego de liga, con la presencia de un geosintético en la interfaz de estas.

El dispositivo de prueba utilizado para el ensayo de corte directo está diseñado para acomodar especímenes de prueba 100 mm y 150 mm de diámetro. Este dispositivo tiene una camisa o mordaza cilíndrica de metal fija y un cabezal de carga metálico que se desliza. La separación entre la camisa o mordaza cilíndrica de metal fija y la cabeza de carga metálico deslizante es de 5 mm aproximadamente.

Se emplea una máquina universal con una la velocidad del movimiento mantenida de 50,8 mm por minuto, cuando la carga está siendo aplicada.

En la Figura 2 se presenta el dispositivo de ensayo de corte directo fabricado en el LanammeUCR con aluminio para realizar la falla de los especímenes de la investigación.



Figura 2 Dispositivo de ensayo de corte creado para el proyecto

El ensayo se llevó a cabo a dos temperaturas diferentes: ambiente laboratorio (25 °C), y a 60 °C. Para conseguir el acondicionamiento por temperatura se utilizó un baño maría durante 1 hora necesaria para alcanzar esta condición. Los especímenes fueron envueltos con plástico transparente y metidos en una bolsa plástica para ser protegidos en la medida de lo posible de la humedad. Se seleccionó la temperatura de falla de 60 °C porque se considera como la temperatura crítica de un pavimento en Costa Rica.

3 Resultados y análisis

Se fabricaron y ensayaron tres especímenes por tratamiento para cada una de las combinaciones (geosintético, metodología de aplicación, tasa de aplicación y temperatura de falla), obteniendo

un total de 168 probetas. Además de los tratamientos mencionados anteriormente, se confeccionaron especímenes de Control contruidos con dos capas de mezcla asfáltica, adheridas con solamente riego de liga con cuatro diferentes dosificaciones: 0,3 l/m², 0,4 l/m², 0,5 l/m² y 0,6 l/m²; que corresponden a tasas de ligante asfáltico residual dentro del rango recomendado en el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los factores utilizados para la fase experimental de presente investigación.

Tabla 2 Resumen de los factores utilizados en la investigación

Factor	Característica
Mezcla Asfáltica	Hecha en planta de tamaño nominal 12,5 mm
Emulsión Asfáltica	CRS-1
Geosintético	Geotextil No Tejido de 120 g/m ² - 140 g/m ² - 205 g/m ² , Geomalla
Tasas de aplicación (l/m ²)*	0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8 - 0,9 - 1,0 - 1,1 - 1,2 - 1,3 - 1,4
Metodología de aplicación (%)	Total (100), Fraccionada (70/30)**
Temperatura de falla (°C)	25, 60

*Corresponde al asfalto residual y dependen del geosintético utilizado (ver Tabla 1)

**Sólo para geotextiles no tejidos

La Tabla 3 presenta los resultados de la resistencia al cortante obtenidos del ensayo de corte directo para los especímenes fallados a 25 °C. La

Tabla 4 muestra los resultados de la resistencia al cortante obtenidos del ensayo de corte directo para los especímenes fallados a 60 °C. Estos valores corresponden al promedio de carga máxima obtenido de los tres especímenes de ensayo confeccionados para cada uno de los tratamientos de la investigación.

Tabla 3 Resultados de la resistencia al cortante obtenidos del ensayo de corte directo para los especímenes fallados a 25 °C

Geosintético	Dosificación (l/m ²)	Carga máxima promedio (kN)	
		Aplicación Total	Aplicación Fraccionada
Control (sin geosintético)	0,3	12,759	-
	0,4	16,172	-
	0,5	13,830	-
	0,6	11,842	-
Geotextil No Tejido de 120 g/m	0,6	3,195	3,977
	0,7	3,591	4,872
	0,8	3,059	4,705
	0,9	2,697	4,330
Geotextil No Tejido de 140 g/m	0,8	3,022	3,863
	0,9	2,947	4,705
	1,0	3,219	4,288
	1,1	2,834	4,270
Geotextil No Tejido de 205 g/m	1,1	3,331	3,563
	1,2	3,781	3,546
	1,3	3,592	2,997
	1,4	3,460	2,653
Geomalla	0,2	11,039	-
	0,3	8,760	-
	0,4	8,976	-
	0,5	8,115	-

