

RIEGOS DE ADHERENCIA. MATERIALES Y ENSAYOS DE CONTROL

Rodrigo Miró Recasens

Catedrático de Caminos. Universidad Politécnica de Cataluña

Introducción

En el proyecto de un firme de carretera se supone que las capas asfálticas van a estar totalmente unidas, trabajando de forma solidaria. Para ello, durante su construcción, se procede a la aplicación de un riego de adherencia, un material que se encarga de adherir una capa con la inmediatamente superior, de forma que el comportamiento de todas ellas sea lo más parecido al de un elemento único. Sin embargo, la experiencia ha puesto de manifiesto que esta unión no siempre se consigue, ocasionando deterioros y fallos prematuros en el firme.

A pesar de ello, durante la fase de construcción, esta propiedad apenas se controla. A lo sumo, existe un control sobre el proceso seguido en la ejecución del riego, pero no se verifica la calidad final conseguida en la adherencia de las capas, que es lo que en realidad se debería medir. La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de cómo se haya realizado el riego, de que la dotación sea la apropiada, de que se haya adherido bien a la capa inferior, o de que el tráfico de obra no lo haya levantado, sino también de cómo se ha ejecutado la nueva capa, si han quedado coqueras en su parte inferior, de la compactación de la capa en su parte inferior, de la calidad del mástico de la nueva capa, etc. Por ello, es muy adecuado controlar y comprobar la adherencia final conseguida y no depositar todo el control de una unidad de obra tan importante en la mera inspección visual del riego efectuado y el control de la dotación del mismo.

Para evaluar el grado de adherencia entre dos capas asfálticas se han desarrollado fundamentalmente dos tipologías de ensayo: de tracción y de corte, el primero de cierta complejidad y por tanto de difícil aplicación en el control de las capas ejecutadas. Además, la diversidad de métodos de ensayo existentes pone de manifiesto que no existe un claro procedimiento usado por la mayoría de investigadores.

Por ello, el Laboratorio de Caminos del Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio de la Universidad Politécnica de Cataluña ha desarrollado un nuevo ensayo de corte, de ejecución muy sencilla, capaz de medir la resistencia a las tensiones tangenciales provocadas por la aplicación de una fuerza cortante sobre la unión de dos capas. Este ensayo permitiría tanto el control de la calidad alcanzada en obra mediante la rotura de testigos, como la evaluación del efecto de diferentes riegos de adherencia mediante la rotura de probetas fabricadas en el laboratorio.

Evaluación de la adherencia entre capas

Los procedimientos de ensayo que se han venido utilizando para evaluar la calidad o el comportamiento mecánico de los riegos de adherencia pueden agruparse en dos grandes grupos: de tracción y de corte.

Ensayos de tracción

Dentro de los primeros, los ensayos de tracción directa, como el *Endacma* desarrollado por Intecasa, presentan el inconveniente de tener que ajustar o pegar unas mordazas directamente sobre la mezcla que constituye cada una de las capas, aunque algunos de ellos como el *Schenck-Trebel Test*, utilizado por Litzka et al. [1] en Austria, pueden ser aplicado directamente sobre el pavimento. En cualquier caso es difícil realizar correctamente el ensayo sin que se produzcan excéntricidades que falseen el resultado. Esto puede evitarse si en lugar de aplicar una tracción directa se aplica una tracción indirecta. En este último grupo se encuentra el Ensayo de la Cuña de Separación o “*Wedge Splitting Test*”, desarrollado por E. K. Tschegg et al [2, 3], que permite obtener una curva carga-desplazamiento a partir de la fuerza transmitida a una probeta bicapa por medio de una cuña aplicada en la interfase hasta completarse la separación de las dos capas causada por la componente horizontal de la fuerza aplicada, Figura 1.

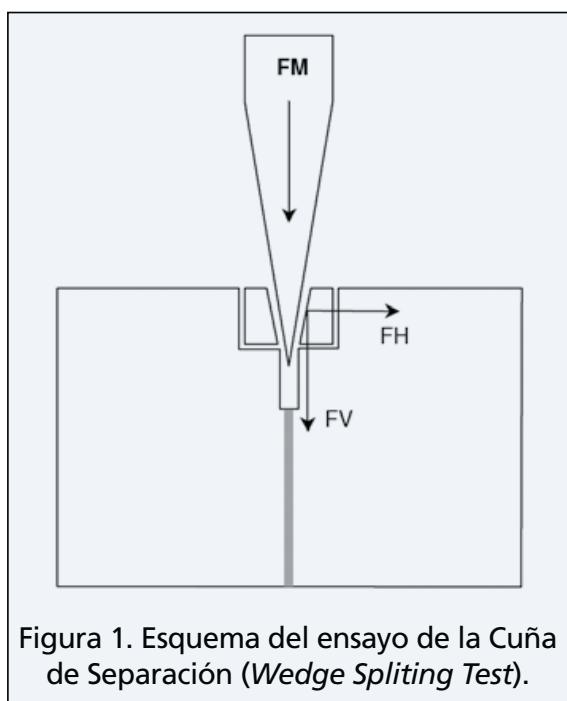
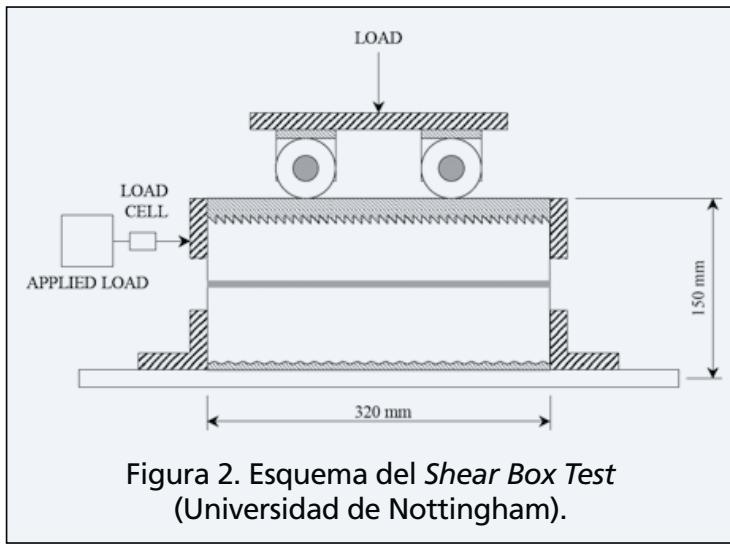


Figura 1. Esquema del ensayo de la Cuña de Separación (*Wedge Splitting Test*).

Mrawira y Yin [4] de la *University of New Brunswick (Fredericton, Canadá)*, indican explícitamente que los ensayos de tracción directa inducen planos de rotura irregulares que rompen la matriz de la mezcla y no necesariamente miden la adherencia proporcionada por el riego. Por ello, recomiendan el ensayo de tracción indirecta (*splitting*), que proporciona una distribución de tensiones más uniforme sobre el plano de rotura.

