

Deformación plástica de las mezclas bituminosas. Métodos de caracterización y aplicabilidad en las obras

Carmen Calvo, calrevca@jcy.l.es
Centro Regional de Control de Calidad.
Junta de Castilla y León

Javier Loma, javierloma@padecasa.com
Padecasa

José Luis Peña, jlpena@asefma.com.es
Asefma

El incremento del tráfico pesado en las carreteras genera dos tipos de deterioros fundamentales: fatiga y deformaciones plásticas. Respecto a estas últimas, en los años 70 se tomaron una serie de medidas correctoras que han permitido soslayar este problema. Durante dos décadas en España se ha venido utilizando el método de ensayo NLT 173/84 como método predictivo de las deformaciones plásticas. A raíz de la implantación del Marcado CE de las mezclas bituminosas, dicho ensayo tuvo que ser sustituido por el UNE EN 12697-22. Su aplicación práctica ha generado una serie de dudas relativas a su reproducibilidad y el efecto que puede tener en el cumplimiento de las especificaciones en vigor. En esta publicación se recopila parte del trabajo llevado por el grupo de trabajo “pista de laboratorio” de ALEAS (Agrupación de Laboratorios de Entidades Asociadas a Asefma). El trabajo muestra un detallado análisis experimental y de tratamiento estadístico de los datos que permite concluir que con el nivel existente de reproducibilidad, la tolerancia de los resultados no permite distinguir las diversas categorías existentes de resistencia a las deformaciones plásticas.

Palabras clave: Pendiente de deformación, profundidad rodera, deformación plástica

Increase in heavy traffic on the roads generates two types of fundamental deterioration: fatigue and plastic deformation. As far as the latter is concerned, in the seventies a series of corrective measures was taken to avoid this problem. During two decades, the test method NLT 173/84 has been used in Spain as a predictive method of plastic deformation. Following the implementation of the CE Marking of bituminous mixes, this test had to be replaced by UNE EN 12697-22. Its practical application has given rise to a series of doubts as to its reproducibility and its possible effect on compliance with the relevant specifications. This paper is a compilation of part of the work carried out by the work group “wheel-tracking test” of the Association of laboratories of entities associated to Asefma (ALEAS). It offers a detailed analysis, both experimental and of the statistical processing of the data, which allows for the conclusion that with the existing level of reproducibility, data tolerance does not offer the possibility of distinguishing the different existing categories of resistance to plastic deformation.

Keywords: rutting, rut depth, plastic deformation

Deformación plástica de las mezclas bituminosas. Métodos de caracterización y aplicabilidad en las obras

1. Experiencia en la determinación de la resistencia a las deformaciones plásticas

En los años 70, a raíz del fuerte incremento de tráfico generado en las carreteras españolas y al empleo de mezclas bituminosas con poco esqueleto mineral y elevado mastico y contenido de ligante, como las descritas en el Manual del Instituto Americano del Asfalto (tipos IV-a, V-a, III-b, etc.), empezaron a aparecer de forma continuada problemas de rodadas. La solución a las mismas (1975) provino de una modificación normativa en el que se produjeron importantes cambios en las granulometrías y composición de las mezclas asfálticas. De hecho, transcurridos más de 40 años se puede afirmar que la deformación plástica de los pavimentos asfálticos nunca ha vuelto a ser un problema, aunque también hay que decir que la resolución de este problema ha conducido a un problema generalizado de fisuración.

En 1978 se publicó el Informe TM-2817 del Laboratorio del Transporte y Mecánica del suelo "*Comprobación y puesta a punto de la norma provisional para la máquina de ensayo en pista de laboratorio*", que supuso la antesala de la norma NLT 173/84 "*resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio*".

Dicho ensayo ha sido la referencia en España hasta la llegada del mercado CE de mezclas bituminosas, que trajo consigo la aplicación de un método similar en el concepto, pero con importantes diferencias prácticas (UNE EN 12697-22/2008) "*Método de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura*".

Basándose en dicho ensayo, se incluyeron especificaciones indicadas en la normativa española de materiales para construcción de carreteras (PG-3), en el apartado 542, dedi-

cado a las mezclas bituminosas en caliente, según se muestra en la Tabla 1.

