



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

Aivy Jinneth Cuta Soler¹, Alexandra Ossa López²

¹ Instituto de Ingeniería UNAM, Ciudad de México, México, ACutaS@ingen.unam.mx

² Instituto de Ingeniería UNAM, Ciudad de México, México, AossaL@ingen.unam.mx

Resumen

La evaluación de la adherencia entre capas de concreto asfáltico es fundamental para garantizar que las cargas del tránsito aplicadas en la superficie de rodadura se transmitan uniforme a través de toda la estructura del pavimento. Una adherencia insuficiente entre las capas asfálticas puede reducir la vida útil del pavimento asfáltico a la fatiga, lo que incrementa la probabilidad de deterioros como agrietamientos, deslizamientos y/o desprendimientos. Uno de los factores que más influye en la adherencia entre capas es la granulometría de la mezcla asfáltica, ya que afecta la interacción de los agregados en la interfaz.

Por lo anterior, se evaluó la adherencia entre capas de concreto asfáltico mediante la prueba de corte directo del Laboratorio de Caminos de Barcelona (LCB). Para ello se emplearon dos tipos de mezclas asfálticas como capa superior: una mezcla de granulometría densa tibia (WMA) y una mezcla de granulometría abierta en caliente (OGFC). Tres tipos de emulsiones asfálticas catiónicas de rompimiento rápido: Tipo 1 convencional con 65% de cemento asfáltico residual (ECR65), Tipo 2 modificada con polímero y 65% de cemento asfáltico residual (ECR65P) y Tipo 3 termoadherente y 45% de cemento asfáltico residual (ECR45P). Adicionalmente, tres dosificaciones de cemento asfáltico residual (0.14, 0.18, 0.25 l/m²), y como referencia una interfaz sin riego de liga.

Los resultados indicaron que la presencia del riego de liga en la interfaz incremento la resistencia al corte y, por consiguiente, la adherencia entre capas. Sin embargo, al utilizar una mezcla OGFC como capa superior, la fuerza de unión en la interfaz entre las capas se redujo aproximadamente en un 90% en comparación con una capa de granulometría densa. Esta disminución se debe al incremento del porcentaje de vacíos de aire en la mezcla OGFC, lo que produce una reducción de las áreas de contacto en la interfaz.

Palabras Clave: Adherencia, resistencia al corte, riego de liga, OGFC

1 Introducción

La estructura de un pavimento flexible se compone de capas granulares: la base y la subbase, junto con la carpeta asfáltica. Esta última es la capa que recibe directamente las solicitaciones del tránsito, por lo que en ocasiones su espesor se construye en dos partes: la capa de rodadura y la capa asfáltica intermedia o de soporte, las cuales están unidas mediante un riego de liga. La capa de rodadura tiene el objetivo de proporcionar una superficie uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Generalmente, esta capa se construye con espesores menores a 4 cm y se considera que no contribuye aporte estructural al pavimento. En México, las mezclas de granulometría abierta (OGFC) y las Stone Mastic Asphalt (SMA) son las más utilizadas como capas de rodadura [1].

Por otro lado, la capa de soporte es la encargada de asumir la mayor parte de los esfuerzos y las deformaciones generadas por el tránsito. Esta capa se fabrica con mezclas densas, que pueden ser en caliente, tibias o frías [2].

Esta práctica resalta la importancia de controlar la adherencia entre capas de concreto asfáltico durante la construcción y mantenimiento de pavimentos flexibles. La adherencia es crucial por que el rendimiento a largo plazo de un sistema de capas depende significativamente de la fuerza de unión que se pueda desarrollar entre ellas. La sostenibilidad en los pavimentos se refiere al desarrollo e implementación de



materiales y técnicas de construcción que no solo cumplan con las solicitaciones de carga de los diseños, sino que también preserven el medio ambiente y promuevan un uso responsable de los recursos naturales. En México, con el creciente desarrollo de la red carretera, se ha vuelto crucial mejorar las técnicas de construcción para garantizar la durabilidad y la seguridad de estas infraestructuras. La aplicación de los riegos de liga se ha convertido en una parte esencial de estas técnicas. Sin embargo, no existe una normativa que establezca un método específico de prueba para evaluar la adherencia mediante la resistencia al corte en la interfaz de las capas del pavimento. Además, no se ha determinado un valor mínimo requerido de la resistencia al corte para los testigos extraídos de las vías en construcción, rehabilitación y/o mantenimiento.

Por lo tanto, esta investigación se centra en determinar los valores promedio de resistencia al corte y los rangos óptimos de dosificación para las emulsiones asfálticas comerciales que se utilizan actualmente como riegos de liga en México, empleando la prueba de corte directo del Laboratorio de Caminos de Barcelona (LCB). Además, se busca promover el uso de mezclas asfálticas tibias, que al reducir las temperaturas de fabricación y compactación, disminuyen la emisión de compuestos tóxicos como dióxido de carbono, dióxido de azufre, compuestos volátiles, monóxido de carbono y óxido nitroso.

2 Antecedentes

2.1 Efectos en el desempeño del pavimento por mala adherencia entre capas

La estructura de un pavimento es un sistema multicapa que se puede representar como una viga biapoyada formada por cierto número de capas. Cuando las capas están completamente adheridas actúan de manera solidaria como un sistema monolítico, lo que permite una menor deflexión al someterse a cargas externas. Sin embargo, como se observa en la Figura 1, una unión de interfaz insuficiente produce una mayor deformación en la estructura, dando lugar a una reducción de la vida útil del pavimento [3].