Ensayos de corte

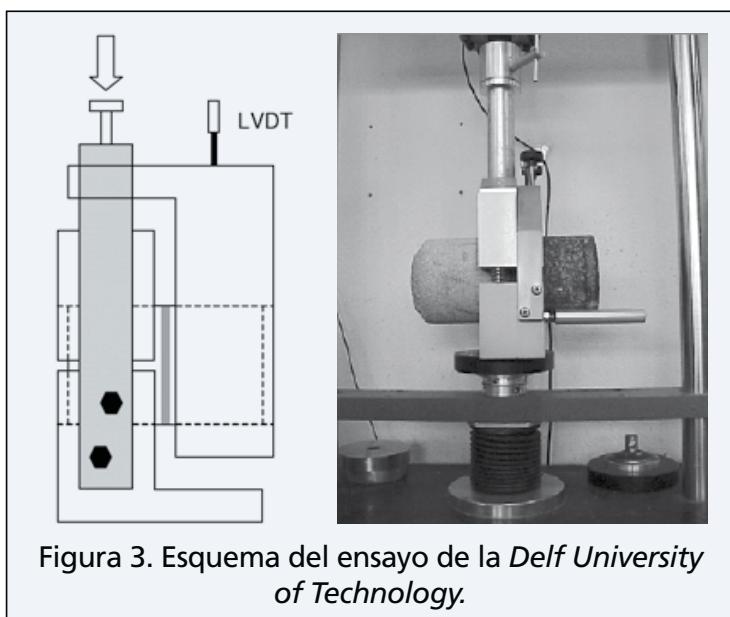
El segundo grupo de ensayos utilizados para la evaluación de la adherencia entre capas lo constituyen los ensayos de corte directo. Entre éstos, un primer tipo aplica una carga vertical, como el desarrollado por Uzan, Livneh y Eshed [5] del Technion I.I.T. (Haifa, Israel): después de fabricar el sistema bicapa en dos moldes prismáticos, fijando el inferior a la mesa de ensa-



ma shear testing research and analysis) de Canestrari y Santagata [8] de la *Università Politecnica delle Marche* (Ancoma, Italia) o el *NCAT Bond Strength Device* (*National Centre for Asphalt Technology, Auburn University*), desarrollado por West et al. [15].

No obstante, el tipo de ensayo de corte más extendido no aplica carga vertical. Probablemente el más utilizado sea el ensayo de corte directo de la *Delft University of Technology* (Netherlands), utilizado por Molenaar [9] y recogido como Borrador de norma alemana *Testing of layered composite according to Leutner* [10], Figura 3.

El ensayo de Leutner ha sido utilizado por diferentes investigadores y/o administraciones, entre los que se destacan las referencias de Collop et al. [11] de la University of Nottingham, que utilizó una adaptación del ensayo de Leutner, Abdo et al [12] del *Laboratoire régional de l'ouest parisien* (LROP), que adaptó el ensayo de corte directo US/Belge, el *Swiss LPDS Tester* utilizado por Roffe & Chaignon [12] y recogido en la Swiss Standard SN 671 961, el *Superpave Shear Tester* (SST), utilizado por Mohammad et al. [13], el *FDOT Bond Strength Device* (*Florida Department of Transportation*), utilizado por Sholar et al. [14], o el *ALDOT Bond Strength Device* (*Alabama Department of Transportation*), utilizado por West et al. [15].



yo, y aplicar la carga vertical, se aplica una fuerza horizontal con una velocidad constante de desplazamiento (2.5 mm/min) sobre el molde superior, 5 mm por encima de la unión de las capas, midiendo la fuerza horizontal y el desplazamiento relativo entre la capa superior y la inferior.

Otros ensayos de este mismo tipo son el *Shear box test* de Caltabiano y Brunton [6] de la Universidad de Nottingham (Figura 2), el *ASTRA interface shear test* (Anco-

MEZCLAS BITUMINOSAS

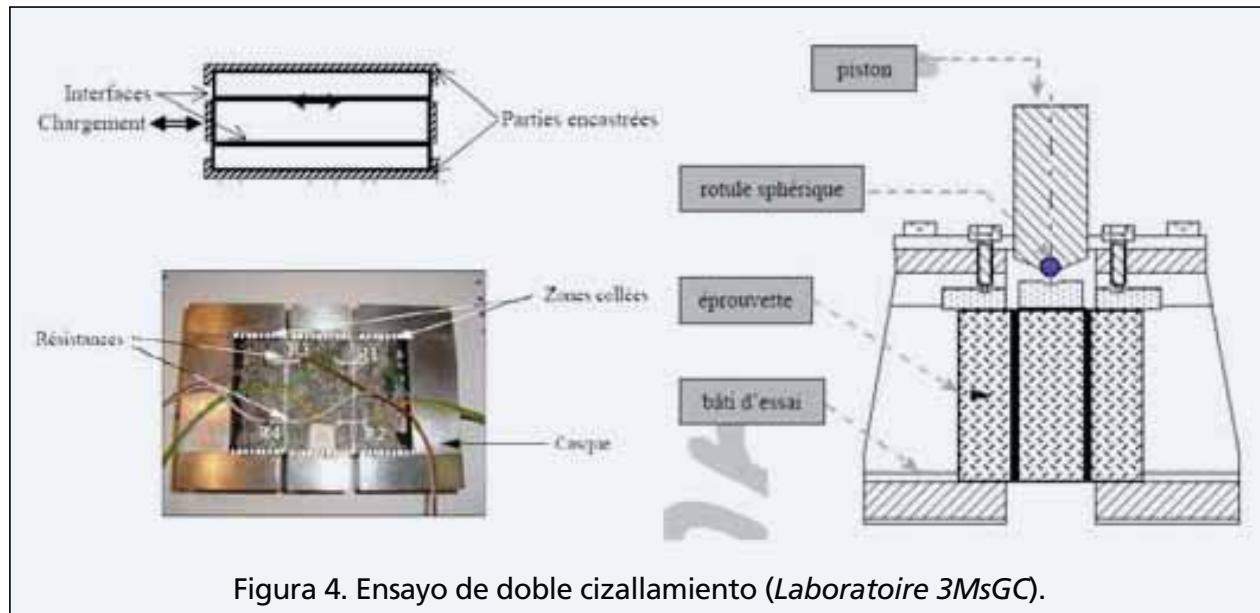


Figura 4. Ensayo de doble cizallamiento (*Laboratoire 3MsGC*).

Existe otro tipo de ensayos de corte directo que permite someter a la interfase a un proceso de fatiga. Entre éstos se destaca el ensayo de doble cizallamiento sobre probetas paralelepípedas, desarrollado por Diakhaté et al. [16] y Millien et al. [17], del *Laboratoire du Mécanique et Modélisation du Matériels et Structures dans Génie Civil (3MsGC)* de l'*Université de Limoges*, Francia (Figura 4) y el citado por Romanoschi y Metcalf [18].

Ensayos de torsión

Cabe mencionar un último grupo de ensayos desarrollado para determinar la resistencia de la unión entre una capa delgada y su soporte. El ensayo consiste en aplicar, a una determinada temperatura, un esfuerzo torsor sobre un plato metálico unido a la superficie de la capa. Este procedimiento denominado Torque Bond Test ha sido incluido como borrador en el *British Board of Agrément* [19] (Khweir and Fordyce [20]).