Tabla 4 Resultados de la resistencia al cortante obtenidos del ensayo de corte directo para los especímenes fallados a 60 °C

Geosintético	Dosificación (l/m ²)	Carga máxima promedio (kN)	
		Aplicación Total	Aplicación Fraccionada
Geotextil No Tejido de 120 g/m	0,6	0,390	0,399
	0,7	0,444	0,412
	0,8	0,605	0,463
	0,9	0,470	0,336
	0,8	0,397	0,405
Geotextil No Tejido de 140 g/m	0,9	0,428	0,480
	1,0	0,405	0,445
	1,1	0,352	0,431
	1,1	0,450	0,287
	1,2	0,399	0,206
Geotextil No Tejido de 205 g/m	1,3	0,388	0,237
	1,4	0,409	0,186
	0,2	1,556	-
	0,3	1,628	-
Geomalla	0,4	1,766	-
	0,5	2,330	-

Gráficamente los resultados de la resistencia al cortante promedio de los especímenes fallados a 25 °C se muestran en la Figura 3.

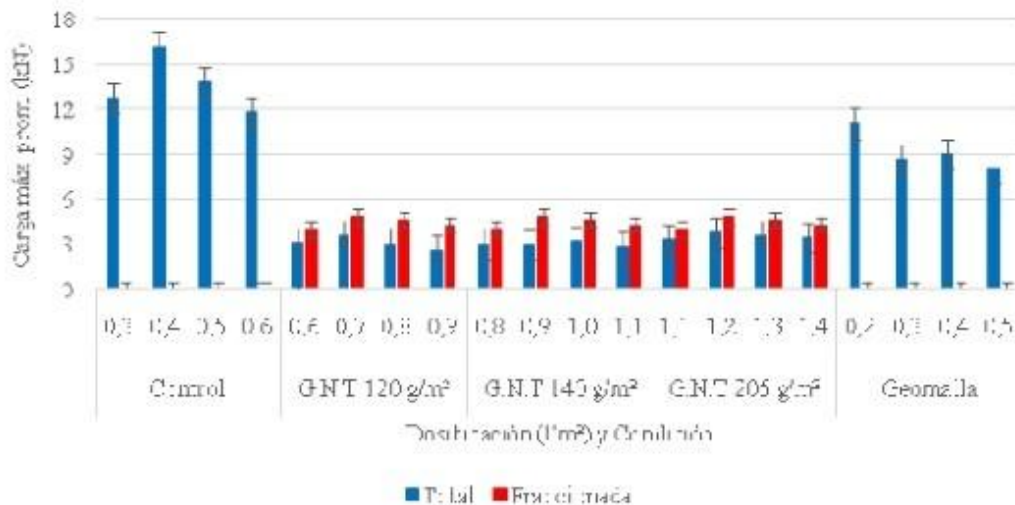


Figura 3 Resistencias al cortante entre tratamientos fallados a 25 °C

De la Figura 3 se puede observar que los tratamientos que utilizan geotextiles como intercapa, la resistencia a la adherencia se reduce en aproximadamente 2,5 veces. Esto se debe a que al utilizar un geosintético se crea una barrera en la transmisión de esfuerzos entre la interfaz de unión del sistema, generando una discontinuidad, siendo esta la capa más propensa a generar el plano de falla a cortante debido a que el geotextil no está diseñado para trabajar ante este tipo de esfuerzos a cortante.

Esto es muy evidente cuando se ejecuta el ensayo de corte directo en la etapa experimental, ya que al desprenderse las dos capas del espécimen, es muy notable que sea el material geotextil

impregnado de emulsión el que no soporta la fuerza a cortante que se le está aplicando y cede hasta la falla del sistema. Muy diferente a lo que sucede con los especímenes de Control que al estar unidos con solamente riego de liga, la mayor influencia que resiste la carga a cortante es la fricción de contacto entre las superficies de textura de los agregados de la mezcla asfáltica, ya que estas crean un enclavamiento mecánico entre las partículas de agregado en la interfaz de unión, provocando de esta manera mayor resistencia a la unión entre las dos pastillas. Lo mencionado anteriormente, se puede observar en la Figura 4 donde se muestra cómo quedaron los especímenes después del ensayo de corte directo y de desprenderse totalmente.