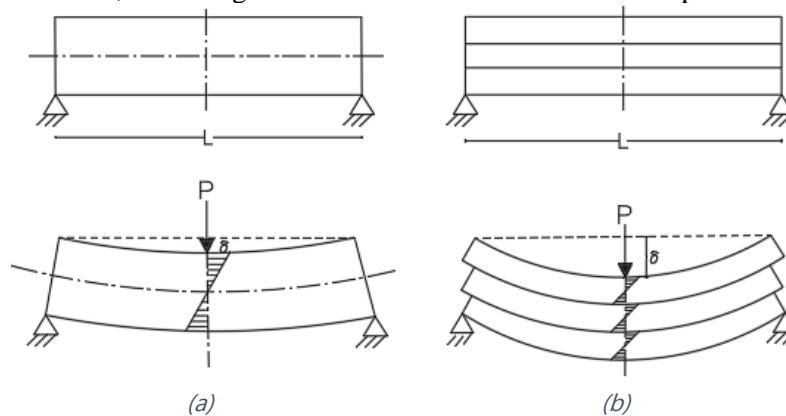


Figura 1. Analogía con la capacidad de carga de una viga., (a) homogénea y (b) multicapa [3]

En consecuencia, se presentan deterioros del pavimento, tales como grietas parabólicas o en forma de medialuna, desplazamientos longitudinales, deformaciones transversales, y desprendimientos o baches. Las grietas parabólicas son originadas por el deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior y ocurren con mayor frecuencia en áreas de frenado donde se generan cargas horizontales lo que provoca que la superficie del pavimento se deslice o se deforme, por ejemplo, intersecciones y/o curvas cerradas [4].

Uzan et al. (1978) y Shahin et al. (1987) modelaron, mediante el programa Bitumen Structures Analysis in Roads (BISAR), las tensiones, deformaciones y desplazamientos de sistemas multicapa sujetos a cargas múltiples verticales y horizontales [5, 6]. Estos investigadores coincidieron en que el estado de adherencia en las interfases de las capas de pavimentos flexibles afecta el desempeño, influyendo en la distribución de esfuerzos y deformaciones en la región de la interfaz, lo que reduce la vida útil a la fatiga.



Cuando se presenta un deslizamiento de la capa superpuesta, la parte inferior de esta capa desarrolla tensión horizontal, mientras que la parte superior de la superficie asfáltica original desarrolla una deformación por compresión horizontal. Estas diferentes deformaciones resultantes del deslizamiento provocan que los puntos del pavimento, cercanos entre sí pero situados en lados opuestos de la interfaz, se distorsionen en direcciones diferentes. Esto debilita aún más la unión entre las dos capas de mezclas asfálticas, permitiendo un mayor deslizamiento y generando esfuerzos más altos [5].

Por otra parte, Zulkifili y Sutanto (2018) mediante un estudio realizado en las carreteras de Malasia, determinaron que el estado de la unión entre la capa de rodadura y la capa estructural puede reducir la vida útil del pavimento hasta en un 64% [7]. De manera similar, King y May (2003), mediante el análisis de una estructura de pavimento con dos capas de mezcla asfáltica en caliente de 4 pulgadas sobre una base de agregados de 6 pulgadas y dos rigideces de subrasante, informaron que con solo un 10% de pérdida de adherencia se esperaría una reducción del 50% en la vida útil a la fatiga [8]. Además de la reducción en la capacidad de soporte de carga, también disminuye la calidad de servicio de la carretera, lo que afecta la seguridad de los usuarios y aumenta los costos de operación vehicular.

2.2 Factores que influyen en la adherencia entre capas de concreto asfáltico

La adherencia entre capas asfálticas es influenciada por las fuerzas que actúan en la interfaz: fuerzas químicas y fuerzas mecánicas de entrelazado. Las fuerzas químicas son desarrolladas por el riego de liga debido a la composición fisicoquímica del cemento asfáltico presente en los riegos. Estas fuerzas están influenciadas por factores como la viscosidad, dosificación, tiempo de curado y susceptibilidad a la temperatura. Por otro lado, las fuerzas mecánicas de entrelazado se desarrollan a partir de la rugosidad de las superficies involucradas en la unión, esta rugosidad depende de la distribución granulométrica de las mezclas usadas en la capa inferior y superior de las carpetas asfálticas, y se relaciona con el porcentaje de vacíos de aire de la mezcla asfáltica

Santagata et al. (2008) evaluaron la influencia del contenido de vacíos de aire de dos capas de concreto asfáltico en contacto, respecto a la rugosidad de la superficie de la interfaz y, por ende, en la resistencia al corte de esta. El estudio mostró que un aumento en el porcentaje de vacíos de aire en la capa inferior incrementa la rugosidad de la superficie debido a que los agregados de la mezcla están más espaciados, lo que aumenta la macrotextura (MAC) de la misma. En consecuencia, el entrelazado de los agregados mejora, aumentando la resistencia al corte en la interfaz.

Sin embargo, cuando el porcentaje de vacíos de aire aumenta en la mezcla de la capa superior, el comportamiento de la adherencia es diferente, ya que los puntos de contacto entre la capa superior e inferior disminuyen, como se percibe en la Figura 2 [9]. De igual forma, Chen y Huang (2010), Raposeiras (2013) y Song et al. (2017) afirman que la rugosidad de la superficie, y por ende la granulometría de la mezcla de soporte y la mezcla de la capa superior, juegan un papel importante en el comportamiento al corte de los pavimentos [10, 5, 11].

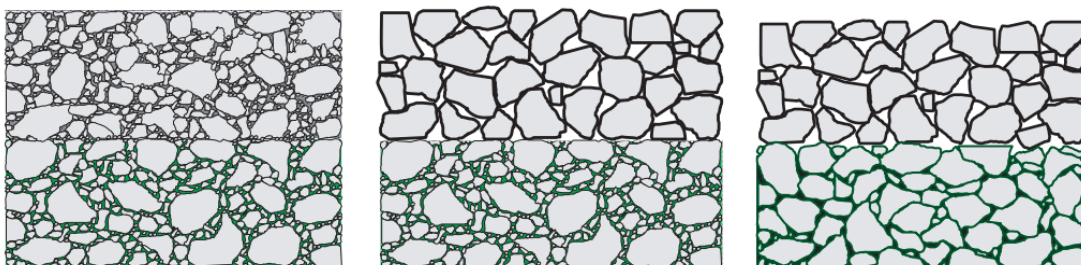


Figura 2. Tres tipos de superficie de capa intermedia [10]

