

El ensayo de adherencia de capas de firme según NLT-382/08. Estudio comparativo de los resultados obtenidos con los dispositivos A y B

Jose Manuel Berenguer¹, Carmen Calvo², Jesualdo Molina³, Ricardo Gomariz³, Jose Luis Peña⁴

¹Eiffage Infraestructuras. Alicante jberenguer@infraestructuras.eiffage.es

²Centro Regional de Control de Calidad. Junta de Castilla y León calrevca@jcyll.es

³Laboratorio de Carreteras de la Región de Murcia jesualdo.molina@carm.es

⁴Asefma jlopeña@asefma.es

Resumen

Con la modificación del artículo 531 del PG-3 en diciembre de 2014, se establece la necesidad de realizar el ensayo de adherencia entre capas según NLT-382, para verificar que la resistencia al esfuerzo cortante supera el valor de 0,60 MPa, cuando una de las capas sea de rodadura, o de 0,40 MPa en el resto de casos, y también se establecen penalizaciones cuando no se alcance el 90% de este valor, o cuando esté entre el 90 y el 100%. La citada norma permite el uso de dos dispositivos de corte diferentes.

El objetivo de este trabajo es comparar los resultados proporcionados por estos dos dispositivos y estimar la precisión del ensayo, de gran interés a la hora de evaluar los resultados. Para realizar este estudio se creó un grupo de trabajo dentro del consorcio ALEAS.

A nivel laboratorio, se están realizando ejercicios de intercomparación con ambos dispositivos, para una mezcla bituminosa AC16 surf 10/40-70 S, tanto en la probeta soporte como en la capa superior, utilizando dos emulsiones termoadherentes.

También se ha realizado una campaña intensiva de extracción de testigos de carretera, que se van a ensayar con los dos dispositivos.

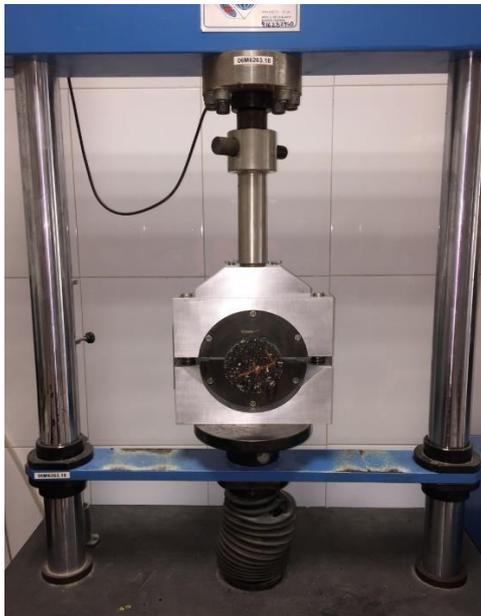
En este trabajo se exponen los resultados del ejercicio de intercomparación con el dispositivo B que han permitido obtener datos de precisión para este ensayo. Se han comparado los resultados obtenidos con ambos dispositivos tanto en probetas fabricadas en laboratorio como en testigos extraídos del firme, obteniéndose resultados más altos de resistencia a esfuerzo cortante cuando se ensayan con el dispositivo A. Se ha hecho una evaluación de la precisión de ambos métodos con testigos extraídos de firme, obteniéndose menores dispersiones con el dispositivo B. La precisión en la determinación de otros parámetros del ensayo, deformación a carga máxima y energía de deformación, presenta valores peores (mayores dispersiones) que la resistencia a esfuerzo cortante, con ambos dispositivos.

Palabras clave: adherencia, resistencia a esfuerzo cortante, energía de deformación

1 Introducción y objetivos

Con la modificación del artículo 531 del PG-3 [1] en diciembre de 2014, se establece la necesidad de realizar el ensayo de adherencia entre capas según NLT-382 [2], para verificar que la resistencia al esfuerzo cortante supera el valor de 0,60 MPa, cuando una de las capas sea de rodadura, o de 0,40 en el resto de casos, y también se establecen penalizaciones cuando no se alcance el 90% de este valor, o para cuando esté entre el 90 y el 100%. Es por ello de gran importancia profundizar en el conocimiento de este ensayo, que permite el uso de dos dispositivos de corte diferentes (Figura 1) para realizar el ensayo, sin que se disponga de datos suficientemente contrastados que aseguren la equivalencia de los resultados obtenidos. Además, se está revisando la norma europea EN 12697-48 [3] para evaluar la adherencia entre capas, en la que se proponen diferentes métodos alternativos para evaluar este parámetro, entre los que se encuentran el equivalente al NLT-382 con dispositivo A, y se está valorando la inclusión, o no, del dispositivo B

En el dispositivo A la carga se aplica mediante una mordaza de dos cuerpos, contenidas en un plano perpendicular al testigo-probeta, sobre el que se aplica un esfuerzo en la interfaz de las dos capas (esfuerzo cortante puro).



