

ANÁLISIS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE (UNE-EN 12697-22): CONCLUSIONES DEL GRUPO DE TRABAJO DE ALEAS

CARMEN CALVO

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

JAVIER LOMA

Padecasa.
javierloma@padecasa.com

JOSÉ LUIS PEÑA

Asefma.
jlpena@asefma.com.es

ANÁLISIS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE (UNE-EN 12697-22): CONCLUSIONES DEL GRUPO DE TRABAJO DE ALEAS

RESUMEN

En esta comunicación se presentan los trabajos desarrollados dentro del grupo de trabajo de pista de Aleas, orientados a obtener información sobre el funcionamiento del método de ensayo de resistencia a la deformación permanente según la norma UNE-EN 12697-22. Los trabajos se iniciaron antes incluso de la creación de ALEAS, dentro del grupo 3 de Asefma, a la vista del mayor número de incumplimientos con las nuevas especificaciones (Art. 542 del PG-3) respecto a los que se producían cuando se aplicaba la antigua NLT-173.

Inicialmente se realizó una extensa recopilación de los datos existentes para diferentes tipos de muestras, procedentes de fórmulas de trabajo o controles de obra, observándose que aproximadamente un 40% de las mismas no cumplían las especificaciones vigentes en el momento (se superaban los valores de WTS pero no había roderas en las obras), variando los resultados en función del tipo de mezcla. Se continuó con la realización de varios ejercicios interlaboratorio y de precisión interna, encaminados a estudiar el ensayo según la norma UNE-EN 12697-22. Para ello, se elaboraron unos protocolos de verificación de los equipos y de preparación y compactaron de muestra, con el fin de minimizar la dispersión de los resultados de los diferentes laboratorios participantes.

Los resultados obtenidos han permitido obtener los parámetros de precisión del método, repeti-

bilidad y reproducibilidad, para mezclas AC16, AC22 y BBTM, y se han detectado los puntos críticos a la hora de obtener resultados concordantes entre los diferentes laboratorios: Compactación de la muestra, calibración/verificación de equipos, protocolo de ensayo.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las deformaciones permanentes o roderas son uno de los principales tipos de deterioro que pueden presentar las mezclas bituminosas. Se dispone de varios tipos de ensayos para determinar las deformaciones permanentes, que se pueden clasificar en tres grupos: ensayos fundamentales, ensayos empíricos y ensayos de simulación¹. Entre ellos, los ensayos de simulación son muy adecuados para predecir deformaciones. A este tipo pertenece el ensayo normalizado en la EN 12697-22, referencia para evaluar esta propiedad para el mercado CE de mezcla bituminosas y también citado como método de ensayo en las especificaciones de los artículos 542 y 543 del PG-3 (2014) (Tabla 1). También pertenece a este tipo el ensayo NLT-173, especificado en el PG-3 (2004). El ensayo UNE EN 12697-22 proporciona los parámetros siguientes:

- **WTS.** Pendiente de deformación en pista, calculada como velocidad media de aumento de la profundidad de la rodera. Se mide en mm/103 ciclos de carga
- **RD.** Profundidad de la rodera para el material sometido a ensayo en 10000 ciclos, en mm.

**ANÁLISIS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE (UNE-EN 12697-22):
CONCLUSIONES DEL GRUPO DE TRABAJO DE ALEAS**

- **PRD.** Profundidad proporcional de la rodadura para el material sometido a ensayo en 10000 ciclos, en %.

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 WTSaire ≤ 0,10 y PRDaire < 5%.

***Podrán aceptarse valores superiores al indicado si, simultáneamente, se cumple que WTSaire ≤ 0,15 y PRDaire < 5%.

Tabla 1. Pendiente media de deformación en pista (WTSaire) y profundidad media (expresado en %) de la rodadura (PRDaire) 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).

La primera tarea que se 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. En este trabajo participaron 17 laboratorios que facilitaron información, correspondiente a 890 ensayos, sobre diferentes tipos de mezclas, y la conclusión fue que más del 40% de las mezclas no cumpliría la especificación establecida en el PG-3 (Tabla 2).