Ensayo de corte LCB

En base a las anteriores experiencias y con objeto de simplificar al máximo el procedimiento de medida, se ha desarrollado un nuevo ensayo de corte, ensayo de corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona), que pretende medir la resistencia a las tensiones tangenciales, provocadas por la aplicación de una fuerza cortante, que se producen en la unión de dos capas asfálticas, adheridas o no por un riego de adherencia.

El procedimiento de ensayo consiste en provocar, en la superficie de unión de las capas asfálticas a ensayar, un esfuerzo cortante que produzca la separación de ambas capas. Para ello, se convierte la

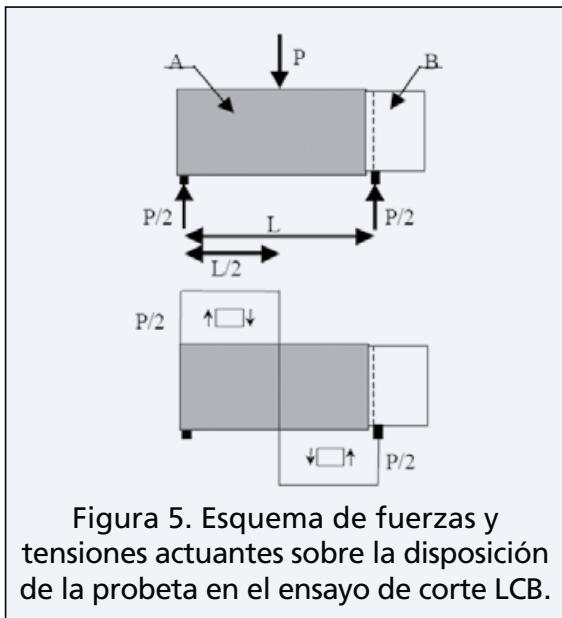


Figura 5. Esquema de fuerzas y tensiones actuantes sobre la disposición de la probeta en el ensayo de corte LCB.

probeta en una viga biapoyada donde, en la sección de ensayo, al estar muy próxima al punto de apoyo, el momento flector es prácticamente nulo y sólo está sometida a esfuerzo cortante. El análisis de fuerzas o tensiones en que se basa el ensayo de corte LCB es el indicado en la Figura 5.

La tensión tangencial o resistencia a cortante de la unión de ambas capas se define como:

$$\tau = (P/2) / S$$

siendo,

τ = Resistencia a cortante, N/mm² o MPa

P = Carga máxima de rotura, N

S = Superficie de la sección transversal, mm²

Elaboración de las probetas

Las probetas fabricadas en laboratorio están formadas por dos capas asfálticas, entre las que se extiende el riego de adherencia a estudiar. Análogamente, se puede estudiar el efecto adherente del riego entre una capa bituminosa sobre una de hormigón o del propio ligante de las mezclas, no extendiendo entonces riego. Este sistema bicapa se prepara dentro de un molde cilíndrico de 177.8 mm de altura y 101.6 mm de diámetro interior, definido en la norma NLT-161/84 “Resistencia a compresión simple de mezclas bituminosas” [21]. La altura total de ambas capas debe ser inferior a la altura del molde.

Las capas asfálticas se compactan por impacto, mediante el aparato Marshall. Una vez compactada la primera capa, de unos 10 cm de espesor, se deja enfriar. Antes de aplicar el riego, la probeta se corta superficialmente, de forma que el riego se aplique sobre una superficie libre de mortero asfáltico, el cual podría mejorar la adherencia entre las capas.

Para proceder al corte, se traslada la probeta en el interior del molde hasta que asoma ligeramente. Entonces se corta y se recoloca en su posición original para que pueda aplicarse el riego y compactarse la siguiente capa.

Cuando la superficie cortada está seca, se extiende la dotación escogida de la emulsión a analizar mediante un pincel y se deja el tiempo suficiente para que la emulsión rompa (y siempre 12 horas como mínimo). El pincel se utiliza únicamente para conseguir una extensión homogénea sobre la superficie de la probeta. Como la dotación se controla por diferencia de peso de la probeta, antes y después de la extensión, la mayor o menor cantidad de emulsión que pudiera quedar adherida al pincel no tiene ninguna influencia. Luego, se vierte la mezcla bitumi-

nosa en caliente y se compacta la que será la capa superior, aplicando 100 golpes en la cara superior. Finalmente, se extruye la capa superior de forma que la junta quede en el exterior del molde, a unos 5 mm de separación.

Ejecución del ensayo

La ejecución del ensayo se lleva a cabo colocando el molde con la probeta en posición horizontal sobre una base con dos puntos de apoyo separados 20 cm; sobre uno de los apoyos se apoya el molde metálico y sobre el otro la capa superior de la probeta de forma que la junta de unión entre las capas quede a 5 mm de distancia y, consecuentemente, el borde del molde quede a 10 mm, Figura 6.

La separación entre la junta y el apoyo deber ser suficientemente grande para absorber la falta de perpendicularidad de la junta respecto al eje que a menudo presentan los testigos que se extraen del firme y, al mismo tiempo, suficientemente pequeña para no introducir un momento flector excesivo durante el ensayo. Esta separación se fijó en 5 mm en base a la experiencia de Uzan, Livneh y Eshed, que en su ensayo de corte directo aplicaban una fuerza horizontal sobre un sistema bicapa constituido por probetas prismáticas, situada a esa distancia por encima de la unión de las capas.

El pistón de la prensa se coloca sobre el molde metálico indeformable, en la parte central del conjunto apoyado, y se aplica una carga a una velocidad de deformación constante de 1.27 mm/min. Se estableció una velocidad lenta de ensayo con objeto de poder apreciar mejor el efecto adherente de diferentes emulsiones, diferencias que apenas podían verse si la velocidad de ensayo era más rápida, especialmente a bajas temperaturas. La velocidad seleccionada por Uzan, Livneh y Eshed fue de 2.5 mm/min; sin embargo este valor no suele estar pre-establecido en las prensas más sencillas, disponibles en la mayoría de los laboratorios de control. No debe olvidarse que uno de los motivos por los que se ha desarrollado el ensayo LCB es precisamente para proporcionar una herramienta de control de la adherencia realmente conseguida entre las capas asfálticas de un firme construido.