Por su parte, cuando se utiliza la geomalla en el sistema de intercapa, la resistencia a la adherencia se reduce en un 32%. Esta reducción es causada por la barrera que se crea en la transmisión de esfuerzos al implementar el geosintético en la interfaz de unión del sistema.

Esta reducción es mucho menor a cuando se usa geotextil en el sistema, y se determina que los resultados de resistencia al cortante con la geomalla son de aproximadamente 50% mayores en comparación. Este aumento en la resistencia se debe a que al utilizar geomalla, existen superficies de contacto entre las pastillas en las aberturas de la malla, presentes en la interfaz de unión del espécimen, lo cual genera un enclavamiento mecánico entre las partículas de agregado y el asfalto de la mezcla, por lo que se tiene una mayor influencia de la fricción de contacto entre las superficies de textura de los agregados de la mezcla asfáltica, que hace que el sistema resista más carga a cortante.

En la Figura 5 se presenta un espécimen hecho con geomalla después de ser ensayado con el dispositivo de corte directo en la máquina Marshall, en él se puede observar como existe el enclavamiento mecánico entre las partículas de agregado y el asfalto de la mezcla entre las pastillas en las aberturas de la malla.

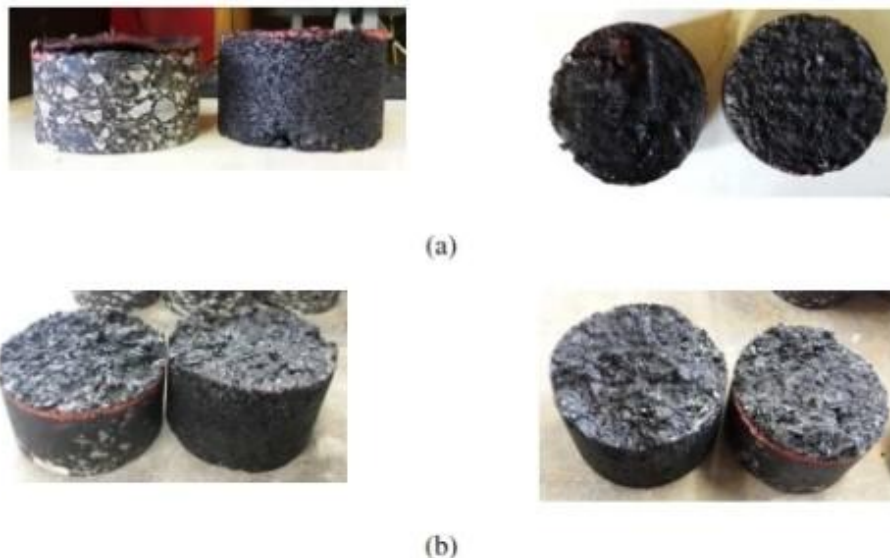


Figura 4 Especímenes después del ensayo de corte directo (a) Con geotextil y riego de liga (b) Con solamente riego de liga



Figura 5 Espécimen hecho con geomalla después de ser ensayado con el dispositivo de corte directo en la máquina Marshall

Por su parte, en la Figura 6 se presentan los resultados de la resistencia al cortante promedio de los especímenes fallados a 60 °C.