Hasta 2008, año en el que fue aprobada la Orden Circular 24/2008, las especificaciones basadas en el ensayo NLT 173/84 estuvieron en vigor. Sobre dicho ensayo los comentarios más generalizados son que es capaz de predecir las deformaciones plásticas pero es poco sensible a pequeñas modificaciones en las formulaciones de las mezclas bituminosas, por lo que su uso para optimizar fórmulas de trabajo es relativamente limitado.

Como ya se ha citado, en el 2008, con la aplicación del marcado CE a las mezclas bituminosas, las especificaciones sufren un cambio importante al modificarse el método de ensayo, siendo sustituido el método NLT 173/84 por la UNE EN 12697-22. Los cambios más importantes entre ambos tipos de ensayo afectan al sistema de compactación de las probetas y las dimensiones de las mismas, así como a las condiciones de realización en los ensayos, manteniendo la temperatura de ensayo y modificando la frecuencia de paso, la carga y sobre todo el tiempo de ejecución, que pasa de ser un ensayo de dos horas a un ensayo con duración de algo más de seis horas.

En el año 2014 ha tenido lugar una pequeña modificación adicional en las especificaciones (Tablas 2 y 3) incluyendo, además de la pendiente de deformación, la profundidad media de la rodadura.

2. Comparación de las metodologías de ensayo

Tras varios años de experiencia en el uso del nuevo método de ensayo UNE EN 12697-22, la mayor parte de los laboratorios que realizan tareas de diseño y control de calidad de mezclas bituminosas han venido observando que la especifica-

Tabla 1. Máxima velocidad de deformación ($\mu\text{m}/\text{min}$) en el intervalo de 105 a 120 minutos (NLT173/84). Orden circular 299/1989

Categoría de tráfico pesado	Zona térmica estival		
	Cálida	Media	Templada
T0 y T1	15		20
T2	15	20	
T3	20		-
T4	20		

Tabla 2. Pendiente media de deformación en pista (WTS_{aire}) y profundidad media (expresado en %) de la rodera (PRD_{aire}) en el intervalo de 5.000 a 10.000 ciclos para capas de rodadura e intermedia. Norma UNE-EN 12697-22 (mm para 10³ ciclos de carga).

Zona estival térmica	Categoría de tráfico pesado				
	T00 y T0	T1	T2	T3 y arcenes	T4
Cálida	≤ 0,07		≤ 0,07 (**)	≤ 0,10 (****)	
Media	≤ 0,07	≤ 0,07(**)	≤ 0,10 (****)	≤ 0,15	
Templada	≤ 0,10	≤ 0,10(***)			

(**) Podrán aceptarse valores superiores al indicado si, simultáneamente, se cumple que WTS_{aire} ≤ 0,10 y PRD_{aire} < 5%.

(****) Podrán aceptarse valores superiores al indicado si, simultáneamente, se cumple que WTS_{aire} ≤ 0,15 y PRD_{aire} < 5%.

Tabla 3. Pendiente media de deformación en pista (WTS_{aire}) y profundidad media (expresado en %) de la rodera (PRD_{aire}) en el intervalo de 5.000 a 10.000 ciclos para capas de base. Norma UNE-EN 12697-22 (mm para 10³ ciclos de carga).

Zona estival térmica	Categoría de tráfico pesado		
	T00 y T0	T1	T2 y T31
Cálida	≤ 0,07 (**)	≤ 0,07 (**)	≤ 0,10 (****)
Media		≤ 0,10 (****)	
Templada	≤ 0,10 (****)		

(**) Podrán aceptarse valores superiores al indicado si, simultáneamente, se cumple que WTS_{aire} ≤ 0,10 y PRD_{aire} < 5%.

(****) Podrán aceptarse valores superiores al indicado si, simultáneamente, se cumple que WTS_{aire} ≤ 0,15 y PRD_{aire} < 5%.

ción actualmente en vigor es mucho más difícil de cumplir, dándose el caso de resultados que cumplen sobradamente las especificaciones basada en el norma NLT 173/84 y no hacen en las basadas en la UNE EN 12697-22. Además, no se ha observado ninguna proliferación de las deformaciones plásticas en las carreteras ya que los husos granulométricos y las dosificaciones de ligante siguen siendo, en lo esencial, similares a las existentes hace años.