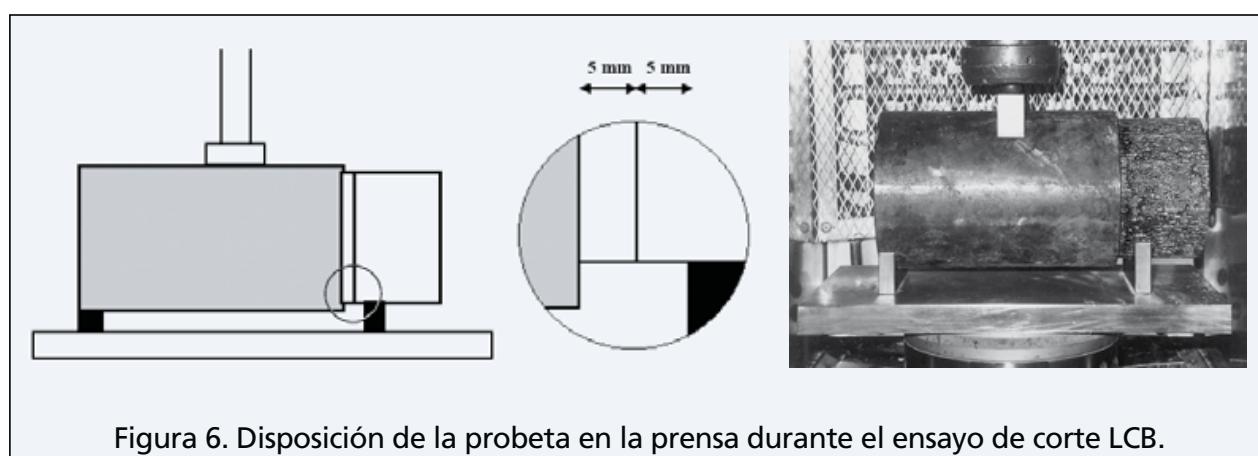


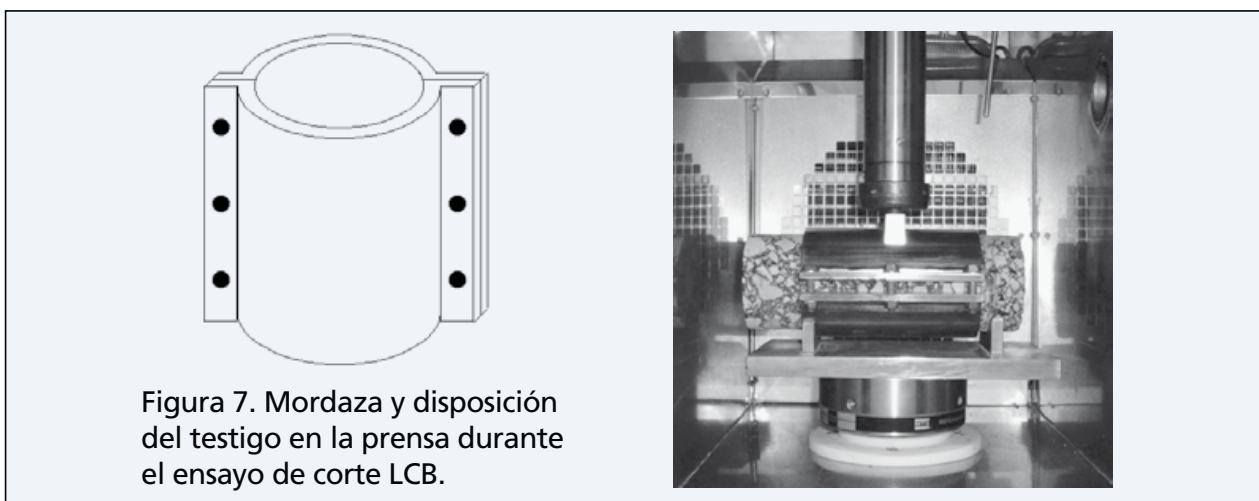
Figura 6. Disposición de la probeta en la prensa durante el ensayo de corte LCB.

Por ello se estableció la velocidad de 1.27 mm/min, suficientemente lenta para nuestros propósitos (del orden de la mitad de la empleada por Uzan et al. [5], 4 veces menor que la del LROP [12] y 50 veces menor que la de Leutner [10]), y, al ser la misma que la del ensayo CBR, ya está fijada por defecto en las prensas más sencillas. Los datos de carga-deformación se recogen mediante un equipo informático adecuado.

Otros parámetros como el módulo secante (la relación entre la tensión máxima y el correspondiente desplazamiento) o la energía específica de fractura (el área bajo la curva carga-desplazamiento dividida por el área de rotura) también pueden obtenerse a partir de este ensayo. Aunque es cierto que estos parámetros también pueden caracterizar la adherencia entre capas, se ha considerado únicamente la tensión pico con objeto de facilitar el uso del ensayo durante el control de calidad y minimizar el efecto de las ocasionales deformaciones de las mezclas que pudieran producirse en las inmediaciones de los apoyos durante el ensayo.

Ensayo de testigos: control de ejecución

El mismo procedimiento de ensayo se puede aplicar sobre testigos obtenidos de obra. Los testigos, que como mínimo estarán formados por dos capas, se introducen en una mordaza cilíndrica, la cual, mediante una serie de tuercas, permite confinarlos en la posición requerida, de forma análoga a las probetas en los moldes, Figura 7.



Variabilidad del ensayo LCB

La variabilidad de los resultados obtenidos mediante el ensayo LCB fue ampliamente estudiada en las etapas previas del desarrollo del ensayo, para una amplia gama de condiciones de ensayo (diferentes tipos de emulsiones, diferentes temperaturas de ensayo, rotura en seco o tras inmersión). La Figura 8 muestra los intervalos de confianza al 95% de los resulta-

MEZCLAS BITUMINOSAS

dos del ensayo para diferentes niveles de resistencia a cortante. Estos intervalos de confianza han sido calculados a partir del valor medio, m , y de la desviación típica, σ ($m \pm 1.96 \sigma$), obtenidos a partir de tres resultados individuales.

Los coeficientes de variación obtenidos son bajos, oscilando entre el 1 y el 9% (sobre tres resultados individuales), pero hay que tener en cuenta que corresponden a ensayos realizados sobre probetas fabricadas en laboratorio, donde la mezcla de la capa superior e inferior es siempre la misma, y por tanto la emulsión que forma el riego de adherencia es la única variable.

Los resultados obtenidos sobre testigos extraídos de diferentes carreteras tienen una mayor dispersión, ya que la mezcla de la capa superior e inferior no es siempre la misma (distinta composición, distinto tipo y contenido de betún, distinta compactación, distinto contenido de huecos, etc). En este caso, los coeficientes de variación oscilan entre el 6 y el 25%, donde el número de resultados individuales para obtener los valores medios oscila entre 2 y 5.