MEZCLA	Nº 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

Tabla 2. Niveles de incumplimiento de la especificación WTS ≤ 0,07

A la vista de estos resultados, se iniciaron una serie de trabajos encaminados a obtener más información sobre el funcionamiento del método, estableciéndose los siguientes objetivos:

- Establecer protocolos normalizados para la realización del ensayo, incluyendo la preparación de las probetas de ensayo y la verificación de los equipos.
- Obtener datos de precisión: repetibilidad, precisión intermedia y reproducibilidad.
- Estudiar los principales factores que afectan a la precisión.
- Analizar las repercusiones de estos valores de precisión en la interpretación de resultados.

2. ESTIMACIÓN DE LA PRECISIÓN

El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM)² define la precisión de medida como la proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas. Las “condiciones especificadas” pueden ser:

- Condiciones de **repetibilidad**: mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.
- Condiciones de **precisión intermedia**: mismo procedimiento de medición, el mismo lugar y mediciones repetidas del mismo objeto u objetos similares durante un periodo amplio de tiempo, pero que puede incluir otras condiciones que involucren variaciones (operador, equipo).
- Condiciones de **reproducibilidad**: diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares

Para estimar la repetibilidad y la precisión intermedia se han llevado a cabo trabajos de validación del procedimiento de ensayo dentro de cada laboratorio, según un protocolo de validación. Para la estimación de la reproducibilidad se han realizado varias rondas de ejercicios interlaboratorios. Previamente, y con el fin de homogeneizar en lo posible las diferentes formas de trabajo de cada laboratorio, se elaboraron y distribuyeron entre los participantes unos protocolos de trabajo, tanto para la verificación de los equipos como la compactación de las probetas.

En cuanto a la verificación del equipo de pista, se establecieron controles para:

- Neumático: Diámetro, grosor, huella, dureza
- Temperatura
- Sensor de medida de la deformación
- Carga de ensayo
- Velocidad

Se ha elaborado un *Procedimiento de verificación de equipos* donde se describe brevemente como realizar cada control y los valores en los que debe estar nuestro equipo, basándose en las tolerancias de la norma. Los laboratorios participantes deben comprobar, antes de iniciar los ensayos, que su equipo está en buen estado. También se envía a los laboratorios participantes un protocolo de compactación y ensayo, así como una plantilla de registro de resultados.

2.1. Resultados de repetibilidad y precisión intermedia

Se propone un plan de ensayos que consiste en que cada laboratorio seleccione una o varias muestras de las de consumo más habitual. Cada una de estas muestras se ensayará:

- En condiciones de repetibilidad (mismo laboratorio, mismo operador, corto periodo de tiempo): Para ello el laboratorio fabricará seis probetas y las ensayará en el me-

nor tiempo posible (se propone un tiempo máximo de una semana).

- En condiciones de precisión intermedia (o reproducibilidad intra-laboratorio: mismo laboratorio, diferentes operadores, separadas en el tiempo). Se repite el ciclo anterior tres veces, de modo que se tengan resultados de 18 probetas.

Los ensayos se realizan durante el segundo y tercer trimestre de 2015. Participan 11 laboratorios, 3 de los cuales han realizado el protocolo con dos muestras, con lo que el número de muestras ensayadas finalmente es de 14: 10 AC16, 3 BBTM y 1 AC22.