En cuanto al tipo de riego de liga, el de mayor uso a nivel mundial es la emulsión asfáltica, la cual se clasifica en aniónica y catiónica, y puede ser de rompimiento lento, medio y rápido. La selección del tipo



y dosificación del riego de liga debe basarse en las necesidades específicas de cada proyecto y en las condiciones de aplicación, tales como el clima predominante del sitio, el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica de la capa a instalar (en caliente, tibio o en frío), el nivel de tránsito y el estado de la superficie de la capa de rodadura existente (nueva, fresada, sucia, húmeda), entre otros factores [12, 13, 14]

3 Metodología

3.1 Materiales

3.1.1 Mezclas asfálticas

En esta investigación se emplearon dos tipos de mezclas asfálticas: una mezcla tipo *Open Graded Friction Course* (OGFC) y una mezcla densa tibia (WMA). La mezcla OGFC fue diseñada y fabricada en laboratorio de acuerdo con el Protocolo AMAAC para mezclas abiertas en caliente. Se utilizó un cemento asfáltico convencional con grado PG 64-22 y, como agente estabilizador para evitar el escurrimiento del cemento asfáltico, se empleó una fibra celulosa en forma de pellets. La mezcla WMA fue diseñada de acuerdo con las recomendaciones de las Normas de Construcción de la Administración Pública de la Ciudad de México y fue elaborada con un cemento asfáltico modificado con grado PG 70-22. Ambas mezclas emplean un agregado pétreo de origen basáltico con un tamaño máximo de 19 mm (3/4 in). La Figura 3 presenta las curvas granulométricas de las mezclas.

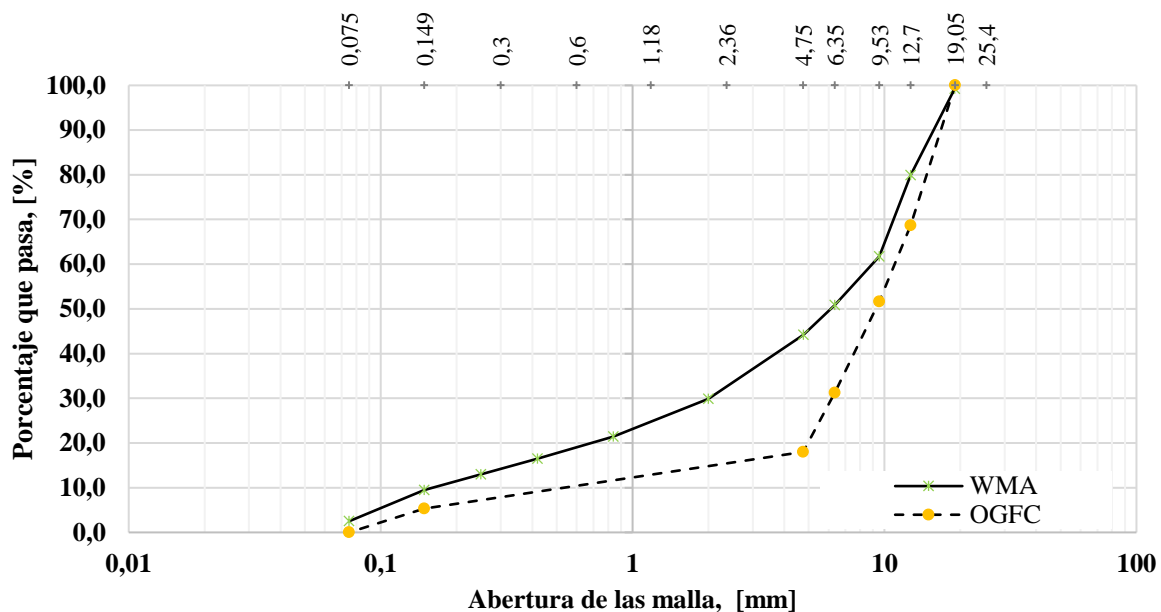


Figura 3. Curva granulométrica mezcla asfáltica WMA y OGFC

En la Tabla 1 se presenta las características principales de fabricación de las mezclas asfálticas empleadas en la investigación.

Tabla 1. Características de las mezclas asfálticas

Parámetro	Característica	
	WMA	OGFC
Vacíos de aire, [%]	4 - 5	15 - 20
Contenido óptimo de cemento asfáltico, [%]	6.0	5.0
Rango de temperatura de mezclado recomendado, [°C]	100 - 140	140 - 155



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

3.1.2 Emulsiones asfálticas

Se utilizaron tres emulsiones asfálticas catiónicas de rompimiento rápido de tres tipos: Tipo 1 convencional con 65% de cemento asfáltico residual (ECR65); Tipo 2, modificada con polímero y 65% de cemento asfáltico residual (ECR65P); y Tipo 3, termoadherente, modificada con polímero y 45% de cemento asfáltico residual (ECR45P). En la Tabla 2 se presenta la caracterización de las emulsiones asfálticas usadas en la investigación, suministrada por el proveedor de las emulsiones.

Tabla 2. Caracterización emulsiones asfálticas

Tipo de emulsión	ECR45P	ECR6590	ECR65P
<i>Pruebas a la emulsión</i>			
Contenido cemento asfáltico, [%]	51.4	65.4	65.3
Retenido malla No. 20, [%]	0.000	0.013	0.009
Viscosidad Saybolt 50°C, [SSF]	11.0	294.0	85.0
Densidad @25 °C, [gr/l]	1014.82	1008.84	1007.57
<i>Tamaño de partícula, micras (por difracción láser)</i>			
D (v, 0.1)	2.0434	3.3897	1.4931
D (v, 0.5)	3.8816	5.3172	2.5250
D (v, 0.9)	6.3825	7.7913	4.5882
Promedio	4.0813	5.4885	2.8231
Spam	1.1179	0.8278	1.2258

Las dosificaciones de emulsión asfáltica utilizadas en este trabajo fueron de 0.14, 0.18 y 0.25 l/m². La selección de estos valores se realizó de acuerdo con las recomendaciones del Instituto del Asfalto, de la *Federal Highway Administration* (FHWA) y la Asociación Mexicana del Asfalto A.C. (AMAAC) [12, 15, 16].