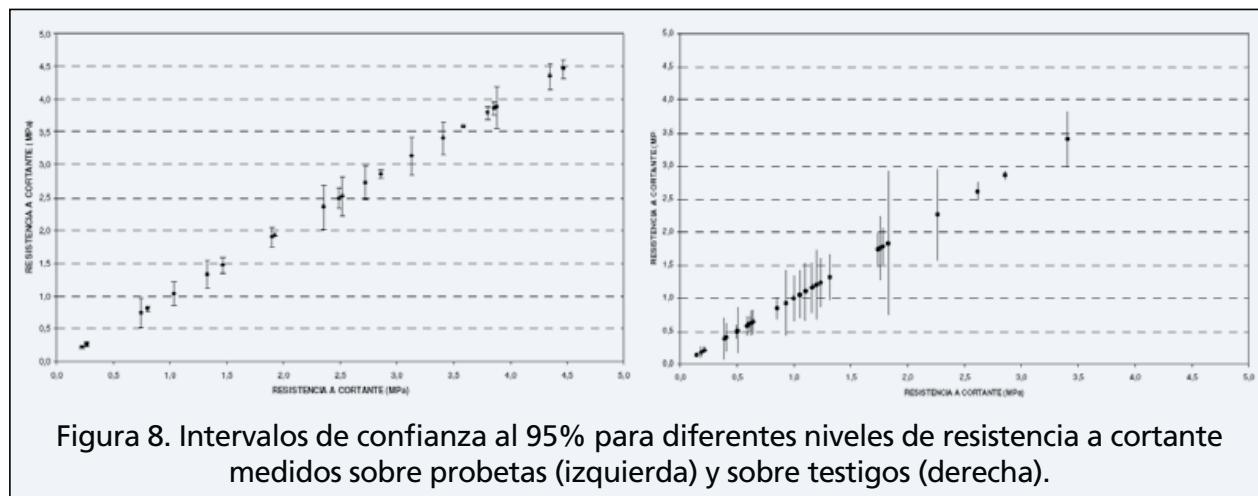


Figura 8. Intervalos de confianza al 95% para diferentes niveles de resistencia a cortante medidos sobre probetas (izquierda) y sobre testigos (derecha).

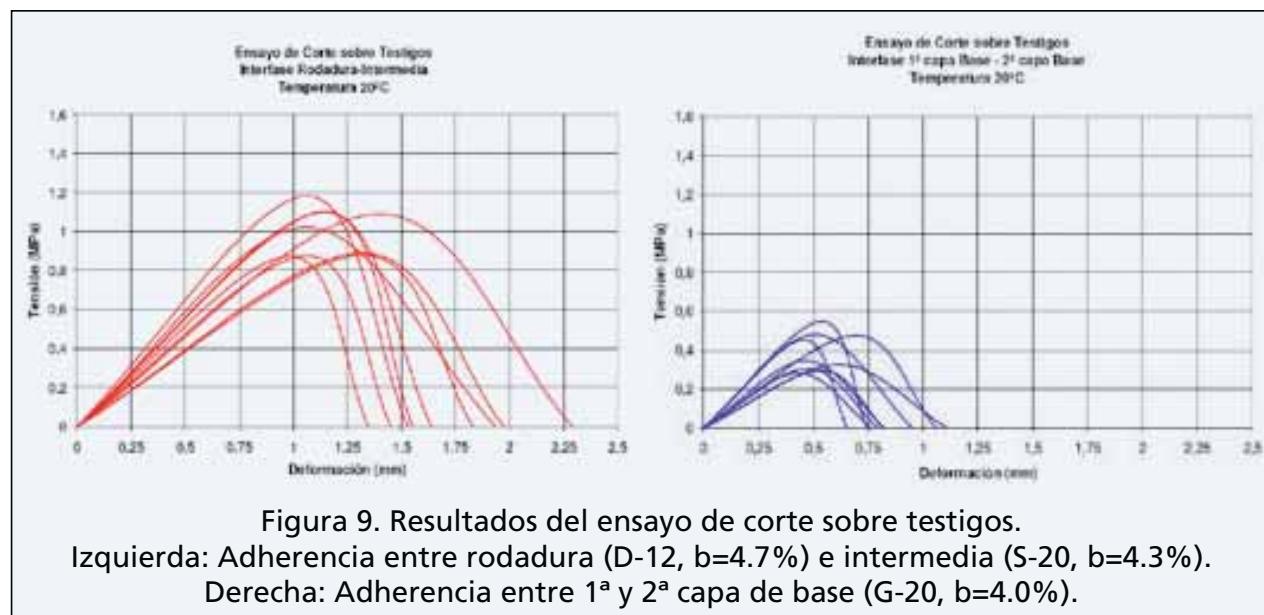
Aplicación del ensayo de corte LCB para la evaluación de la adherencia entre capas proporcionada por diferentes riegos

El estudio de la adherencia entre capas mediante testigos obtenidos de carreteras de nueva construcción o en servicio es, cada vez más, un parámetro importantísimo puesto que se está observando que gran parte de los fallos y deterioros que aparecen en los pavimentos se deben a la falta de una adecuada adherencia entre las capas.

El ensayo de corte LCB permite, de una manera muy sencilla, evaluar la adherencia de las diferentes capas que forman el pavimento de una carretera únicamente mediante el ensayo

de testigos [22, 23, 24, 25, 26, 27]. Además, cabe destacar que se trata de un ensayo no destructivo, es decir, tras ejecutar el ensayo sobre los testigos, se obtienen de manera separada las diferentes capas del firme, permitiendo seguir caracterizando el pavimento mediante otros ensayos (módulos, tracción indirecta, densidad, etc.).

En la Figura 9, a la izquierda, se recogen a modo de ejemplo los resultados de la adherencia entre la capa de rodadura y la intermedia a 20°C obtenidos sobre varios testigos de una misma carretera, y a la derecha, los resultados obtenidos entre la 1^a y la 2^a capa de base para los mismos testigos. Las mezclas que constituyen las capas de rodadura, intermedia y base son D-12, S-20 y G-20 respectivamente, con dotaciones de ligante de 4.7, 4.3 y 4.0%. Se observa como existe una clara diferencia en resistencias entre una interfase y otra. Además, en algún caso, las capas inferiores aparecen ya despegadas.



A continuación se presentan los resultados medios obtenidos al aplicar el ensayo de corte LCB como procedimiento de control para evaluar la adherencia entre diferentes capas asfálticas sobre testigos extraídos de diferentes firmes de carreteras, proporcionada por riegos de adherencia en los que se utilizaron tanto emulsiones convencionales, como emulsiones termodherentes, estas últimas desarrolladas para resistir el tráfico de obra.

Emulsiones convencionales

Las siguientes figuras recogen los resultados medios de resistencia al corte obtenidos en diferentes carreteras entre la capa de rodadura y la intermedia, Figura 10, entre la capa intermedia y la de base, Figura 11, y entre dos capas de base, Figura 12, constituidas por diferentes tipos de mezclas. Entre ellas podemos encontrar mezclas PA-12, S-12 y S-20 para las

MEZCLAS BITUMINOSAS

capas de rodadura, D-20, S-20 y G-20 para las capas intermedias y G-20 y G-25 para las capas de base. En cada una de las figuras se indica, a modo de referencia, el valor mínimo propuesto como especificación en el Pliego de Prescripciones Técnicas de las obras realizadas en Cataluña.

Las emulsiones utilizadas han sido emulsiones convencionales del tipo ECR-1, con una dotation media de ligante residual en torno a los 400 g/m².