En condiciones de repetibilidad y para el parámetro WTS, la desviación estándar se encuentra entre el 0,003 y el 0,030. El coeficiente de variación medio es del 25%. Para PRD, el coeficiente de variación medio es del 14%. En condiciones de precisión intermedia, algunos laboratorios aumentan sus desviaciones, pero los coeficientes de variación medios no varían significativamente: 18% para PRD y 25% para WTS³.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
Mezcla	BBTM 11*	AC16surf	AC16	AC16bin 35/50S	AC16surf 50/70	BBTM 11B	AC16surf 35/50S	BBTM 11B	AC16	AC16 surf	AC22 binS	AC16 surfS	AC16 surfS	AC16S
Tipo ligante	50/70D	50/70		35/50	50/70		5,11	5,71		50/70	50/70	50/70	50/70	
%ligante	4,73													4,66
Arido	Silíceo		calizo				Pórfido							
%huecos	6,6		9,28							silíceo	caliza	ofita-caliza		
WTS	0,029	0,040	0,045	0,085	0,156	0,050	0,050	0,045	0,076	0,058	0,064	0,092	0,041	0,060
s _r	0,005	0,009	0,003	0,015	0,027	0,026	0,006	0,011	0,035	0,018	0,01	0,030	0,015	0,013
CV _r	17,2	22,5	6,7	17,6	17,3	52,0	12,0	24,4	46,1	31,0	15,6	32,6	36,6	21,7
s _h	0,005	0,009	0,003	0,017	0,033	0,028	0,007	0,011	0,042	0,018	0,01	0,032	0,016	0,017
R	0,014	0,0252	0,008	0,048	0,092	0,078	0,0196	0,031	0,118	0,050	0,028	0,089	0,045	0,048
CV _h	17,2	22,5	6,7	20,0	21,2	56,0	14,0	24,4	55,3	31,0	15,6	34,8	39,0	28,3
PRD	4,235	2,114	3,312	3,441	7,147	5,661	5,767	4,297	5,115	3,018	3,014	4,871	3,143	3,769
s _r	0,379	0,343	0,156	0,402	0,910	1,872	0,108	0,604	1,291	0,837	0,318	0,543	0,646	0,460
CV _r	8,9	16,2	4,7	11,7	12,7	33,1	1,9	14,1	25,2	27,7	10,6	11,1	20,6	12,2
s _h	0,41	0,42	0,179	0,449	0,990	1,936	0,146	0,772	1,506	0,859	0,694	0,992	0,695	0,506
R	1,148	1,176	0,501	1,257	2,772	5,421	0,4088	2,1616	4,217	2,405	1,943	2,778	1,946	1,417
CV _h	9,7	19,9	5,4	13,0	13,9	34,2	2,5	18,0	29,4	28,5	23,0	20,4	22,1	13,4

Tabla 3.- Resultados de las pruebas de validación intra-laboratorio

**ANÁLISIS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE (UNE-EN 12697-22):
CONCLUSIONES DEL GRUPO DE TRABAJO DE ALEAS**

2.2. Resultados de reproducibilidad

Se han organizado 5 rondas interlaboratorios, durante los años 2012-2015. En la tabla 4 vemos un resumen del tipo de mezcla ensayada, la planta que la fabricó y el número de participantes. También en este caso se elaboraron y distribuyeron entre los participantes unos protocolos de trabajo, tanto para la verificación de los equipos como para compactación de las probetas.

	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5
Denominación	AC16 surf S	AC16S	AC22 bin S	BBTM 11B	AC16surf S
Número de participantes	17	6	12	11	7
Fabricante	Eiffage Madrid	Los Serrano, Abanilla (Murcia)	Asfaltos San Felices	Asfaltos Vicálvaro	Tecnum Tarragona
Tipo de árido	pórfido/caliza	calizo	calizo	calizo	
Tipo de ligante		35/50	50/70	45/80-65	50/70
% ligante s/ mezcla	4,8	4,48	4,6	5,04	4,58
densidad máxima (kg/m³)	2505	2488	2633		2488
densidad aparente, ssd (kg/m³)	2405	2334	2472	2120	2358
% VM	4,0	6,2	6,1	15,6	5,2

Tabla 4. Interlaboratorios organizados y características de las muestras (datos proporcionados por el fabricante de la mezcla)

Para la velocidad de deformación, WTS, los valores de desviación estándar en condiciones de reproducibilidad, S_R , se encuentran entre 0,012 y 0,056. En valores relativos, estamos en %CV medios del orden del 40% (exceptuando valores extremadamente altos en I-4). Para la profundidad porcentual de la rodera, PRD, los valores de s_R están entre 0,77 y 1,17% (exceptuando también los valores del I-4), y el coeficiente de variación medio, %CV, estaría en el 23%.