3.2 Fabricación de especímenes

Se fabricaron 10 placas de concreto asfáltico de 300 mm de ancho, 400 mm de largo y una altura de 100 mm. Las placas estuvieron conformadas por dos capas de mezcla asfáltica, cada una de 50 mm de altura, unidas por el riego de liga. Las placas asfálticas se compactaron mediante un compactador de rodillo liso de laboratorio, el cual trabaja con una presión de aire de 8 bares para simular las condiciones de compactación en campo.

El proceso de fabricación de las placas se dividió en dos etapas, en la primera etapa se elaboró la capa inferior de 50 mm de espesor, compactando una mezcla asfáltica densa tibia a una temperatura de 130°C, de acuerdo con la recomendación de la PPMA. Esta capa se dejó enfriar durante un periodo de 24 horas para que el material alcanzara la resistencia necesaria, evitando deformaciones o agrietamientos significativos al momento de colocarle la siguiente capa.

Posteriormente, en la segunda etapa, se aplicó sobre la capa inferior de concreto asfáltico la cantidad de emulsión asfáltica necesaria para cada una de las dosificaciones, utilizando una jeringa. Luego, con una brocha humedecida con la misma emulsión, se homogenizó la emulsión aplicada en la capa. A las tres emulsiones se les dio 1 hora de curado al aire libre. En la

Figura 4 se ilustra el proceso de aplicación de la emulsión asfáltica.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.



Figura 4. Aplicación de emulsión asfáltica

Por último, se compactó la segunda capa de la placa con un espesor de 50 mm, utilizando una mezcla asfáltica densa o abierta, según la combinación de estudio. Las combinaciones fueron: C1 (Densa – Densa), como se muestra en la Figura 5a; y C2 (Abierta – Densa), como se muestra en la Figura 5b.



Figura 5. A) C. Densa – Densa, b) C2 Abierta - Densa

Una vez fabricadas las placas de cada combinación en estudio, se dejaron reposar 5 días al aire libre para que el riego de liga desarrollara completamente sus propiedades adhesivas. Luego, de cada placa se extrajeron 6 núcleos cilíndricos con un diámetro de 101.6 mm y altura final de 10 mm, obteniendo así un total de 60 especímenes de prueba.

Antes de realizar la prueba de corte directo, los especímenes se secaron en el horno durante 3 días a 30°C, con el objetivo de eliminar la humedad adquirida durante el proceso de extracción.

3.3 Prueba de corte

Para la ejecución de la prueba, los especímenes se sometieron a un acondicionamiento térmico durante un mínimo de 3 horas a $20 \pm 1^\circ\text{C}$, según las especificaciones de la norma NLT-382/08 [17]. El acondicionamiento y el procedimiento de prueba de corte se realizaron en un cuarto aislado, seco, sin acceso de luz solar y a temperatura controlada.

La Figura 6 muestra el procedimiento de la prueba de corte directo LCB. El proceso se inició marcando una ubicación aproximada de la interfaz y colocando el espécimen de prueba dentro de la mordaza cilíndrica de 101.6 mm diámetro. Luego, se ajustaron los tornillos de la mordaza, asegurándose de que la interfaz quedara 5 mm afuera del borde externo de la mordaza.

Posteriormente, se acomodó el conjunto de la prueba en el equipo de carga en el marco de carga servo hidráulico (MTS “Material Testing System”), instrumentado y con capacidad de aplicar cargas de hasta 5.0 ton. Se niveló la mordaza y se ajustó el pistón de carga. Durante la ejecución de cada prueba, se aplicó a los



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

especímenes una fuerza de corte de tal forma que se produjera una deformación en la interfaz de las capas a una velocidad de 2.5 mm/min. Se registraron gráficamente la carga y la deformación en las distintas etapas de la prueba, hasta llegar a la falla. Una vez que el espécimen falló, se retiró del dispositivo y se separó en dos partes para realizar un registro fotográfico de la interfaz y analizar los puntos de contacto en las combinaciones de estudio.