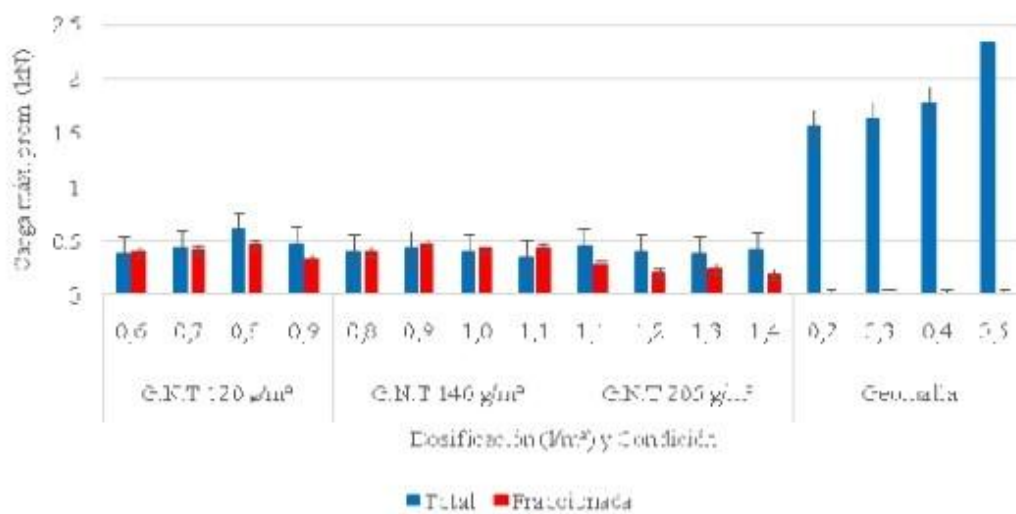


Figura 6 Resistencias al cortante entre tratamientos fallados a 60 °C

A partir de la Figura 6 se observar que en la mayoría de las dosificaciones los resultados de resistencia máxima fueron muy similares para los tres geotextiles en estudio y se evidenció que efecto de la temperatura es muy significativo para estas condiciones, ya que reducía la resistencia a la unión en casi 9 veces.

Para el caso de los especímenes con geomalla, se observa que el efecto de la temperatura de ensayo es también muy significativo, ya que la resistencia a la adherencia se reduce dramáticamente en aproximadamente 80% cuando se fallan los especímenes a 60°C.

Esto se debe a que la temperatura de ensayo es el factor más determinante y que rige para la falla es el estado de la emulsión asfáltica, debido a que esta se emblandece a esta temperatura, generando el plano de corte crítico en el espécimen. Ya que las emulsiones asfálticas son mucho más rígidas entre menor sea la temperatura, entonces a una temperatura de 60°C se presenta un ablandamiento considerable en la sustancia usada para el riego de liga siendo este factor el más predominante en la falla del sistema.

A partir de los resultados obtenidos del ensayo de corte, se realizaron análisis estadísticos comparando los diferentes factores para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos de la investigación. Se utilizó la prueba estadística ANOVA para este análisis debido a la cantidad de repeticiones y factores que se tienen en estudio. Los resultados de las diferentes pruebas ANOVA se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Resultado de las pruebas ANOVA para los diferentes casos de estudio

Prueba ANOVA		Probabilidad	Dif. Significativa al 95%
Control	vs G.N.T 120 g/m ²	4,650E-05	Sí
	vs G.N.T 140 g/m ²	3,990E-05	Sí
	vs G.N.T 205 g/m ²	3,504E-05	Sí
	vs Geomalla	0,008	Sí
	Entre Dosificaciones	0,002	Sí
G.N.T 120 g/m ²	Total vs Fraccionada a 25 °C	7,166E-05	Sí
	Total vs Fraccionada a 60 °C	0,004	Sí
	Entre Temperaturas de falla	9,622E-07	Sí
	Entre Dosificaciones 25 °C	0,210	No
	Entre Dosificaciones 60 °C	0,001	Sí
	vs G.N.T 140 g/m ² a 25 °C	0,207	No
	vs G.N.T 205 g/m ² a 25 °C	0,280	No
	vs G.N.T 140 g/m ² a 60 °C	0,392	No
vs G.N.T 205 g/m ² a 60 °C	0,016	Sí	
G.N.T 140 g/m ²	Total vs Fraccionada a 25 °C	0,282	No
	Total vs Fraccionada a 60 °C	0,092	No
	Entre Temperaturas de falla	1,075E-06	Sí
	Entre Dosificaciones 25 °C	0,015	Sí
	Entre Dosificaciones 60 °C	0,332	No
	vs G.N.T 205 g/m ² a 25 °C	0,613	No
vs G.N.T 205 g/m ² a 60 °C	0,004	Sí	
G.N.T 205 g/m ²	Total vs Fraccionada a 25 °C	0,001	Sí
	Total vs Fraccionada a 60 °C	4,221E-08	Sí
	Entre Temperaturas de falla	5,784E-08	Sí
	Entre Dosificaciones 25 °C	0,501	No
Entre Dosificaciones 60 °C	0,060	No	
Geomalla	Entre Temperaturas de falla	2,908E-05	Sí
	vs G.N.T 120 g/m ² a 25 °C	1,664E-04	Sí
	vs G.N.T 140 g/m ² a 25 °C	2,645E-04	Sí
	vs G.N.T 205 g/m ² a 25 °C	2,005E-04	Sí
	vs G.N.T 120 g/m ² a 60 °C	2,447E-04	Sí
	vs G.N.T 140 g/m ² a 60 °C	2,080E-04	Sí
	vs G.N.T 205 g/m ² a 60 °C	1,440E-04	Sí
	Entre Dosificaciones 25 °C	0,076	No
	Entre Dosificaciones 60 °C	0,017	Sí