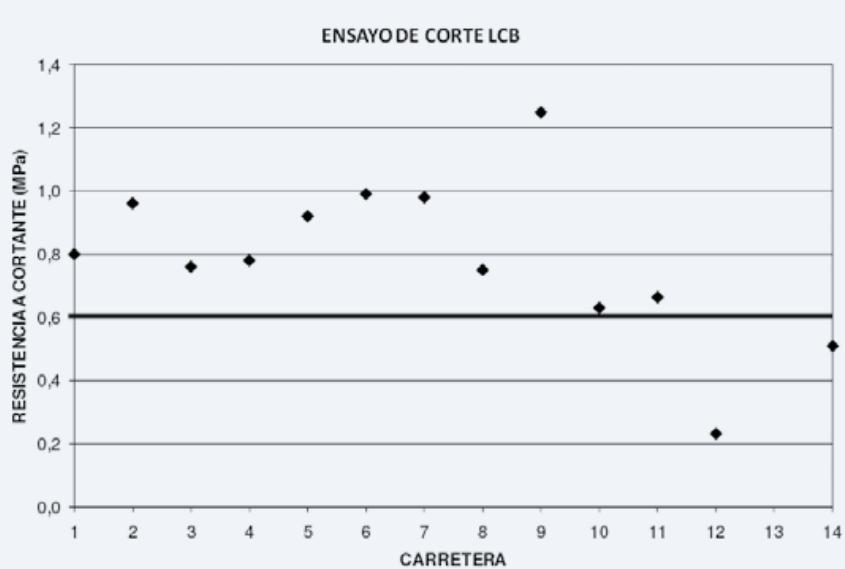


Figura 10. Resultados del ensayo de corte entre la capa de rodadura y la intermedia.

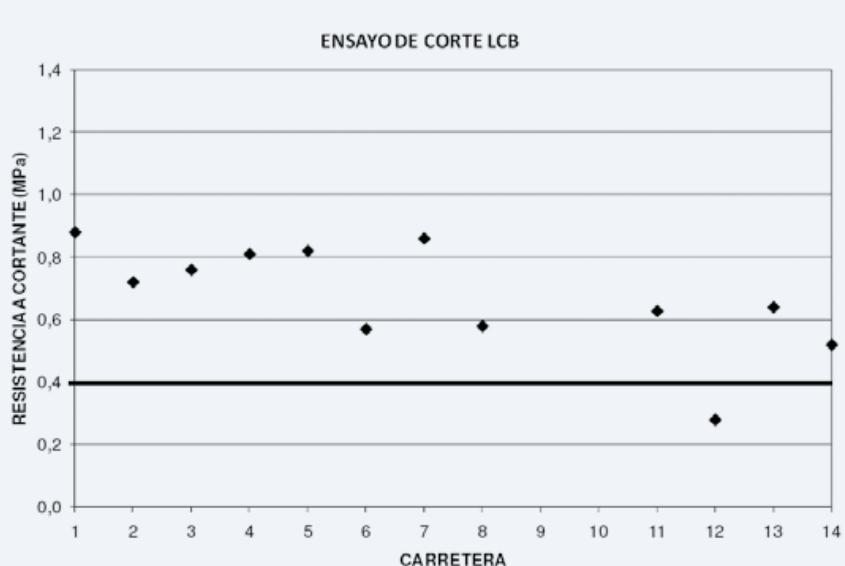


Figura 11. Resultados del ensayo de corte entre la capa intermedia y la de base.

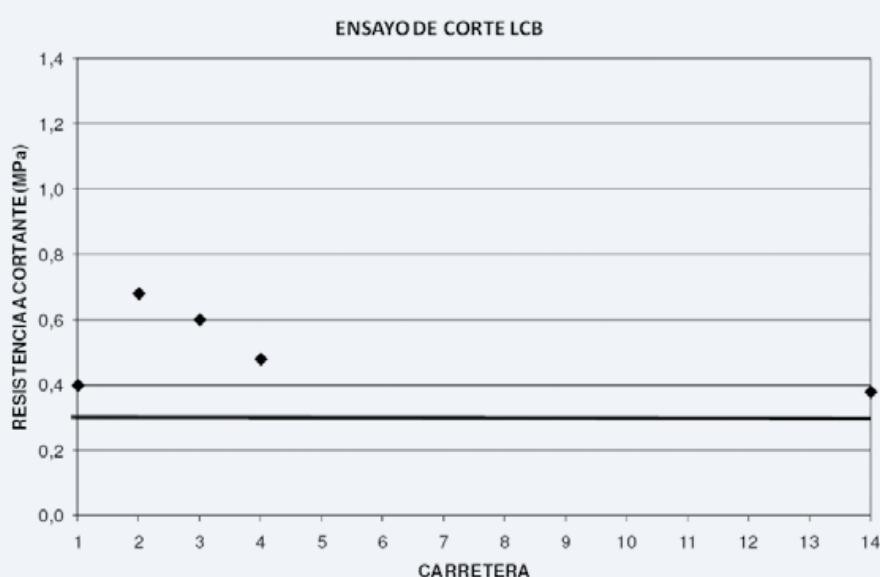


Figura 12. Resultados del ensayo de corte entre capas de base.

Los resultados ponen de manifiesto que, en la mayoría de los casos, y sea cual sea la interfase analizada, los valores obtenidos superan los mínimos establecidos. Únicamente en 2 de las 14 obras analizadas, la resistencia media a cortante entre la capa de rodadura y la intermedia es inferior al valor exigido (0,6 MPa), aunque en estas obras el valor obtenido es claramente inferior al valor medio obtenido en el resto de obras, lo que sin duda evidencia que la adherencia conseguida no es la adecuada.

Emulsiones termoadherentes

El uso de emulsiones convencionales para riegos de adherencia puede causar problemas debido a que, frecuentemente, se pegan a los neumáticos de los vehículos de obra, perdiéndose parte de la emulsión y obteniéndose una menor dotación efectiva. Consecuentemente la adherencia entre las capas asfálticas puede ser inadecuada.

Recientemente se ha desarrollado un nuevo tipo de emulsiones, especialmente resistentes al tráfico de obra, denominadas emulsiones termoadherentes, fabricadas a partir de betunes muy duros, sin fluidificantes. Sin embargo, hasta el momento, la capacidad de adherencia de estas nuevas emulsiones no ha sido evaluada de forma precisa, especialmente a bajas temperaturas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al utilizar dos emulsiones termoadherentes, una convencional (ET-1) y otra modificada con polímeros (ETm-1), junto con los obtenidos con una emulsión convencional tipo ECR-1, fabricada a partir de un betún B-150/200, que servirá de referencia. Las características de estas emulsiones se recogen en la Tabla 1.

MEZCLAS BITUMINOSAS

Propiedades	ECR-1	ET-1	ETm-1
Pasa 0.5 mm (%)	0	0	0
Viscosidad SSF, a 25° C (s)	32	37	-
Viscosidad SSF, a 50° C (s)	-	-	31
Sedimentación (%)	2.5	2.5	4
Residuo de destilación (%)	59.0	60.0	-
– Penetración (0.1 mm)	168	24	-
– Punto Fragilidad Fraass (°C)	-15	+1	-
Residuo de evaporación a 163° C (%)	-	-	64.0
– Penetración (0.1 mm)	-	-	30
– Punto de reblandecimiento A y B (°C)	-	-	64.0
– Recuperación elástica a 40° C (%)	-	-	22
– Punto Fragilidad Fraass (°C)			-4

Tabla 1. Características de las emulsiones estudiadas.