Dispositivo A



Dispositivo B

Figura 1 Dispositivos de corte A y B de la NLT 382/08

El dispositivo B consiste en una mordaza cilíndrica desmontable en la que se introduce el testigo-probeta. Se coloca el conjunto en posición horizontal sobre una base con dos puntos de apoyo separados 188 mm, tal que la interfaz quede a 5 mm de la mordaza y del punto de apoyo. El punto de aplicación de la carga está equidistante de los dos puntos de apoyo del conjunto, que actúa así como una viga biapoyada, donde la sección de ensayo está sometida a esfuerzo cortante.

La diferencia entre ambos ensayos es que en el dispositivo A se mantiene el rozamiento en el plano de rotura mientras se realiza el ensayo, rozamiento que puede venir aumentado por la forma de aplicar la carga. En el dispositivo B es más fácil la separación de ambas capas una vez que se inicia por esfuerzo cortante, su deslizamiento y despegue.

Los objetivos de este trabajo son:

- Evaluar si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos con los dispositivos incluidos en la norma.
- Estimar la precisión del ensayo.
- Analizar, con testigos de campo, como influyen en los valores de adherencia la diferente dotación de emulsión y el tipo de mezclas utilizadas.

2 Plan experimental

Los trabajos se han desarrollado en dos niveles:

- Nivel laboratorio. Se han planificado dos ejercicios interlaboratorio para evaluar la precisión del ensayo con probetas fabricadas en laboratorio. En el primero, llevado a cabo en 2016, se utilizó el dispositivo B, por ser el más habitual en los laboratorios. Los resultados se muestran en este trabajo. El segundo, con el dispositivo A, se está realizando en la actualidad, y se prevé tener datos en septiembre de 2017. Además se han comparado los resultados obtenidos para diferentes tipos de mezclas con ambos dispositivos.

- Testigos extraídos del firme en tramos de prueba. Se han extraído testigos de 4 tramos de prueba con diferentes mezclas bituminosas y dos dotaciones de emulsión.

3 Resultados preliminares de comparación de los dispositivos A y B con probetas fabricadas en laboratorio.

Los ensayos se han realizado en el laboratorio de Carreteras de la Región de Murcia. Se han preparado 3 series de 16 muestras cada una, y se han ensayado 8 con el Dispositivo A y 8 con el B.

- Serie 1(C-C). Tanto la capa soporte como la superior son mezclas AC 16 Surf S. Se utiliza emulsión termoadherente con una dotación de 200 g/m². Se ha denominado C-C por ser las dos capas de granulometría continua.
- Serie 2 (C-D). La capa inferior es una AC 16 Surf S y la capa superior es una mezcla BBTM 11B. Se utiliza una emulsión termoadherente con una dotación de 250g/m². Se ha denominado C-D por ser la capa inferior de granulometría continua y la superior discontinua.
- Serie 3 (D-D). La capa superior e inferior son mezclas BBTM-11B. Se utiliza una emulsión termoadherente con una dotación de 250g/m². Se ha denominado D-D por ser las dos capas de granulometría discontinua.

Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos con los dispositivos A y B en diferentes tipos de mezclas

			Serie 1 (C-C)		Serie 2 (C-D)		Serie 3 (D-D)	
			A	B	A	B	A	B
Resistencia al esfuerzo cortante (MPa)	Media		2,065	1,577	1,159	1,018	1,287	1,099
	Desv. Estándar		0,192	0,087	0,094	0,106	0,084	0,086
Energía (Julios)	Media		9,70	8,99	5,85	5,25	10,33	6,97
	Desv. Estándar		1,77	0,89	0,86	0,88	1,45	1,15
Deformación a carga máxima (mm)	Media		1,13	1,44	1,06	1,23	1,60	1,44
	Desv. Estándar		0,13	0,10	0,08	0,10	0,15	0,11

En cada una de las series se comparan las varianzas de los resultados obtenidos con cada uno de los dispositivos, mediante un test F, y los valores medios, mediante un test t, con nivel de confianza del 95%.

Para la resistencia al esfuerzo cortante, la desviación estándar de los resultados obtenidos con el dispositivo A no presenta diferencias significativas con la desviación estándar de los resultados obtenidos con el dispositivo B, para las tres series. El coeficiente de variación se encuentra entre el 5 y el 10 % en todos los casos. Sí se observan diferencias significativas entre los valores medios de las ocho probetas (Figura 2), para las tres series. Los resultados de resistencia al esfuerzo cortante son siempre más altos cuando se utiliza el dispositivo A. Las diferencias son mayores para capas C-C, donde se encontraron diferencias mayores del 20%. En las otras series (capas C-D y D-D) las diferencias son del orden del 10%. Estas diferencias pueden ser debidas a la forma en que se aplican los esfuerzos cortantes en ambos ensayos.