Con objeto de concretar las causas por las que la nueva especificación genera muchos falsos "positivos", dentro del consorcio Aleas (Agrupación de Laboratorios de Entidades Asociadas a Asefma) se creó un grupo de trabajo específico.

La primera tarea que llevó a cabo fue solicitar a los laboratorios participantes una recopilación de datos de control de mezclas bituminosas, en lo referido a resistencia las deformaciones plásticas, con el método UNE EN 12697-22 (y si era posible, también con el método NLT 173/84).

En este trabajo participaron 17 laboratorios que facilitaron la siguiente información, correspondiente a 890 ensayos (Tabla 4).

Como resumen puede decirse que el 41% de las muestras están fuera de especificaciones y, en las carreteras españolas, siguen sin observarse problemas de deformaciones plásticas. ¿A qué se debe la discrepancia entre los datos recopilados y el comportamiento en obra?

Una de las posibles causas es que los estudios sobre los que se basasen las especificaciones en vigor tuviesen un sesgo desconocido. Hay que recordar que la disponibilidad de equipos de ensayo en los meses anteriores a la implantación del mercado CE era muy limitada, e incluso los modelos de compactadores de placas fueron evolucionando cada pocos meses, dándose la curiosidad de que muy pocos son iguales.

Por lo tanto, parecía que estudiar la variabilidad del ensayo podía ser una buena aproximación para conocer las causas del problema.

3. Estimación de la precisión del ensayo

Para estimar la precisión del ensayo, desde el grupo de trabajo de ALEAS se han organizado cinco rondas de ensayos

Deformación plástica de las mezclas bituminosas. Métodos de caracterización y aplicabilidad en las obras

Tabla 4. Niveles de incumplimiento de la especificación WTS > 0,07

Mezcla	Total de ensayos	Incumplimientos de la Especificación PG-3	Porcentaje
AC11	8	4	50
AC16D	81	37	45,7
AC16G	6	4	66,7
AC16S	170	60	35,3
AC22D	23	8	34,8
AC22G	124	69	55,6
AC22S	254	113	44,5
AC32G	57	27	47,5
AC32S	9	0	0
AC8	40	13	32,5
BBTM11A	21	1	4,8
BBTM11B	73	24	32,9
BBTM8A	4	3	75
BBTM8B	1	1	100
PA11	2	1	50
SMA	17	0	0

interlaboratorios durante los años 2012-2014. Las mezclas ensayadas son representativas de las más utilizadas en España: tres AC16, una AC22 y una BBTM11B. El número de laboratorios participantes en cada ronda varía desde 8 hasta 17 laboratorios.

El análisis de los resultados se inicia con un estudio estadístico de los datos aportados por todos los participantes, para determinar si existen valores anómalos y, en su caso, eliminarlos. Para ello, se van a utilizar las técnicas gráficas de consistencia. Este es el proceso inicial del estudio y con él se determina la consistencia inter-laboratorios (reproducibilidad) (relacionado con el valor de h), e intra-laboratorios (repetibilidad) (relacionado con el valor de k), comparando los valores obtenidos frente a unos valores de referencia en función del número de laboratorios participantes y del número de repeticiones del ensayo en cada laboratorio [1]. Con los valores considerados aceptables se calcula el valor medio, la varianza de repetibilidad intra-laboratorio, la varianza de reproducibilidad inter-laboratorios y la reproducibilidad total asociada al método. Los cálculos utilizados son los descritos en la UNE 82009-2. Los valores de repetibilidad y reproducibilidad

se han calculado a partir de las desviaciones estándar correspondientes mediante las ecuaciones siguientes:

$$r = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot s_r$$

$$R = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot s_R$$

Los resultados obtenidos para la repetibilidad se resumen en la Tabla 5.

En el primer ejercicio (I-1), además de la mezcla bituminosa, se proporcionaron a cada laboratorio dos probetas ya compactadas. De esta tarea de compactación se encargaron dos laboratorios, cada uno de ellos representativo de un modelo comercial de compactador diferente. Se trataron por separado los resultados de las probetas fabricadas en los diferentes laboratorios a partir de la mezcla bituminosa suministrada (I-1, prob. int. en la Tabla 5) y los obtenidos con las probetas ya compactadas (I-1, prob. ext. en la tabla 5), con el fin de ver la influencia de la compactación. No se observaron diferencias significativas ni en los valores medios ni en los correspondientes a repetibilidad.