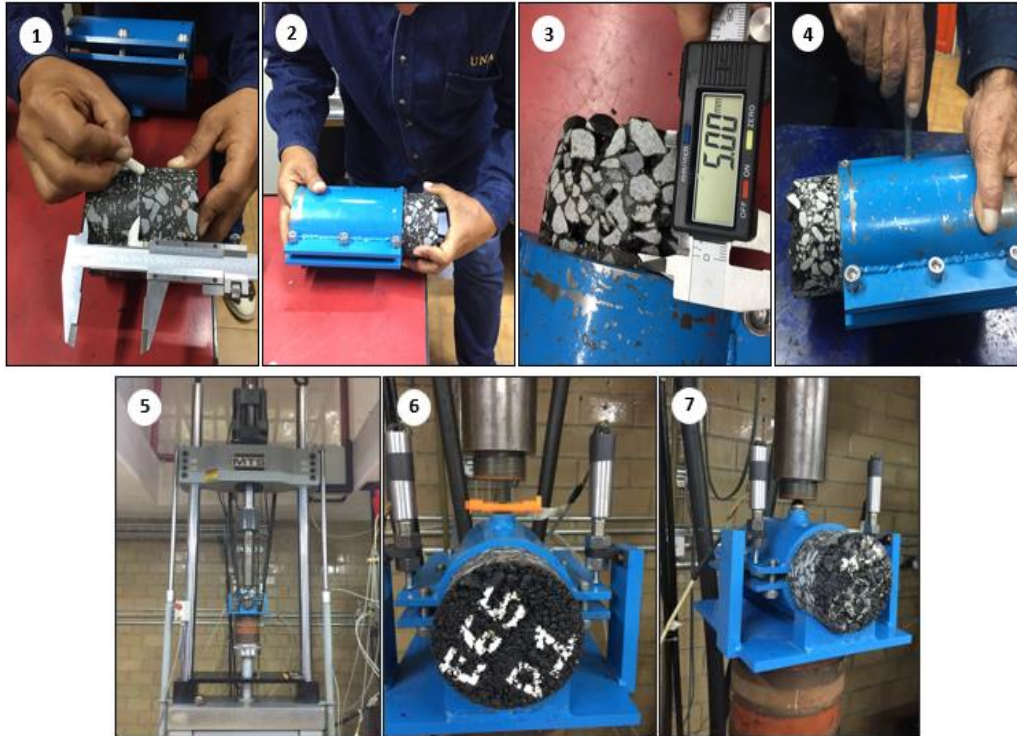


Figura 6. Prueba de corte Laboratorio de Caminos de Barcelona LCB

4 Resultados y discusión

4.1 Influencia del tipo y dosificación del riego de liga

Como parte de los resultados obtenidos, la Tabla 3 muestra los rangos de dosificación recomendados de cada emulsión para la combinación C1 (densa – densa). Las tres emulsiones alcanzaron su resistencia máxima al corte con una dosificación entre 0.14 – 0.18 l/m² de cemento asfáltico residual. En términos generales, se observa que el riego de liga proporciona un aumento en la resistencia al corte entre 15 y 20 % respecto al valor de referencia, es decir, la interfaz sin riego de liga.

Esto se debe a que en la interfaz de la combinación C1, actúan las dos componentes de la fuerza de adherencia; las fuerzas mecánicas de entrelazado y las fuerzas químicas. Al agregar el riego de liga, las fuerzas químicas se incrementan debido a la propiedad adhesiva del cemento asfáltico residual, lo cual mejora la adherencia en las superficies de contacto.

Además, cuando se utiliza riego de liga en la interfaz, los vacíos en la superficie de la capa inferior son rellenados por el riego, aumentando los puntos de contacto entre las superficies de la interfaz y, por ende, mejorando la adherencia. Sin embargo, aplicar un riego de liga en exceso, en lugar de incrementar la resistencia al corte, genera una película gruesa que disminuye el entrelazado de los agregados y la fricción en las superficies de contacto. Esto debilita las fuerzas de unión en la interfaz al introducir un plano de deslizamiento. Estas deducciones son consistentes con lo observado en las investigaciones de Mohammad



et al. (2002), Hasiba K. (2012), Chen y Huang (2012), Ghaly *et al.* (2014), y Berenguer *et al.* (2019) [18, 19, 10, 20, 21].

Tabla 3. Rango óptimo de dosificación de cemento asfáltico residual - C1. Densa - Densa

Tipo de emulsión	Rango de dosificación de cemento asfáltico residual	Resistencia al corte
[-]	[l/m ²]	τ [MPa]
ECR6590	0.14 – 0.18	0.696
ECR65P	0.14 – 0.18	0.695
ECR45P	0.14 – 0.18	0.737

En la Figura 7 se presentan las curvas de resistencia al corte promedio para las tres emulsiones utilizadas (ECR6590, ECR65P, ECR45P) en el conjunto de prueba densa - densa. Se observa que el tipo de riego de liga no tiene una influencia significativa en la adherencia entre las capas de concreto asfáltico, dado que el incremento de la resistencia al corte promedio no es mayor al 5% entre las tres emulsiones. Cabe resaltar que la emulsión ECR45P, presenta un comportamiento al corte ligeramente superior que las otras dos emulsiones. Sin embargo, concluir que una emulsión es mejor que otra cuando se someten a condiciones estandarizadas de laboratorio, como temperatura, superficies de contacto, tiempo de curado, entre otros factores, es erróneo, ya que en el laboratorio no se desarrollan completamente las características adhesivas de cada emulsión.

Es importante mencionar que cada emulsión tiene condiciones inherentes de instalación en campo, diseñadas para favorecer el aumento de la adherencia en la interfaz. Por ejemplo, la emulsión ECR65P requiere un equipo de instalación especial que, seguido de la aplicación del riego de liga, instala la capa superior de mezcla asfáltica, permitiendo que el curado de la emulsión se realice mediante la temperatura de la capa superior. Además, se recomienda que esta emulsión sea instalada a temperaturas de 50 – 70 °C para facilitar la aplicación mediante aspersión, evitando la obstrucción de las boquillas del camión, cambiándolo que podría alterar la dosificación y uniformidad del riego.

Por otra parte, la emulsión ECR45P es una emulsión termo-adherente diseñada para reducir el daño en el riego debido a la adherencia en las llantas de los vehículos durante la construcción. Esta emulsión requiere el uso una mezcla asfáltica en caliente en las capas superpuestas, ya que sus propiedades adhesivas se activan a temperaturas superiores a 140°C. Además, es una emulsión que no requiere calentamiento previo, lo que significa que puede instalarse a temperatura ambiente.

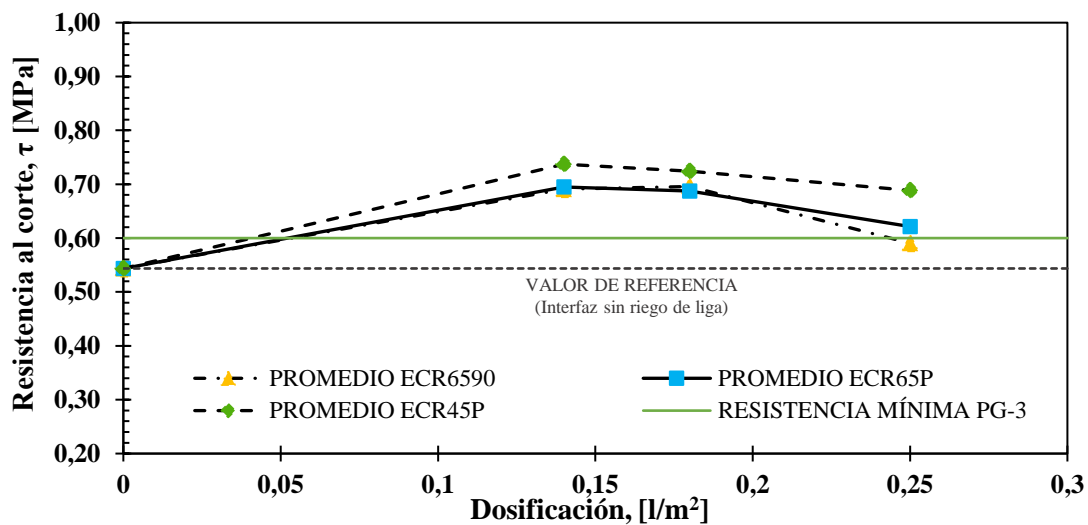


Figura 7. Resistencia al corte promedio de todas las emulsiones – C1 Densa – Densa