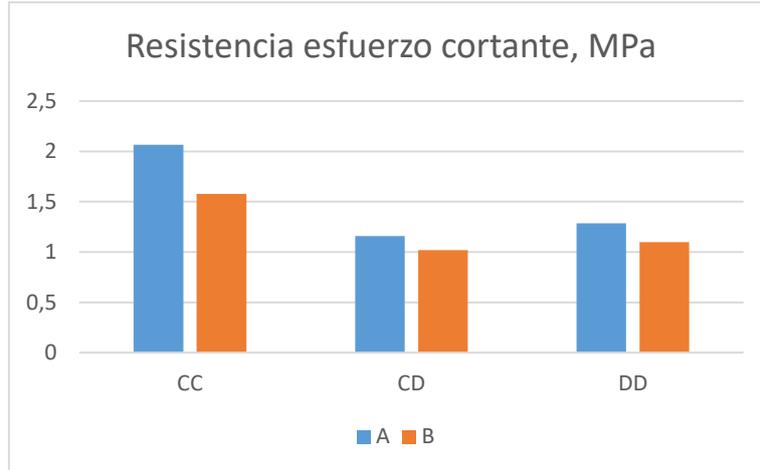


Figura 2 Valores medios de resistencia a esfuerzo cortante con los dispositivos A y B

Para la deformación a carga máxima tampoco se observan diferencias en la desviación estándar de los resultados obtenidos con el dispositivo A y con el dispositivo B, para las tres series. El coeficiente de variación se encuentra entre el 6 y el 10 %. Sí se observan diferencias significativas entre los valores medios de las ocho probetas, en todas las series (Figura 3).

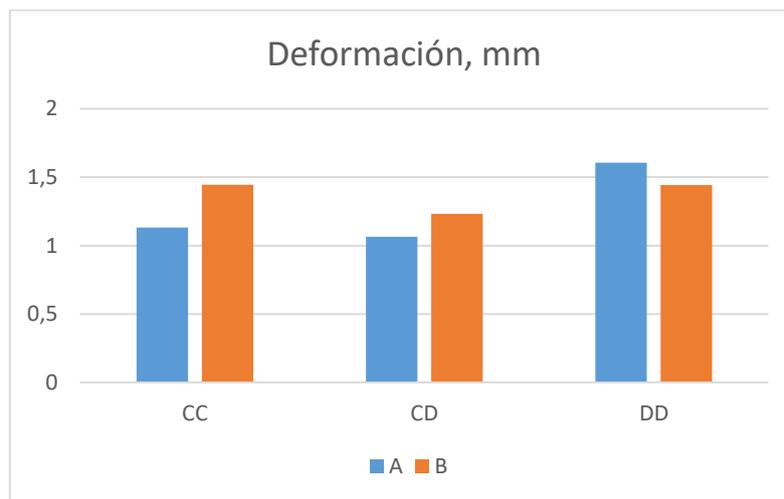


Figura 3 Valores medios de deformación a carga máxima con los dispositivos A y B

En cuanto a la energía de deformación, la desviación estándar de los resultados obtenidos con el dispositivo A no presenta diferencias significativas con la desviación estándar de los resultados obtenidos con el dispositivo B. El coeficiente de variación es del orden del 15 %, más alto que para los parámetros anteriores. No se observan diferencias significativas entre los valores medios para capas C-C y C-D, pero sí para D-D, con valores de energía un 30% más altos que con el dispositivo A (Figura 4).

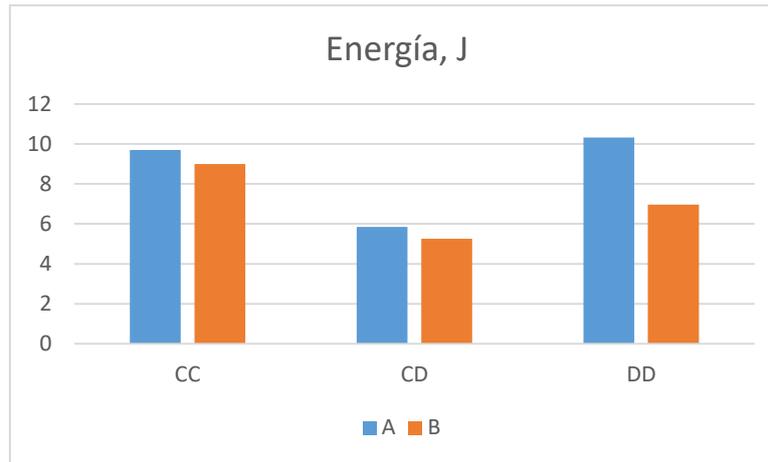


Figura 4 Valores medios de energía de deformación con los dispositivos A y B

4 Resultados del ejercicio de intercomparación con el dispositivo B.

En abril del pasado año se distribuyó entre los miembros el grupo de trabajo el protocolo para la realización del ejercicio de intercomparación, así como los materiales necesarios: mezcla bituminosa AC-16 10/40-70 S, fabricada por Los Serranos (Grupo Eiffage), y dos emulsiones termoadherentes proporcionadas por Cepsa. La primera es una emulsión termoadherente C60B3, fabricada con un ligante convencional, mientras que el ligante de la segunda es un betún modificado C60BP3. Las especificaciones de estas emulsiones se establecen en la norma UNE-EN 13808 [4].