Tabla 5. Valores de repetibilidad para WTS y PRD obtenidos en los ejercicios interlaboratorios de ALEAS.

	I-1 (prob. int)	I-1 (prob. ext)	I-2	I-3	I-4	I-5
Denominación	AC16 surf S	AC16 surf S	AC16S	AC22 bin S	BBTM 11B	AC16surf S
WTS						
Valor asignado	0,058	0,055	0,099	0,074	0,092	0,063
s_r	0,018	0,018	0,058	0,017	0,014	0,007
r	0,051	0,050	0,165	0,049	0,039	0,019
CV_r (%)	31	33	53	23	13	10
%PRD						
Valor asignado	3,98	4,09	4,89	4,48	6,82	3,46
s_r	0,60	0,51	0,53	0,41	0,54	0,52
r	1,69	1,44	1,50	1,17	1,52	1,48
CV_r (%)	15	12	10	9	8	15

Tabla 6. Valores de reproducibilidad para WTS y PRD obtenidos en los ejercicios interlaboratorios de ALEAS.

	I-1 (prob. int)	I-1 (prob. ext)	I-2	I-3	I-4	I-5
Denominación	AC16 surf S	AC16 surf S	AC16S	AC22 bin S	BBTM 11B	AC16surf S
WTS						
Valor asignado	0,058	0,055	0,099	0,074	0,092	0,063
s_r	0,024	0,022	0,039	0,029	0,056	0,012
r	0,069	0,063	0,109	0,081	0,157	0,034
CV_r (%)	41	40	39	39	61	19
%PRD						
Valor asignado	3,98	4,09	4,89	4,48	6,82	3,46
s_r	0,85	0,77	0,95	1,07	3,82	1,17
r	2,39	2,18	2,67	3,00	10,69	3,28
CV_r (%)	21	19	19	24	56	34

Si descartamos los resultados del I-2, en el que se obtienen valores muy elevados de s_r , podemos concluir que los valores de repetibilidad, r , están en el intervalo 0,05-0,02, para WTS y 1,7-1,2 para PRD.

En la norma se especifica que el valor de ambos parámetros será la media de los obtenidos sobre dos probetas, pero no se especifica ningún valor para la diferencia entre los resultados de las probetas para admitir el ensayo como válido. Este valor se debería deducir de r . Teniendo en cuenta que las especificaciones del PG-3 indican saltos de

categorías para WTS de 0.03, parece que considerar válido un valor de r de 0.05 es excesivo y compromete el cumplimiento de especificaciones, por lo que parece más adecuado proponer un valor de 0.02 como diferencia máxima admisible para dos probetas ensayadas en condiciones de repetibilidad.

En el estudio de reproducibilidad, para el tratamiento de datos se ha utilizado, además de la UNE-82009, la estadística robusta descrita en la norma ISO 13528. El uso de estadísticas robustas para tratar los datos de los ejercicios de intercom-

Deformación plástica de las mezclas bituminosas. Métodos de caracterización y aplicabilidad en las obras

Tabla 7 Resultados de ejercicios interlaboratorios según EN 12697-22.

Organizador	Fecha	Mezcla	n° lab	% PRD			WTS		
				media	SR	%CV	media	SR	%CV
Organización 1	2008	AC16D	7	13,6	2,7	20	0,288	0,116	40
Organización 1	2008	AC22S	7	8,6	1,5	17	0,215	0,061	28
Organización 1	2008	D12	10	5,3	1,279	24	0,082	0,033	40
Organización 1	2008	S20	10	1,6	1,577	-	0,081	0,024	30
Organización 1	2009	AC22S	11	4,078	1,1	27	0,084	0,03	36
Organización 1	2010	BBTM11A	14	4,2	1,21	29	0,036	0,017	47
Organización 1	2010	AC22S	14	3,8	0,81	21	0,058	0,0224	39
Organización 2	2011	AC16S	14				0,08	0,03	38
Organización 2	2012	AC16S	14				0,05	0,02	40
Organización 3	2012	AC16S	7	3,07	0,761	25	0,096	0,05	52
Organización 3	2014	BBTM 11A BM3C	7	4,72	1,00	21	0,054	0,014	26

paración, se considera más adecuado, especialmente cuando, como es nuestro caso, el número de participantes no es muy elevado. Por ello se ha aplicado la metodología descrita en la norma ISO 13528 a los datos de estos ejercicios y se han comparado los resultados de ambas metodologías (ISO 13528 y UNE 82009).