La Tabla 4 muestra los rangos de dosificación recomendados de cada emulsión para la combinación C2 (abierta – densa). El comportamiento de la dosificación del riego de liga es similar al observado en el conjunto de especímenes de concreto asfáltico denso–denso. Se obtiene un rango de dosificación óptima en el que se desarrolla la máxima fuerza de unión en la interfaz. Sin embargo, a dosificaciones mayores a este rango, la adherencia empieza a disminuir, ya que el exceso de riego actúa como un lubricante y no como un adherente.

En general, la presencia de la emulsión en la interfaz incrementa la resistencia al corte aproximadamente un 100% respecto a los especímenes que no tienen riego de liga. Esto se debe a que la contribución de las fuerzas mecánicas a la adherencia en una interfaz Abierta-Densa disminuye. Estas fuerzas provienen del entrelazado del agregado pétreo de las dos capas asfálticas al entrar en contacto. La mezcla OGFC, al tener un agregado predominantemente grueso, no penetra en los vacíos de la superficie de la mezcla densa. Por tanto, en este tipo de interfaz predominan las fuerzas químicas, proporcionadas por el cemento asfáltico presente en los riegos de liga.

Tabla 4. Rango óptimo de dosificación de cemento asfáltico residual - C2 Abierta - Densa

Tipo de emulsión [-]	Rango de dosificación de cemento asfáltico residual [l/m ²]	Resistencia al corte τ [MPa]
ECR6590	0.32 – 0.40	0.089
ECR65P	0.18 – 0.32	0.076
ECR45P	0.18 – 0.32	0.067

La Figura 8 presenta las resistencias al corte promedio de las tres emulsiones utilizadas para la combinación C2. Se observa que, cuando se tiene una interfaz de concreto asfáltico tipo OGFC y una capa densa, las emulsiones modificadas con polímeros (ECR65P y ECR45P) desarrollan su resistencia máxima a dosificaciones menores (0.18 – 0.32 l/m²) en comparación con la emulsión convencional (ECR6590), que lo hace a dosificaciones de 0.32 – 0.40 l/m². Sin embargo, la emulsión convencional moviliza una resistencia al corte ligeramente mayor que las otras dos emulsiones. A diferencia de la combinación C1, este tipo de interfaz requiere mayor riego de liga, debido al incremento cualitativo observado en la macrotextura de la capa superior. Es importante resaltar que, al igual que en la combinación C1, estas emulsiones pueden incrementar la resistencia al corte en campo, dadas las características particulares de instalación de cada emulsión.

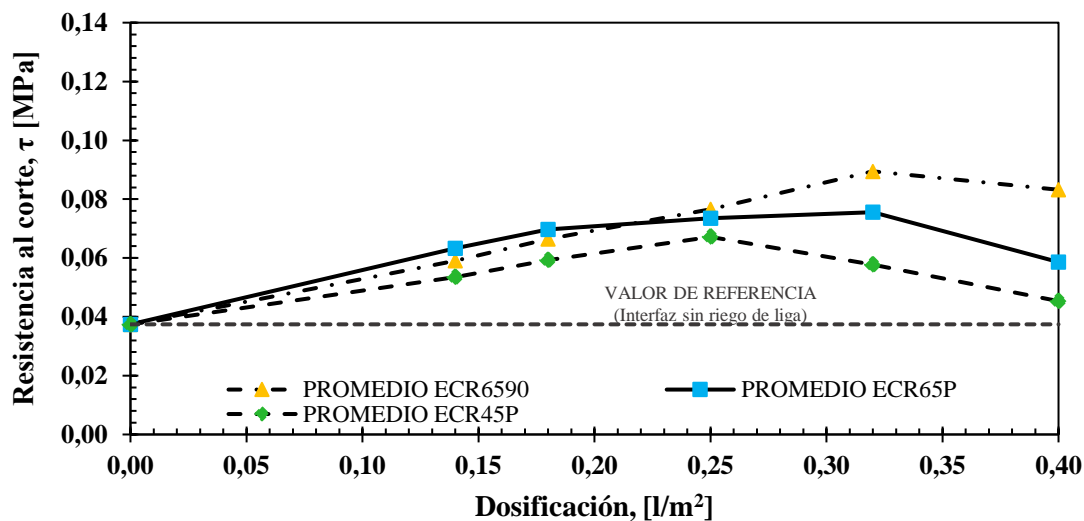


Figura 8. Resistencia al corte promedio de todas las emulsiones – C2 Abierta – Densa



4.2 Influencia de la granulometría de la mezcla asfáltica superior

En la Figura 9 se muestra la resistencia al corte promedio para las dos combinaciones, las tres emulsiones y las dosificaciones de estudio. Se observa que, de los tres factores evaluados, el tipo de granulometría de la mezcla asfáltica superior tiene mayor relevancia en la adherencia de la interfaz entre capas de concreto asfáltico. La resistencia al corte disminuyó aproximadamente de 0.7 MPa en la combinación C1 a alrededor de 0.08 MPa en la combinación C2, lo que representa una reducción del 90% en la adherencia de los especímenes ensayados para C2 (abierta – densa). Esta reducción se debe al aumento de las áreas de no contacto en la interfaz de la combinación C2.