El objetivo es evaluar la precisión del ensayo según NLT-382 utilizando el dispositivo B y comparar el funcionamiento de las dos emulsiones. En este ejercicio participaron 12 laboratorios, tanto de administraciones públicas como de empresas, entre los que se repartió un protocolo para unificar la forma de trabajo. Las muestras de ensayo se prepararon del modo siguiente: Para las probetas soporte, se fabricaron seis probetas de 100 mm de diámetro, mediante compactador giratorio (UNE-EN 12697-31), empleando los siguientes parámetros:

- Diámetro del molde: 100 mm.
- Presión: 600 kPa. Ángulo: 0,82°.
- N° de giros totales: 288.
- Temperatura de compactación: 170°C.
- Pre calentamiento de la muestra y los moldes: 2 horas.

Una vez fabricadas las probetas, se extraen y se dejan enfriar a temperatura ambiente durante 24 horas y se determina la densidad aparente, siguiendo el método descrito en la UNE-EN 12697-6:2012, *Procedimiento B – Densidad aparente superficie saturada seca (SSD)*. A continuación, se cortan las probetas para que queden con una altura final de 65 mm.

Se introduce uno de los fragmentos de 65 mm obtenidos en un molde de compactación de 177 x 101,6 mm (NLT-161/98) y se extiende sobre su cara de corte la emulsión de adherencia, repartiéndola con ayuda de una espátula plana de la forma más homogénea posible. La dotación empleada, será de 200 g/m² de betún residual. La probeta se mantiene 24 horas a una temperatura de 20 a 25°C en una cámara climática, antes de proceder a la compactación de la capa superior.

Para la capa superior se emplea el mismo tipo de mezcla. La compactación se realiza a la temperatura de 170°C siguiendo el procedimiento descrito en la norma NLT-161 [5], mediante una prensa de doble émbolo aplicando una presión máxima de 21 MPa mantenida durante 2 minutos. El espesor de la capa debe de ser de, al menos, 50 mm.

Con el fin de reproducir las condiciones de obra, la compactación de la mezcla bituminosa que forma la capa superior, sobre la capa soporte y el riego de adherencia, se realiza sin precalentamiento de los moldes. Una vez compactada la probeta superior y pegada a la probeta inferior, se deja enfriar en el molde durante 2 horas. Trascurrido este tiempo, se desmoldan las probetas. Una vez extraídas, se dejan al aire durante un tiempo aproximado a dieciocho horas antes de ensayarlas. Previamente, se mide el diámetro con el calibre (dos medidas en cada probeta con precisión de $\pm 0,1$ mm) en la sección paralela próxima a ambos lados de la interfaz entre las dos capas y se determina el promedio (d). Con este diámetro medio se calcula la sección transversal. Se introducen las probetas en una cámara climática a $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ durante al menos tres horas, y se procede al ensayo

En este ejercicio han participado 12 laboratorios; 7 han realizado una serie de 6 réplicas del ensayo para cada emulsión y 5 laboratorios envían tres series de 6 réplicas, por lo que finalmente disponemos de 22 series de seis réplicas. Mediante este ensayo se determina, a partir del diagrama carga-deformación para cada testigo ensayado, la resistencia a esfuerzo cortante (T_c , en MPa) calculada mediante la expresión:

$$T_c = \frac{(F_{\text{máx}}/2)}{S}$$

Dónde $F_{\text{máx}}$ es la carga máxima (en N) y S es la superficie de la sección transversal, en mm^2 . También se puede determinar la energía de deformación hasta rotura, E_d , integrando la curva carga-deformación hasta la carga máxima. Cuando se utiliza el dispositivo A, para calcular la resistencia a esfuerzo cortante se debe utilizar la expresión:

$$T_c = \frac{F_{\text{máx}}}{S}$$

El tratamiento de los datos comienza con la detección de datos anómalos, para lo que se han utilizado los estadísticos h y k de Mandel y los test de Cochran y Grubbs. Una vez eliminados los datos anómalos se calcula la media general y la varianza de repetibilidad, la varianza interlaboratorios y la varianza de reproducibilidad, según UNE 82009-2 [6], y la media y la desviación estándar robusta mediante la norma ISO 13528 [7].

4.1 Carga máxima

Cuando se utiliza la emulsión C60B3, los valores medios de carga máxima de rotura siguen la distribución de la Figura 5. El Test de Cochran detecta repetibilidades elevadas (que difieren significativamente del resto) en los resultados del laboratorio 13-3 (igual que k -Mandel) y 1 (cuestionado por k -Mandel). El Test de Grubbs y el h -Mandel no detectan ningún resultado anómalo, es decir, no consideran que ningún valor medio se aleje significativamente del conjunto de valores medios.