El tratamiento según ISO 13528 es más selectivo a la hora de detectar resultados anómalos, con lo que los valores de s_R pueden mejorar en relación a los obtenidos siguiendo la sistemática de la UNE 82009. En cuanto a los valores medios, no se obtienen diferencias significativas entre tratamientos. En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos con el tratamiento ISO 13528, excepto para el ejercicio I-1, que solo se ha tratado con UNE 82009.

Los valores de R se encuentran entre 0.03 y 0.16. En valores relativos, estamos en %CV entre el 20 y el 40% (exceptuando valores extremadamente altos en I-4). Estos altos valores de R hacen que sea muy complicado asegurar el cumplimiento de especificaciones, pues claramente solapan el valor de las diferencias entre categorías. Estos valores son del orden de los obtenidos en otros ejercicios realizados anteriormente en España, desde 2008 (Tabla 7).

Los valores encontrados son también comparables a los publicados por Puchard et al [2] en estudios interlaboratorios realizados en Hungría, siguiendo el mismo método de ensayo. En este trabajo solo se recogen valores de PRD, y los va-

lores de CVR se encuentran entre el 25 y el 53 %. Aquí también resaltan la carencia de datos de reproducibilidad en la norma, que no permiten una adecuada interpretación de los resultados. Para otros ensayos del mismo tipo ("Hamburg wheel tracking test"), los valores de precisión encontrados en bibliografía [3, 4] tampoco mejoran sensiblemente los encontrados en este trabajo.

3.1 Influencia de la compactación

En los diferentes ejercicios realizados se ha tratado de ver si existían diferencias en los siguientes elementos:

- Los resultados obtenidos entre probetas fabricadas en un solo laboratorio o en varios laboratorios, ensayadas en diferentes laboratorios. No se han observado diferencias significativas entre resultados.
- Los resultados para probetas fabricadas en dos modelos de compactadores y en distintos laboratorios. Tampoco se han observado diferencias significativas.
- Relación entre % compactación y resultado del ensayo: en general, se observa que cuando el porcentaje de compactación supera el 98% de la densidad de referencia, los resultados no varían. Por debajo del 98% (o del

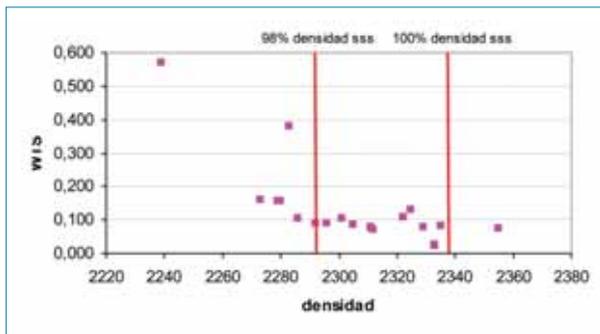


Figura 1. Relación entre WTS y densidad.
Datos para AC16S (Datos de I-2).

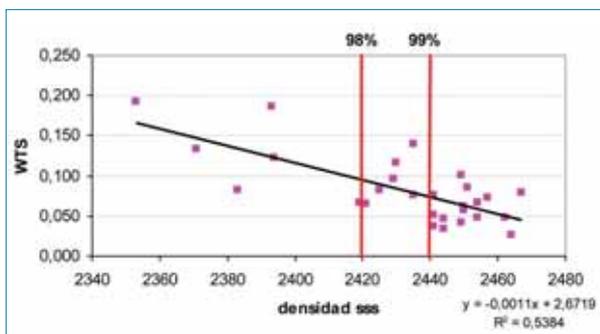


Figura 2. Relación entre WTS y densidad.
Datos para AC22S (Datos de I-3).