La adherencia se ha determinado entre la capa de rodadura y la capa intermedia, formadas por mezclas tipo S-12 y S-20 respectivamente, ambas con betún B-60/70, a partir del ensayo de testigos extraídos de tres tramos experimentales de un firme construido (después de 3 y 16 meses respectivamente). La dotación utilizada en este caso con todas ellas ha sido de 350 g/m², ligeramente inferior a los 400 g/m² habituales, ya que las que las emulsiones temoadherentes analizadas son menos viscosas que las convencionales.

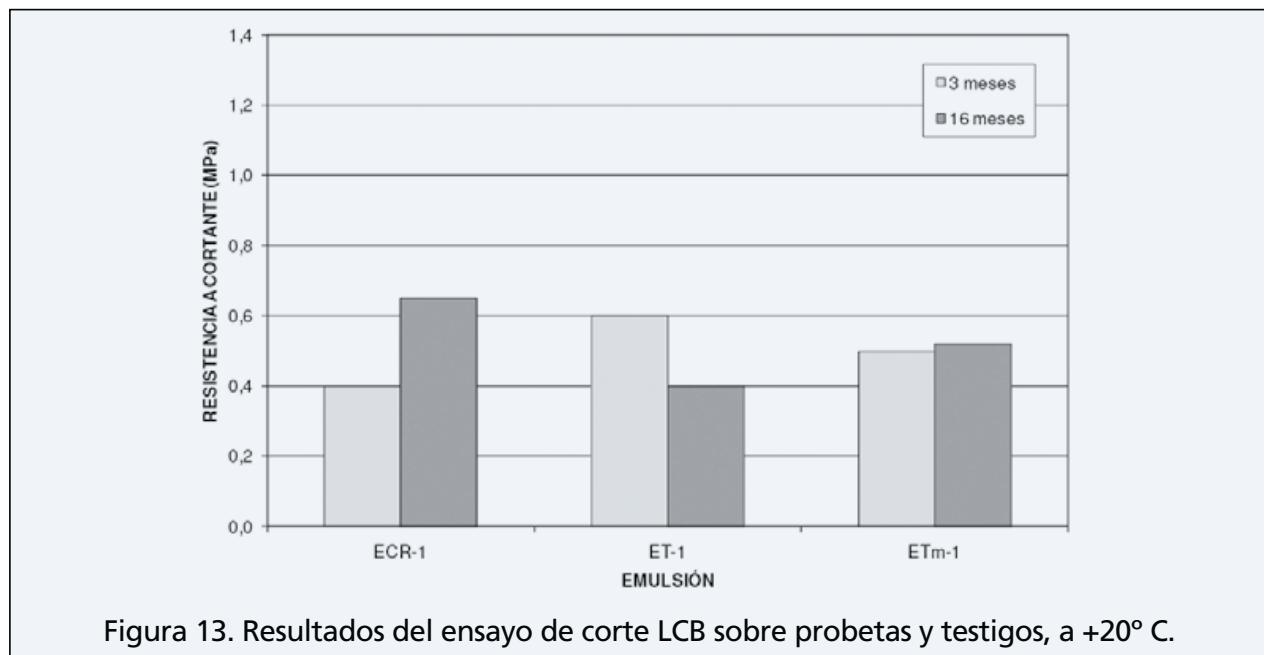


Figura 13. Resultados del ensayo de corte LCB sobre probetas y testigos, a +20° C.

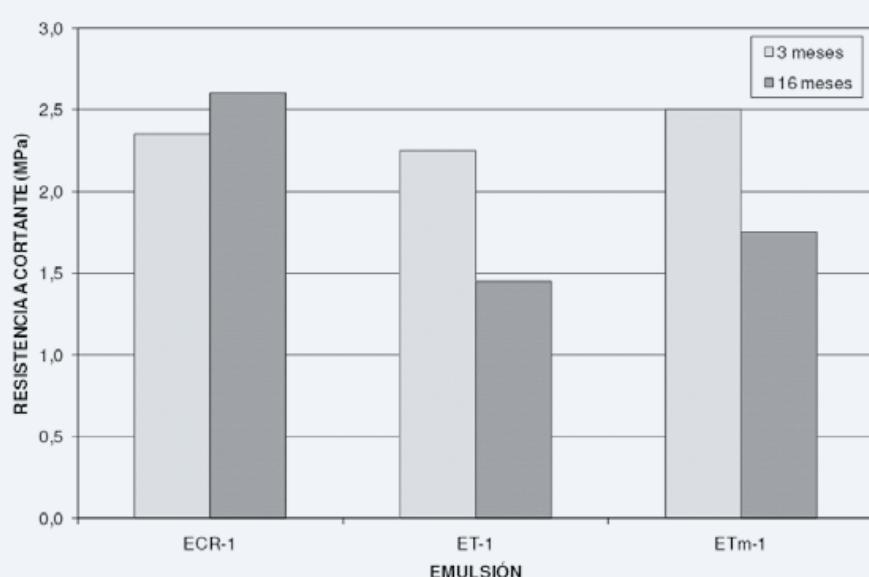


Figura 14. Resultados del ensayo de corte LCB sobre probetas y testigos, a -15°C .

En la Figura 13 se recogen los resultados obtenidos a $+20^{\circ}\text{C}$; a los 3 meses, la emulsión con mayor resistencia es la termoadherente convencional (ET-1), seguida de la termoadherente modificada (ETm-1) y por último, de la convencional (ECR-1). Sin embargo a más largo plazo (a los 16 meses), se observa que la resistencia de la emulsión convencional tiende a aumentar, mientras que la de la emulsión termoadherente modificada ETm-1 permanece igual y la de la emulsión termoadherente ET-1 tiende a disminuir ligeramente.

Similares comentarios pueden hacerse cuando observamos las resistencias medias obtenidas a -15°C , Figura 14. En este caso las resistencias obtenidas para todas las emulsiones son muy similares, especialmente entre la emulsión convencional y la termoadherente modificada. A largo plazo, no sólo se mantiene esta tendencia, sino que se sigue apreciando un ligero aumento de la resistencia de la emulsión convencional y una ligera disminución en la emulsión termoadherente.

Conclusiones

A la vista de la experiencia y resultados obtenidos, puede concluirse que el ensayo de corte LCB constituye un procedimiento sencillo que permite evaluar la unión entre capas proporcionada por los riegos de adherencia, tanto en la fase de proyecto, para seleccionar la emulsión y la dotación a utilizar (ensayo sobre probetas), como en la fase de control, para evaluar la adherencia realmente conseguida tras la ejecución de las capas del firme (ensayo sobre testigos).