Como se aprecia en la Tabla 5, al comparar los tratamientos que utilizan geosintéticos y los especímenes de Control, se evidencia estadísticamente que existen diferencias significativas, por lo tanto, se comprueba la reducción de resistencia a la adherencia observada en la Figura 3 y la Figura 6. Para el tratamiento de especímenes de Control, se determinó entre cuales dosificaciones existen diferencias significativas, para ello se ejecutó la prueba de Tukey, entonces por medio de esta prueba se comprueba que hay diferencias honestamente significativas entre las dosificaciones 0,3 l/m² - 0,4 l/m² y entre 0,4 l/m² - 0,6 l/m². Por tanto, se concluye que el rango de dosificación óptima para este tipo de tratamiento es 0,4 l/m² - 0,5 l/m².

En cuanto a la comparación de los tratamientos que utilizan el sistema de intercapa con geosintéticos, en la Tabla 5 se observa que existen diferencias significativas al implementar en el sistema con geotextil no tejido o una geomalla. En los resultados presentados anteriormente, se observa que al utilizar geomalla la resistencia al cortante aumentaba significativamente respecto a los resultados obtenidos con el geotextil.

Al comparar los tratamientos que utilizaron geotextiles no tejidos, se determina que no existen diferencias significativas entre geotextiles en la falla a 25 °C.

Para la temperatura de falla crítica de 60 °C, no hay diferencias estadísticamente significativas entre los Geotextiles No Tejidos con gramaje de 120 g/m² y 140 g/m², pero sí las hay cuando se comparan con el Geotextil No Tejido de 205 g/m². Esto se debe a que en esta temperatura el factor de falla más crítico es el reblandecimiento de la emulsión asfáltica, y para el caso del Geotextil No Tejido de 205 g/m² los especímenes estaban impregnados con más cantidad de ligante que para los otros casos.

En cuanto a las metodologías de aplicación de ligante asfáltico, solamente el Geotextil No Tejido de 140 g/m² no presenta diferencias significativas ya que se obtuvieron resultados muy similares al utilizar los dos métodos.

Al comparar las dosificaciones utilizadas en cada geotextil, se observa que para el Geotextil No Tejido de 120 g/m² no hay diferencias significativas en la falla a 25 °C, pero sí en la falla a 60 °C, ya que la dosificación de 0,8 l/m² presentó mejor resistencia respecto a las demás dotaciones.

Para los especímenes hechos con Geotextil No Tejido de 140 g/m² se evidencian diferencias significativas para la falla de 25 °C, debido a que la tasa de 0,8 l/m² presenta una menor resistencia al cortante respecto a las otras. En los resultados del análisis para la falla a 60 °C no se determinaron diferencias significativas al analizar este factor.

En los resultados obtenidos del análisis para el Geotextil No Tejido de 140 g/m² se determina que no hay diferencias significativas entre las dosificaciones empleadas en las temperaturas de falla.

4 Conclusiones

Con los resultados obtenidos de la investigación, es posible definir las siguientes conclusiones:

1. La metodología de construcción de probetas elaborada para el presente proyecto funciona correctamente para evaluar la resistencia a la adherencia de especímenes fabricados en el laboratorio formados por dos capas mezcla asfáltica, entre las que se extiende el riego de la emulsión asfáltica y un geosintético
2. El método de ensayo y el dispositivo de corte, modificados y elaborados para este trabajo funciona adecuadamente con la máquina Marshall para fallar los especímenes por medio de una carga cortante entre la interfaz del sistema de pavimento
3. Al utilizar geotextiles en la técnica de sobrecapas asfálticas, la resistencia a la adherencia se reduce en aproximadamente 2,5 veces en comparación a no utilizar ningún material geosintético en el sistema
4. El efecto de la temperatura es muy significativo para estas condiciones y combinaciones ya que reducía la resistencia a la unión en casi 9 veces. Esto era esperado ya que la rigidez de la capa ligante se reduce significativamente en la mayor temperatura y por lo que el efecto de la fricción en la capa intermedia es más evidente
5. Se demuestra que el comportamiento de las resistencias a la adherencia varía de menor a mayor, alcanzando un punto máximo y luego vuelve a disminuir. Esta tendencia es típica para la imprimación de riego de liga, ya que, con una dosificación menor a la necesaria, el sistema no obtiene una buena adherencia y pueden quedar superficies sin cubrir uniformemente, en cambio, si existe un exceso de emulsión, esta puede actuar como un lubricante para la capa superior, disminuyendo así la unión entre pavimentos
6. Al utilizar la geomalla en la repavimentación con sobrecapas asfálticas, la resistencia a la adherencia se reduce en un 32%. Esta reducción es causada por la barrera que se crea en la transmisión de esfuerzos al implementar el geosintético en la interfaz de unión del sistema
7. Al utilizar la geomalla en lugar de un geotextil en la repavimentación con sobrecapas asfálticas la resistencia a la adherencia aumenta en aproximadamente un 50%. Debido a las superficies de contacto entre las pastillas en las aberturas de la malla, esto en la interfaz de unión del espécimen. Lo cual genera un enclavamiento mecánico entre las partículas de agregado y el asfalto de la mezcla, por lo que se tiene una mayor

influencia de la fricción de contacto entre las superficies de textura de los agregados de la mezcla asfáltica que hace que el sistema resista más carga a cortante

8. El efecto de la temperatura de ensayo es muy significativo para el tratamiento con geomalla, ya que la resistencia a la adherencia se reduce dramáticamente en aproximadamente 80% cuando se fallan los especímenes a 60°C. Esto se debe a que las emulsiones asfálticas son mucho más rígidas entre menor sea las temperaturas, entonces a una temperatura de 60°C, se presenta un ablandamiento significativo en la sustancia usada para el riego de liga siendo este factor el más predominante en la falla del sistema
9. Para los especímenes de Control: el rango de dosificaciones que posee mayor resistencia a la adherencia es de 0,4 l/m² a 0,5 l/m²
10. Para el Geotextil No Tejido de 120 g/m² el rango de dosificaciones que posee mayor resistencia a la adherencia es de 0,7 l/m² a 0,8 l/m²
11. Para el Geotextil No Tejido de 140 g/m² la dosificación que posee mayor resistencia a la adherencia es de 1,0 l/m²
12. Para el Geotextil No Tejido de 205 g/m² estadísticamente no hay diferencia en utilizar cualquier dosificación de las estudiadas
13. Para los especímenes construidos con geomalla la dosificación que se recomienda utilizar para estos casos es la de 0,4 l/m²

3 Referencias

Alabama Dept. of Transportation, ALDOT. (2008). *Standard Test Method for Determining the Bond Strength Between Layers of an Asphalt Pavement, ALDOT-430*. Alabama, United States.

Guerrero-Aguilera, S. (2015). *Publicación Especial: Buenas prácticas constructivas en la aplicación de riego de liga para la colocación de sobrecapas asfálticas*. PITRA-LanammeUCR.

Instituto del Asfalto. (2010). *Manual Básico de Emulsiones Asfálticas*. Lexington, Kentucky.

Koerner, R. (2005). *Designing with geosynthetics*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education.

Loría-Salazar, L. G. (2008). *Reflective Cracking of Flexible Pavements: Literature, Review, Analysis Models and Testing Methods*. Reno, Nevada: ProQuest Information and Learning Company.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes*. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

National Cooperative Highway Research Program, NCHRP. (2012). *Optimization of Tack Coat for HMA Placement*. Transportation Research Board of the National Academies.

Solórzano-Murillo, S., Salas-Chaves, M., Sequeira-Rojas, W., & Loria-Salazar, L. (2015). *Guía para inspectores para la colocación de sobrecapas asfálticas*. PITRA-LanammeUCR.