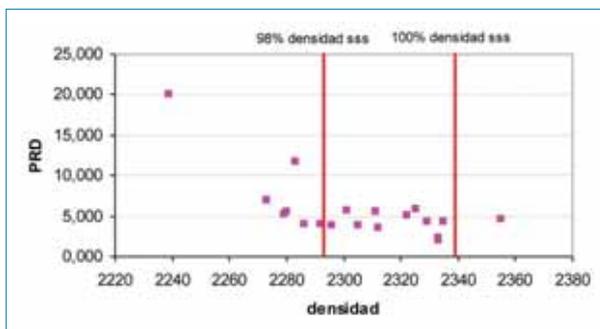


Figura 3. Relación entre PRD y densidad.
Datos para AC16S (Datos de I-2).

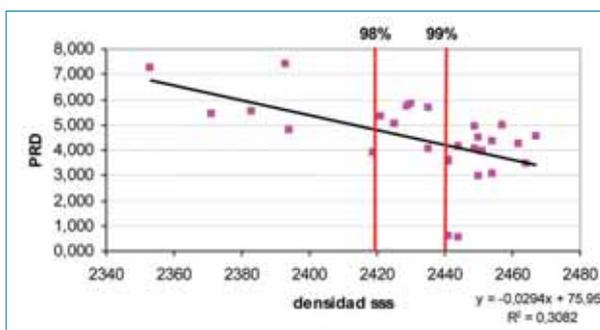


Figura 4. Relación entre PRD y densidad.
Datos para AC22S (Datos de I-3).

99% en algunos casos), los valores de WTS y PRD se disparan. En las Figuras 1 y 2 se muestran los resultados de correlación de densidad y WTS obtenido en las rondas I-2 e I-3. En las Figuras 3 y 4 se relacionan los valores de PRD y densidad.

3.2 Otros factores de influencia

Tras una revisión de la norma UNE-EN 12697-22, se ha encontrado, en el apartado 6.3.1.7, referido a los equipos utilizados, que la tolerancia requerida para el dispositivo de medir la posición horizontal de la rueda es de $\pm 0,2$ mm. Esta tolerancia puede conducir a altos valores de incertidumbre en la determinación de WTS y PRD. Ante dicha duda, se ha verificado que los laboratorios participantes disponen de equipos con un nivel de tolerancia mucho más estricto, por lo que no parece que la incertidumbre de los ensayos provenga de este factor. En cualquier caso, la redacción de la norma tendría que modificarse para evitar malas praxis futuras.

Es de destacar que el grupo ALEAS ha elaborado una herramienta y una metodología para el cálculo de las tolerancias de cada ensayo en un laboratorio particular. La herramienta de cálculo se puede descargar del siguiente link: <http://www.asefma.es/aleas/>

También es de destacar que se ha obtenido un cierto nivel de mejora de la reproducibilidad mediante el uso de un protocolo estricto de ensayo. Por definición, las normas de ensayo deberían ser no interpretables, con una redacción de significación unívoca. En la práctica no es así, por lo que el grupo de trabajo elaboró protocolos de aplicación para todos los laboratorios que han intervenido en las diversas fases del estudio interlaboratorios. Estos protocolos especifican como realizar la verificación del equipo, la forma de compactar la muestra y la realización del ensayo. En esta línea, ALEAS tiene previsto publicar un catálogo de protocolos de ensayo para aquellos más habitualmente utilizados.

4. Conclusiones y acciones futuras

En cuanto a conclusiones generales se pueden destacar las siguientes:

- No se obtienen valores mejores de WTS al aumentar la densidad de las probetas, una vez superado el 98% de la

Deformación plástica de las mezclas bituminosas. Métodos de caracterización y aplicabilidad en las obras

densidad de referencia. No se observan diferencias significativas entre las probetas compactadas en compactadores de las dos modelos disponibles. Tampoco se observan diferencias significativas en los valores de PRD y WTS entre las probetas fabricadas en cada laboratorio (internas) y las externas.