La adherencia conseguida, con los mismos tipos y dotaciones de emulsión, entre capas más densas (con menos huecos y más betún) es superior a la obtenida entre capas más gruesas

MEZCLAS BITUMINOSAS

(con más huecos y menos betún), por lo que los riegos entre capas de base pueden resultar más críticos para el comportamiento del firme. En base a estos resultados se han establecido unos valores mínimos, específicos para cada tipo de interfase (rodadura/intermedia, intermedia/base o base/base), avalados por la experiencia, que permiten llevar a cabo el control de calidad de los riegos ejecutados

En cuanto al efecto de las emulsiones termoadherentes analizadas, es posible concluir que, a temperaturas intermedias (20° C), la capacidad adherente de las emulsiones termoadherentes es superior a la de las emulsiones convencionales, mientras que a bajas temperaturas (-15° C), la respuesta de las emulsiones termoadherentes está condicionada por las características y/o modificación del betún base con el que están fabricadas, pudiendo encontrar emulsiones que presentan una capacidad adhesiva tanto mejor como peor que una emulsión convencional.

Así pues, el comportamiento de las emulsiones termoadherentes es algo más crítico a temperaturas extremas, aunque las diferencias observadas no son muy grandes y los valores de resistencia alcanzados son más que suficientes para garantizar la adherencia entre capas.

Bibliografía

- [1] Litzka, J.H.; Pass, F.; Zirkler E. (1994). "Experiences with thin bituminous layers in Austria". *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, No. 1454. TRB, National Research Council, Washington D.C., pp 19-22.
- [2] Tschegg, E.K.; Kroyer, G.; Tan, D.; Stanzl-Tschegg, S.; Litzka, J. (1995). "Investigation of bonding between asphalt layers on road construction". *Journal of Transportation Engineering*, Vol.121, No. 4, pp 309-316.
- [3] Tschegg, E.K. (1997). "An efficient fracture test method for bituminous materials and layer bonds". *Mechanical Tests for Bituminous Materials*. Editors Di Benedetto&Francken, RILEM, pp. 405-411.
- [4] Mrawira, D.; Yin, D. (2006). "Field Evaluation of the Effectiveness of Tacks Coats in Hot Mix Asphalt Paving". *85th Annual Meeting of Transportation Research Board*, National Research Council, Washington D.C.
- [5] Uzan, J.; Livneh, M.; Eshed, Y. (1978). "Investigation of adhesion properties between asphaltic-concrete layers". *Asphalt Paving Technology, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 47, pp. 495-521.
- [6] Caltabiano, M.A.; Brunton, J.M. (1991). "Reflection cracking in asphalt overlays". *Asphalt Paving Technology, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 60, pp. 310-332.

RIESGOS DE ADHERENCIA. MATERIALES Y ENSAYOS DE CONTROL

- [7] Hugues, D.A. (1986). "Polymer Grid Reinforcement of Asphalt Pavements". Tesis Doctoral. Universidad de Nottingham.
- [8] Canestrari, F.; Santagata, E. (2005). "Temperature effects on the shear behaviour of tack coat emulsions used in flexible pavements". *The International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 6, N° 1, pp. 39-46.
- [9] Molenaar, A.A.A. (1993). "Evaluation of Pavement Structure with Emphasis on Reflective Cracking". *Reflective Cracking in Pavement. State of the Art and Design Recommendations*. Edited by Rigo, Degeimbre and Francken, RILEM, pp 21-48.
- [10] Forschungsgesellschaft für Straben- und Verkehrswesen (1998). "Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner. Probenahme und Durchführung der Prüfung"
- [11] Collop, A.C.; Thom, N.H.; Sangiorgi, C. (2003). "Assessment of Bond Condition Using the Leutner Shear Test". *Institution of Civil Engineering, Journal of Transport*, Vol 156, issue TR4, pp 211-217.
- [12] Abdo, J.; Baroin, L.; Batut, X.; Grand, E.; Guiraud, P.; Huvelin, B.; Potier, J.M.; Sainton, A.; Sigwald, B.; Soufflet, J.P.; Tabaiillon, C.; Monneraye, P. (2001). "L'étude du collage d'un BBTM sur un revêtement en béton âgé de quelques jours. Un nouveau projet de recherche fruit du partenariat CIBETON/SPECBEA/SNBPE". *Revue Générale des Routes*, n° 798, pp. 22-28.
- [13] Mohammad, L.N.; Abdur Raqib, M.; Huang, B. (2002). "Influence of asphalt tack coat materials on interface shear strength". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1789, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 56-65.
- [14] Sholar, G.A.; Page, G.C.; Musselman, J.A.; Upshaw, P.B.; Moseley, H.L. (2004). "Preliminary Investigation of a Test Method to Evaluate Bond Strength of Bituminous Tack Coats". *Journal of the Association of Asphalt Pavement Technologists*, Vol. 73.
- [15] West, R.C.; Zhang, J.; Moore, J. (2005). "Evaluation of Bond Strength between Pavement Layers". *NCAT Report 05-08*. National Center for Asphalt Technology, Auburn University.
- [16] Diakhaté, M.; Millien, A.; Phelipot, A.; Petit, C. (2004). « Comportement à la fatigue en cisaillement des couches d'accrochage dans les structures de chaussée ». *XXIIème AUGC*, Grenoble, France.
- [17] Millien, A.; Petit, C.; Rosier, J. (1996) « Comportement au cisaillement des couches d'accrochage dans les chaussées ». *Rapport Interne au Laboratoire 3MsGC*, Université de Limoges, France.

MEZCLAS BITUMINOSAS

- [18] Romanoschi, S.A.; Metcalf, J.B. (2001). "Characterization of Asphalt Concrete Layer Interface". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1778, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 132-139.
- [19] British Board of Agrément (1998). *Guideline Document for the Assessment and Certification of Thin Surfacing Systems for Highways*. British Board of Agrément, Working Draft 2, pp. 19-22.
- [20] Khweir, K.; Fordyce, D. (2003). "Influence of layer bonding on the prediction of pavement life". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Transport*, No. 156, pp. 73-83.
- [21] NLT-161/84 "Resistencia A compresión simple de mezclas bituminosas". *Normas NLT - Ensayos de Carreteras*. CEDEX.
- [22] Miró, R.; Pérez Jiménez, F.; Borrás, J.M. (2003). "Evaluation of the Effect of Tack Coats. LCB Shear Test". *6th International RILEM Symposium*, Zurich, Switzerland, pp. 550-556.
- [23] Miró, R.; Pérez Jiménez, F.; Del Cerro, J.; García, C.; Soto, J.A.; Fernández, M. (2003). "Riegos de adherencia. Proyecto ADHELAY". *III Congreso Andaluz de Carreteras*, Sevilla.
- [24] Páez, A.; Miró, R. (2003). "Emulsiones de adherencia resistentes al tráfico de obra". *Carreteras*, 128, pp. 27-36.
- [25] Miró, R.; Pérez Jiménez, F.; Del Cerro, J.; García, C.; Fernández, M.; Soto, J.A. (2004). "Riegos de adherencia: Proyecto ADHELAY". *VI Congreso Nacional de Firmes*, León.
- [26] Miró, R.; Martínez, A.; Pérez Jiménez, F. (2005). "Assessing heat-adhesive emulsions for tack coats". *Transport. Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 158, TR1, pp. 45-51.
- [27] Miró, R.; Martínez, A.; Pérez Jiménez, F. (2006). "Evaluation of the effect of heat-adhesive emulsions for tacks coats with shear test from the Road Research Laboratory of Barcelona". *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, No. 1970. TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 64-70.