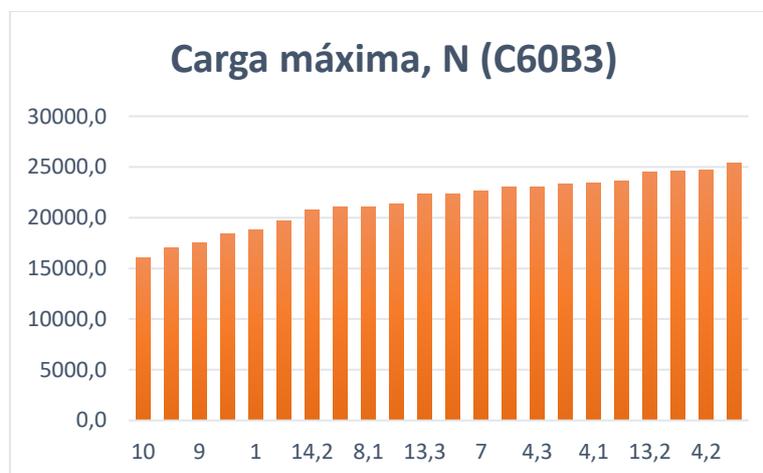


Figura 5 Distribución de valores medios de carga máxima de rotura, en N, con emulsión termoadherente C60B3

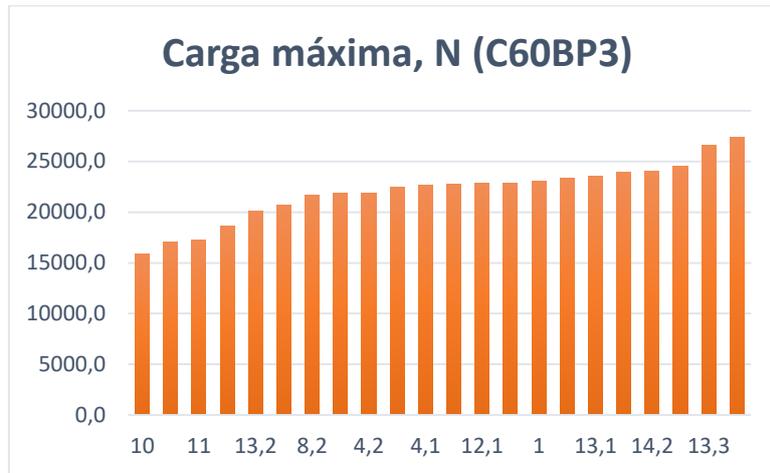


Figura 6 Distribución de valores medios de carga máxima de rotura, en N, con emulsión termoadherente modificada C60BP3

Cuando utilizamos la emulsión modificada (C60BP3), los resultados medios siguen la distribución de la figura 6. Seguimos el mismo esquema para detectar datos anómalos, y observamos resultados similares: el test de Cochran elimina los resultados de 13-2, como k-Mandel y el de Grubbs no detecta ningún valor que se aleje significativamente de la media. Si procedemos al cálculo del valor medio y las correspondientes varianzas de repetibilidad y reproducibilidad según la norma UNE 82009, obtenemos los valores de la Tabla 2.

Tabla 2. Valores medios y precisión obtenida para la determinación de la carga máxima de rotura (N), utilizando en dispositivo B.

	Emulsión C60B3		Emulsión C60BP3	
	UNE 82009-2	ISO 13528	UNE 82009-2	ISO 13528
Lab. eliminados	13-3 y 1	10 y 2	13-2	10,2,11,9,13-2, 13-3 y 3
Valor medio	21725,1	21638,1	22138,2	22445,7
s_r	2043,9		2005,6	
s_L	2547,8		2796,8	
s_R	3266,3	3018,7	3441,6	1855,8
CV_r	9,4		9,1	
CV_R	15,0	14,0	15,5	8,3

Con las dos emulsiones, el coeficiente de variación de repetibilidad (CV_r) es ligeramente inferior al 10%, y del orden del 15% para el coeficiente de variación en condiciones de reproducibilidad.

Si realizamos el tratamiento estadístico según la norma ISO 13528, detectamos más laboratorios con resultados anómalos, para las dos emulsiones, pero tampoco vemos diferencias significativas en los valores medios. Mejora la reproducibilidad cuando se utiliza la estadística robusta de la ISO 13528, pero es debido a que detecta más valores anómalos.

Los valores medios son ligeramente superiores cuando se utiliza la emulsión modificada, pero las diferencias no son significativas. Tenemos que tener en cuenta que el ensayo se realiza a 20°C. Algunos estudios [8] muestran comportamientos diferentes de estas emulsiones a otras temperaturas más extremas.

4.2 Resistencia al esfuerzo cortante

Los resultados para la resistencia al esfuerzo cortante son similares a los de la carga máxima, puesto que ambos parámetros están directamente relacionados.

Tabla 3. Valores medios y precisión obtenida para la determinación de resistencia al esfuerzo cortante (MPa) utilizando en dispositivo B.