- El tratamiento de datos según ISO 13528 es más selectivo a la hora de detectar resultados anómalos, lo que permite obtener valores de s_R más bajos que los que se obtienen aplicando el tratamiento de la UNE 82009. Las diferencias entre los valores asignados, aunque no son elevadas, son mayores cuanto más se alejan los datos de una distribución normal.
- La diferencia de WTS entre los resultados de dos probetas, en condiciones de repetibilidad, no debería ser superior 0.02. Para PRD, la diferencia debería ser inferior a 1.5%.
- Teniendo en cuenta las especificaciones vigentes, la diferencia entre los resultados de dos laboratorios no debería ser superior de 0.03 para WTS. Esto supone valores de s_R del orden de 0.01, considerablemente mejores de los obtenidos en las condiciones actuales del método de ensayo.
- Los resultados obtenidos para R son muy altos lo que cuestiona la validez de los resultados en cuanto al cumplimiento de especificaciones. Una vez evaluada la influencia de la compactación, es necesario evaluar el propio método de ensayo para tratar de reducir la variabilidad del mismo.

Las futuras acciones estarían encaminadas a:

- Identificar las causas que conducen a los altos valores de reproducibilidad y tratar de minimizarlas. En esta línea, ya se han iniciado una serie de trabajos que incluyen la elaboración de protocolos detallados para la compactación y realización del ensayo, y para la validación interna del método. En la actualidad, se están llevando a cabo estos estudios de validación.

- Estudiar la adecuación de las tolerancias/incertidumbres en calibración de los equipos establecidas en la norma y las reales de los equipos que se están utilizando. Se trabaja para ello en colaboración con el grupo de estimación de incertidumbre de ALEAS.
- Proponer criterios que tengan en cuenta la precisión del ensayo de forma que se pueda asegurar el cumplimiento de las tolerancias establecidas en las especificaciones.

5. Agradecimientos

Este trabajo no hubiese sido posible sin la valiosa colaboración de las organizaciones que componen ALEAS <http://www.asefma.es/aleas/>, y especialmente de los miembros del grupo de trabajo "pista de ensayo" que han colaborado en las diversas fases del trabajo descrito.

En la realización de este trabajo han colaborado laboratorios de 21 empresas fabricantes y laboratorios de control: Acciona, Asfaltos y Construcciones Elsan, Beca, Centro Regional de Control de Calidad de la Junta de Castilla y León, Cepsa-Proas, Collosa, Ditecpesa, Eiffage (plantas de Madrid, Sevilla y Valencia), Grupo Campezo, Intemac, Laboratorio General de la Diputación de Alava, Los Serranos, Pavasal, PAS, Probisa, Repsol, Sacyr, Sorigué.

En la fabricación de las muestras han participado las siguientes plantas: Eiffage Madrid, Los Serranos (Abanilla, Murcia), Asfaltos San Felices (Logroño), Asfaltos Vicalvaro (Alovera, Guadalajara), Tecnofirmes (Alcover, Tarragona).

6. Referencias bibliográficas

- [1] Barral, M; Calvo, M; Tamayo, S.2013. Ejercicio de intercomparación de ensayos de control de mezclas bituminosas. Asfalto y Pavimentación, nº11, 4º trimestre, 15-27.
- [2] Puchard, Z; Görgeny, A. Repeatability and Reproducibility of wheel-tracking tests. 5th Euroasphalt & Eurobitume Congress. Istanbul, June 2012
- [3] NCHRP Project 10-87 Precision estimates of AASHTO T 324, "Hamburg Wheel-track testing of compacted hot mix Asphalt (HMA)", October 2014
- [4] Runhua Guo a & Jorge A. Prozzi. A statistical analysis of Hamburg Wheel Tracking Device testing re-

sults. Road materials and pavement design. Icam 2009, 327- 335.

- UNE-EN 12697-22:2008+A1:2008. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: ensayo de rodadura
- UNE-EN 12697-33:2006+A1:2007. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 33 : Elaboracion de probetas con compactador de placa
- 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 reproducibilidad de un método de medición normalizado.
- ISO 13528.2005 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.

#55

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“Un firme en mal estado aumenta las emisiones de GEI del tráfico. Las mezclas asfálticas permiten repararlo de un modo fácil, rápido y eficiente” (EAPA-Road pavement industries highlight huge CO2 savings)

#SOSTENIBILIDAD_Y_MEDIO_AMBIENTE