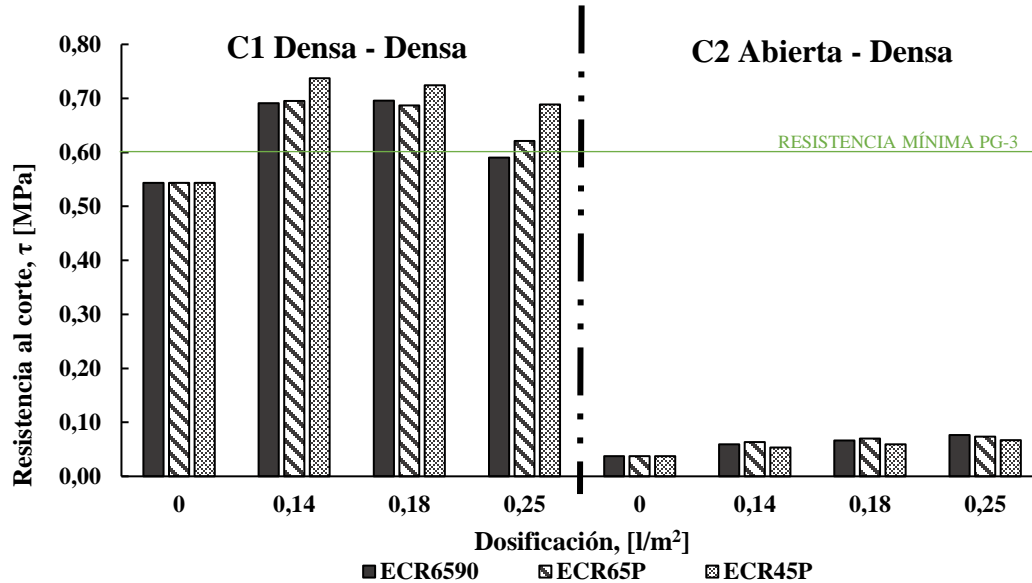


Figura 9. Valores medios de resistencia al esfuerzo cortante para los conjuntos C1 y C2

Lo anterior se justifica mediante el análisis de la interfaz de los especímenes ensayados. Este análisis se realizó mediante el proceso de binarización de imágenes, que consiste en separar regiones de interés en una fotografía. Se resaltaron las áreas de no contacto en la interfaz, Figura 10, las cuales son originadas por la cantidad de vacíos de aire en la mezcla asfáltica compactada. La mezcla OGFC presenta un alto contenido de vacíos de aire, como se muestra en la Figura 10a, donde las áreas de no contacto resultan ser significativas en relación con la superficie de la sección transversal del espécimen. Por tanto, se debilita la resistencia al corte de la interfaz, ya que los puntos de contacto entre la capa superior e inferior disminuyen. Estas observaciones son concordantes con los estudios realizados por Santagata *et al.* (2008), Chen y Huang (2010) y Berenguer *et al.* (2019) [9, 10, 21].

Cuando la capa superior e inferior se construyen con mezclas densas, la adherencia en la interfaz es mayor debido a los numerosos puntos de contacto entre las superficies de la capa intermedia. Esto se observa en la Figura 10b, donde las áreas de no contacto son mínimas respecto a la superficie de la sección transversal del espécimen.

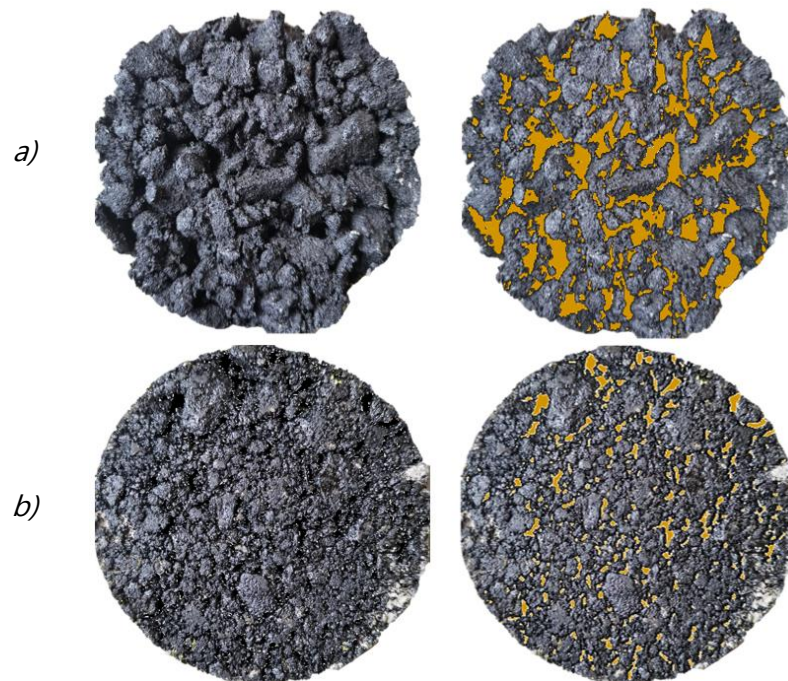


Figura 10. Áreas de no contacto en la interfaz. a) OGFC b) Densa.

5 Conclusiones

La adherencia entre dos capas asfálticas cambia significativamente en función de la granulometría de la mezcla asfáltica de la capa superior. La presencia de una capa superior de mayor porosidad (abierta) en contacto con una de baja porosidad (densa) causa una reducción del 90% en la adherencia entre ambas capas, en comparación con una condición donde tanto la capa inferior como la superior son densas, debido a una menor área de contacto entre ellas.

Los resultados de resistencia al corte promedio de la interfaz obtenidos para el conjunto de especímenes densa–densa fueron superiores a 0.6 MPa cuando se aplica riego de liga en la interfaz. En contraparte, los resultados de resistencia al corte de la interfaz obtenidos para el conjunto de especímenes abierta–densa fueron en promedio 0.08 MPa. Esta reducción es a causa del aumento de las áreas de no contacto en la interfaz de la combinación C2.