	Emulsión C60B3		Emulsión C60BP3	
	UNE-82009-2	ISO 13528	UNE-82009-2	ISO 13528
Lab. eliminados	13-3 y 1	10 y 2	13-2	10, 2, 11, 9 y 3
Valor medio	1,342	1,335	1,366	1,384
s_r	0,126		0,124	
s_R	0,204	0,186	0,212	0,115
CV_r	9,4		9,1	
CV_R	15,2	14,0	15,6	8,3

Si comparamos los valores obtenidos en este ejercicio con los valores de precisión que aparecen en el proyecto de norma europea para el dispositivo A vemos que son del mismo orden. También son comparables a los que aparecen en un informe del LRRB [9] en mayo de 2015.

Tabla 4. Desviación estándar de repetibilidad y reproducibilidad calculada según la propuesta de norma europea prEN 12697-48 para el Dispositivo A.

	Repetibilidad	Reproducibilidad
	Desviación estándar, s_r	Desviación estándar, s_R
Resistencia al esfuerzo cortante, $t_{SBT,max}$	$0,074 + 0,04 \times t_{SBT,max}$	$0,037 + 0,11 \times t_{SBT,max}$
$t_{SBT,max}=1,340$ MPa	0,127	0,184

4.3 Deformación a carga máxima

Seguimos el mismo esquema de tratamiento para la deformación a carga máxima. La distribución de valores es bastante más sesgada y los test detectan un mayor número de resultados anómalos. Los valores de repetibilidad son del orden de los obtenidos para la carga

máxima de rotura o la resistencia a esfuerzo cortante, pero son bastante peores en cuanto a reproducibilidad.

Tabla 5. Valores medios y precisión obtenida para la determinación de la deformación a carga máxima (mm), utilizando en dispositivo B.

	Emulsión C60B3		Emulsión C60BP3	
	UNE-82009-2	ISO 13528	UNE-82009-2	ISO 13528
Lab. eliminados	3, 13-3, 13-1, 13-2 y 11	2,10,11,13-1,13-2, 3 13-3	13-2, 13-1, 13-3, 14-3, 11 1 y 3	13-1, 13-2, 13-3, 10, 3, 2, 1 y 11
Valor medio	1,58	1,68	1,49	1,64
s_r	0,18		0,12	
s_R	0,53	0,55	0,43	0,52
CV_r	11		8,1	
CV_R	34	33	28,9	32

Tras eliminar los valores anómalos, no se detectan diferencias significativas entre los resultados obtenidos con las dos emulsiones, ni en los valores medios ni en los de precisión, próximos al 10% para la repetibilidad y superiores al 30% para la reproducibilidad. Aunque este parámetro no está recogido en las especificaciones, es de interés para calcular la energía de deformación, por lo que en sucesivos interlaboratorios se tratará de mejorar estos valores revisando la calibración de los sensores de deformación y la forma de calcular esta deformación.

4.4 Energía

En cuanto a la Energía de deformación, disminuye el número de laboratorios que proporcionan datos, y muchos de éstos proporcionan resultados claramente anómalos. Esto se ha debido a errores en la integración de la curva carga-deformación, que se ha realizado manualmente en la gran mayoría de laboratorios. Además, se han podido trasladar los errores en la determinación de la deformación. Con todo esto, los valores energía de deformación están afectados por una dispersión muy elevada. Si eliminamos los resultados de estos laboratorios anómalos, obtenemos valores medios de Energía de deformación de 9,3 Julios cuando se utiliza la emulsión C60B3y de 8,6 Julios cuando se utiliza C60BP3, con coeficientes de variación entre el 30 y el 35%.

5 Resultados en testigos extraídos del firme.

El primer tramo de prueba forma parte de una rehabilitación del firme de la RM-15 ejecutada el 05/10/2016 en el pk.36+400 del camino de servicio mediante la extensión de una capa de rodadura BBTM 11B sobre soporte existente tipo S-20 ejecutado a principio del año 2000. La dotación de emulsión en el riego de adherencia, fue en una mitad de la calzada de 0,5 kg/m², y en la otra mitad de la calzada 1,0 kg/m². En ambos casos el tipo de emulsión fue C60BP3TER. Son los tramos identificados como MS en la tabla 6 y en la figura 7.

El segundo tramo de prueba de la rehabilitación del firme de la RM-15 fue ejecutado el 03/11/2016 en el Pk.36+600 del camino de servicio mediante una capa de rodadura BBTM 11B

sobre soporte existente de BBTM 11B, ejecutado a principio del año 2016. La dotación de emulsión en el riego de adherencia, fue en una mitad de la calzada de $0,5 \text{ kg/m}^2$, y en la otra mitad de la calzada $1,0 \text{ kg/m}^2$. En ambos casos el tipo de emulsión fue C60BP3TER. Son los tramos identificados como MM en la tabla 6 y en la figura 7.

La extracción de los testigos se realizó durante la primera semana del mes de marzo. Cada uno de los 6 laboratorios recibe 8 testigos de cada tramo de prueba, para que ensaye 4 con el dispositivo A y 4 con el B, en las condiciones establecidas en la NLT-382. Se realiza el tratamiento estadístico para cada tramo de prueba y dispositivo de corte. El tratamiento de los datos comienza con la detección de datos anómalos, para lo que se han utilizado los estadísticos h y k de Mandel y los test de Cochran y Grubbs. Una vez eliminados los datos anómalos se calcula la media general y la varianza de repetibilidad, la varianza interlaboratorios y la varianza de reproducibilidad, según UNE 82009-2. Finalmente, en cada tramo, se comparan las medias y las varianzas obtenidas con los dispositivos A y B, del mismo modo que en el apartado 3.

Los valores medios obtenidos se muestran en la tabla 6. Para la resistencia al esfuerzo cortante, obtenemos valores más altos con el dispositivo A (Figura 7), que también presenta mayores dispersiones, tanto en repetibilidad como en reproducibilidad. En cuanto al cumplimiento con las especificaciones, solo los datos obtenidos con el dispositivo A y dotaciones de emulsión de $0,5 \text{ kg/m}^2$ aseguran el cumplimiento del valor establecido en el PG-3 cuando una de las capas es de rodadura. Sí cumplirían la especificación para capas intermedia-base.

Tabla 6. Resistencia a esfuerzo cortante con los dispositivos A y B en testigos extraídos del firme en cuatro tramos de prueba, en MPa

	MM $0,5 \text{ kg/m}^2$		MM 1 kg/m^2		MS $0,5 \text{ kg/m}^2$		MS 1 kg/m^2	
	Disp. A	Disp. B	Disp. A	Disp. B	Disp. A	Disp. B	Disp. A	Disp. B
Valor medio	0,713	0,512	0,521	0,420	0,696	0,389	0,584	0,389
s_r	0,141	0,054	0,113	0,050	0,223	0,049	0,141	0,070
s_R	0,178	0,089	0,173	0,072	0,264	0,062	0,145	0,106
CV_r	20	11	22	12	32	13	24	18
CV_R	25	17	33	17	38	16	25	27

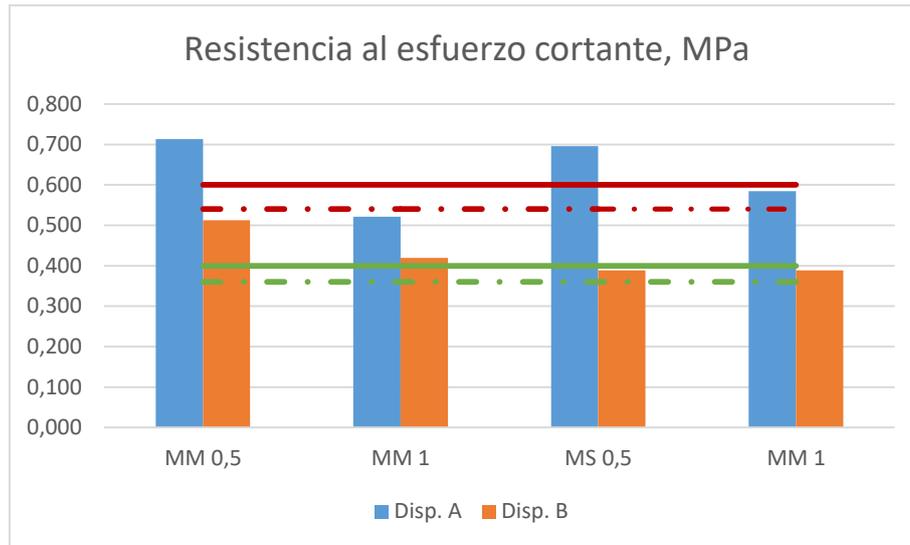


Figura 7 Valores medios de resistencia a esfuerzo cortante con los dispositivos A y B en testigos y especificaciones (en línea continua valor de especificación y en discontinua el 90% del valor)

Para la deformación a carga máxima, los valores medios son menores con el dispositivo B (Tabla 7), pero las diferencias no son significativas estadísticamente, debido a la gran dispersión de resultados. En este caso, los peores valores de precisión los obtenemos con el dispositivo B, con coeficientes de variación en condiciones de reproducibilidad próximos al 50%.

Tabla 7. Deformación a carga máxima con los dispositivos A y B en testigos extraídos del firme en cuatro tramos de prueba, en mm.

	MM 0,5 kg/m ²		MM 1 kg/m ²		MS 0,5 kg/m ²		MS 1 kg/m ²	
	Disp. A	Disp. B	Disp. A	Disp. B	Disp. A	Disp. B	Disp. A	Disp. B
Valor medio	1,419	1,164	1,304	1,251	1,441	1,170	1,578	1,366
s _r	0,283	0,172	0,244	0,200	0,344	0,202	0,250	0,236
s _R	0,327	0,531	0,305	0,595	0,310	0,544	0,374	0,710
CV _r	20	15	19	16	24	17	16	17
CV _R	23	46	23	48	22	47	24	52

En el parámetro energía de deformación, las altas dispersiones encontradas, tanto en términos de repetibilidad (CV_r del orden del 30%) como de reproducibilidad (CV_R superiores al 50%) con ambos dispositivos, no permiten establecer comparaciones entre los resultados.