Se observó que la presencia del riego de liga incrementó la adherencia entre las capas de concreto asfáltico. Para capas asfálticas construidas con mezclas densas, el incremento fue entre el 15 y 20%, respecto a la interfaz de referencia. En cuanto a las capas asfálticas construidas con mezclas OGFC como capa de rodadura, el incremento llega a ser mayor al 100% respecto con las capas que no tiene riego de liga. No obstante, el riego de liga debe aplicarse en las dosificaciones correctas, ya que una cantidad insuficiente reduce la resistencia, y un exceso de riego facilita el deslizamiento entre capas.

Los valores máximos de resistencia al corte para capas asfálticas densa–densa están dentro del rango de dosificación 0.14 y 0.18 l/m² de cemento asfáltico residual para las tres emulsiones estudiadas. Mientras que para las capas asfálticas abierta–densa, las emulsiones ECR65P y ECR45P desarrollan su resistencia máxima dentro del rango de dosificación 0.18 – 0.32 l/m², y la emulsión ECR6590 en el rango de 0.32 – 0.40 l/m². Esto se debe al cambio de macrotextura en la interfaz: la combinación abierta – densa requiere mayor riego de liga para que desarrolle su resistencia máxima debido a la mayor macrotextura en la capa superior.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

Se concluyó que el tipo de riego de liga no tiene influencia significativa en la resistencia al corte final. Sin embargo, es importante resaltar que las emulsiones asfálticas estudiadas cuentan con características inherentes de instalación en campo que contribuyen a mejorar la adherencia en la interfaz, por lo que, en laboratorio bajo condiciones estandarizadas no están alcanzando completamente la resistencia al corte que pueden llegar a tener en campo.

6 Referencias

- [1] Asociación Mexicana del Asfalto A.C, AMAAC (2016) *Protocolo AMAAC PA-CR 04/2016 – Diseño, fabricación y colocación de mezclas para capas de rodadura elaboradas en caliente*. México.
- [2] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT; Instituto Mexicano del Transporte, IMT; (2005) *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas*. Publicación Técnica No 267, México.
- [3] Tschegg, E. K., Kroyer, G. Tan, D., Stanzl-Tschegg, S., and Litzka, J. (1995). “Investigation of bonding between asphalt layers on road construction” *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 121, N° 4.
- [4] Raposeiras A. C. (2013) “*Analysis Of Tack Coats In Bituminous Pavements: Influence Of Macro-Texture On Optimal Binder Dosage And Development Of A New Method To Control The Amount Applied*” [Tesis de doctorado, Universidad De Cantabria].
- [5] Uzan J., Livneh M., and Eshed Y. (1978) “Investigation of Adhesion Properties Between Asphaltic Concrete Layers” *Asphalt Paving Technology*, Vol. 47, pp. 495–521.
- [6] Shahin M. Y., Blackmon E. W., Van Dam T., Kirchner K. (1987) “Consequence of Layer Separation on Pavement Performance” Report DOT/ FAA/ PM-86/48. Federal Aviation Administration
- [7] Zulkifili N. and Sutanto M. (2018) “The Influence of Bonding between Layers on Pavement Performance, a Case Study of Malaysian Road” *E3S Web of Conferences*. 65. 09002.
- [8] Federal Highway Administration (2016). “Tack Coat Best Practices, Publication No. FHWA-HIF-16-017”. U.S. Department of Transportation.
- [9] Santagata F., Partl M.N., Ferrotti G., Canestrari F., Flisch A. (2008) “Layer characteristics affecting interlayer shear resistance in flexible pavements.” *J. Assoc. Asph. Pav. Tech.* 77, 221–256.
- [10] Chen J., & Huang, C. (2010). “Effect of Surface Characteristics on Bonding Properties of Bituminous Tack Coat.” *Transportation Research Record*, 2180(1), 142–149.
- [11] Song W., Shu X., Huang B., Woods M. (2017) “Influence of Interface Characteristics on the Shear Performance between Open-Graded Friction Course and Underlying Layer” *Journal of Materials in Civil Engineering* 29(8):04017077.
- [12] Mohammad L., Elseifi M., Bae A., Patel N., Button J., and Scherocman J. (2012). *NCHRP Report 712: Optimization of Tack Coat for HMA Placement*. Transportation Research Board of the National Academies, Project 9-40. Washington D.C., EEUU.
- [13] Asphalt Institute. (2015). *Tackling tack coats*. Asphalt Magazine Vol. 30 No.2, Washington D.C., EEUU.
- [14] Andaluz D., Felipe J., Peña J.L., García J.L., Miró R., Martínez F.A., and Lucas F.J. (2019). *Buenas prácticas en la ejecución de riegos de adherencia*. Congreso Iberoamericano del Asfalto CILA, México.
- [15] Federal Highway Administration (2016). *Tack Coat Best Practices*. Publication No. FHWA-HIF-16-017. U.S. Department of Transportation. Washington D.C., EEUU.
- [16] Asociación Mexicana del Asfalto A.C, AMAAC (2012). *Recomendación AMAAC REA 12/2012 – Aplicación de emulsiones asfálticas en riegos de liga*. México.
- [17] NLT-328/08 (2008). *Evaluación de la adherencia entre capas de firme, mediante ensayo de corte*. CEDEX, 1ª edn, España.
- [18] Mohammad, L.N., Raqib, M.A. and Huang, B. (2002). *Influence of asphalt tack coat materials on interface shear strength*. Louisiana, EEUU.
- [19] Hasiba K., (2012). *Development of a testing approach for tack coat application rate at pavement layer interfaces*. [Master’s Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign]
- [20] Ghaly N., Ibrahim I. and Noamy E. (2014). *Tack coats for asphalt paving*. *Egyptian Journal of Petroleum* 23, 61-65, Cairo, Egipto.
- [21] Berenguer J., Martinez A., Calvo C., Hernandez P., Gomariz R., García I., and Real T., (2019). *Ensayo de adherencia de capas de firme (NLT-382/08): influencia de la dotación del ligante y la macrotextura*. Congreso ibero latinoamericano del asfalto, México.