6 Conclusiones.

A la vista de los resultados obtenidos hasta ahora, los dos dispositivos indicados en la norma NLT-382 conducen a resultados diferentes de resistencia a esfuerzo cortante. En general, se han obtenido valores de resistencia a esfuerzo cortante más altos cuando se utiliza el dispositivo de corte A. La magnitud de las diferencias es variable según el tipo de mezclas adheridas.

Independientemente del dispositivo de corte, los valores de resistencia a esfuerzo cortante obtenidos con probetas fabricadas en laboratorio resultan más altos que cuando se ensayan testigos extraídos del firme

También se han encontrado diferencias en la precisión de ambos métodos. Cuando se ensayan testigos extraídos del firme, tanto la repetibilidad como la reproducibilidad mejoran cuando se utiliza el dispositivo B. Con el uso de este dispositivo de corte, también se observa un ligero aumento en la variabilidad cuando se ensayan testigos extraídos del firme, en relación con los valores obtenidos con probetas preparadas en laboratorio.

En los tramos de prueba en los que se han extraído testigos no se han observado incrementos en la resistencia a esfuerzo cortante al aumentar la dotación de emulsión termoadherente de 0,5 a 1 kg/m², en el caso de mezclas MS, e incluso han bajado en mezclas MM, todo lo cual refuerza la importancia de una correcta elección y dosificación de emulsión termoadherente.

Puesto que los resultados pueden variar en función del dispositivo de corte y la forma de obtención de las probetas de ensayo, las especificaciones deberían referirse a las condiciones específicas de realización del ensayo: Dispositivo de corte a utilizar y origen de los testigos. Por otra parte, teniendo en cuenta que la precisión del ensayo es del orden del 10 % en las mejores condiciones (el coeficiente de variación en condiciones de repetibilidad en probetas fabricadas en laboratorio es del orden del 10 %), podría ser muy estricto establecer penalizaciones para valores entre el 90 y el 100% del valor especificado. Establecer el corte en el 75% de la especificación, como se establece en el LRRB [5] parece más adecuado en el estado actual del método.

Se está a la espera de analizar los resultados de un ejercicio de intercomparación con el dispositivo A, siguiendo el mismo esquema que el realizado con el dispositivo B, que permitirá comparar ambos dispositivos con probetas elaboradas en laboratorio.

7 Referencias

[1]. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes. Artículo 531. Orden FOM/2523/2014.

[2]. NLT-382/08. Evaluación de la adherencia entre capas de firme, mediante ensayo de corte.

[3]. prEN 12697-48. Bituminous mixtures. Test method for hot mix asphalt. Part 48. Interlaying bonding.

[4]. UNE-EN 13808:2013. Betunes y ligantes bituminosos. Especificaciones de las emulsiones bituminosas catiónicas.

[5]. NLT-161/98. Resistencia a compresión simple de mezclas bituminosas.

[6]. UNE 82009-2:1999. Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 2: Método básico para la determinación de la repetibilidad y la reproducibilidad de un método de medición normalizado.

[7]. ISO 13528:2015. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison.

[8]. Fernández Cobo, M; Soto Sánchez J.A. “Riegos de adherencia. Diferentes métodos de control”. Panorámica actual de las mezclas bituminosas. Asefma, un nuevo enfoque. 2005

[9]. Tack Coat Testing. Measuring Field Bond Strength. Minnesota Local Road Research Board. Department of Transportation. Mayo, 2015.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración de todos los miembros del grupo de trabajo de adherencia de capas de Aleas (asociación de Laboratorios de ensayo de ASEFMA), formado por

- José Manuel Berenguer, Eiffage Infraestructuras (coordinador),
- Carmen Calvo Revuelta, Mar Domínguez Sierra, Centro Regional de Control de Calidad de la Junta de Castilla y León
- Rafael Jiménez y Julio Termenón, CEDEX,
- Jesualdo Molina y Ricardo Gomariz, Laboratorio de Carreteras de la Región de Murcia,
- Santiago Tamayo, Blanca Narbona e Ignacio Areso, Laboratorio General de la Diputación Foral de Alava,
- Adriana Martínez, Félix Pérez, y Rodrigo Miró, Universidad Politécnica de Cataluña,
- Pedro Hernández, Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento de Murcia,
- Carlos Parra, Ciesm Intevia,
- María Elena Hidalgo, Benjamín Rus, Francisco Serrano, Gabriel Gutiérrez y José Javier López, Juan Manuel Ramírez, Eiffage Infraestructuras
- José Berbis, Pavasal,
- Mar Subarroca, Sorigue,
- Antonio García y María del Mar Colas, Cepsa,
- Nuria Uguet, Probisa,
- Marisol Barral, Campezo
- Antonio Atienza, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante,
- José Luis Peña ASEFMA-ALEAS