	I-1*	I-1**	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
CVR (%)	21	19	19	24	56	34

*Probetas fabricadas en cada laboratorio a partir de la mezcla bituminosa
**Probetas fabricadas en dos laboratorios de referencia y enviadas al resto de laboratorios, a partir de la misma mezcla bituminosa

Tabla 5. Valores medios y precisión obtenida en los diferentes ejercicios interlaboratorios

Para finalizar, se han recopilado datos de otros interlaboratorios organizados en España desde 2007 (Tabla 6). Comprobamos que los resultados son similares a los obtenidos en las 5 rondas aquí presentadas. Si representamos los datos de desviación

Ejercicio	Fecha	Meda	nº lab	% PRD			WTS		
				media	SR	%CV	media	SR	%CV
Cedex		AC16D	7	13,6	2,7	20	0,288	0,116	40
Cedex		AC22S	7	8,6	1,5	17	0,215	0,061	28
Cedex	may-08	D12	10	5,3	1,27	24	0,082	0,033	40
Cedex	jun-08	S20	10	1,6	1,58	99	0,081	0,024	30
Cedex	nov-09	AC22S	11	4,1	1,1	27	0,084	0,03	36
Cedex		BBT-M11A	14	4,2	1,21	29	0,036	0,017	47
Cedex		AC22S	14	3,8	0,81	21	0,058	0,0224	39
CIESM	sep-11	AC16S	14				0,08	0,03	38
CIESM	nov-12	AC16S	14				0,05	0,02	40
Dip Alava	dic-12	AC16S	7	3,1	0,76	25	0,096	0,05	52
Aleas	2012	AC16	15	4,0	0,85	21	0,058	0,024	41
Aleas	2012	AC16	17	4,1	0,77	19	0,055	0,022	40
Aleas	2012	AC16	6	4,9	0,95	19	0,099	0,039	39
Aleas	2013	AC22	12	4,5	1,07	24	0,074	0,029	39
Aleas	2013	BBTM 11B	8	6,8	3,82	56	0,092	0,056	61
Aleas	2012	AC16	7	3,5	1,17	34	0,062	0,012	19
Dip Alava	2014	BBTM 11A	7	4,7	1,01	21	0,054	0,02	37
Dip Alava	2014	BBTM 11A	7	4,7	1,00	21	0,054	0,014	26

Tabla 6. Resumen de los datos de precisión de rondas interlaboratorios para el ensayo EN 12697-22 realizados en España desde 2007

estándar frente a WTS o PRD, observamos una cierta tendencia, que en términos de coeficiente de variación, % CV, se traduce en los valores medios de las 18 rondas: el 39% para WTS y de 23% para PRD.

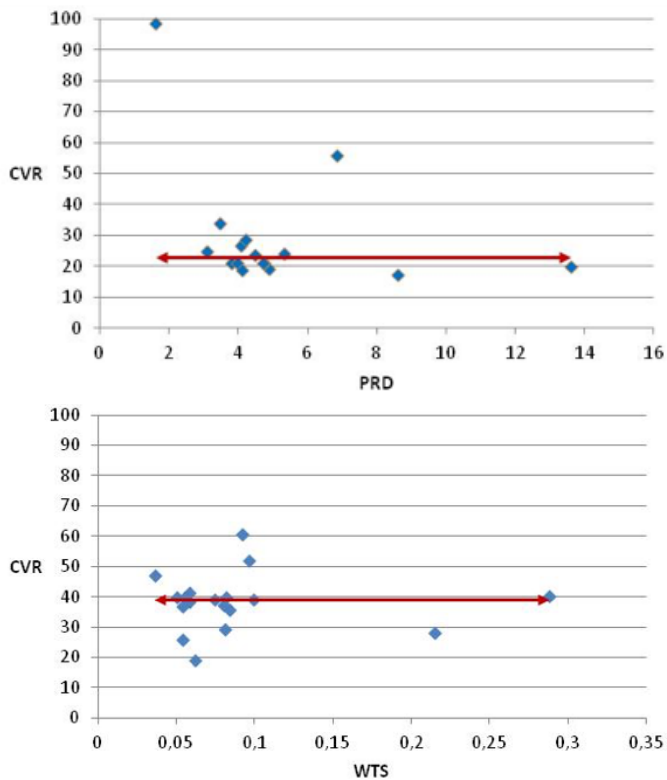


Figura 1. Valores de CVR frente a WTS y PRD obtenidos en diferentes rondas interlaboratorio

2.3. Comparación de resultados de precisión intermedia y reproducibilidad

En las figuras siguientes se comparan los resultados obtenidos para la desviación estándar de reproducibilidad

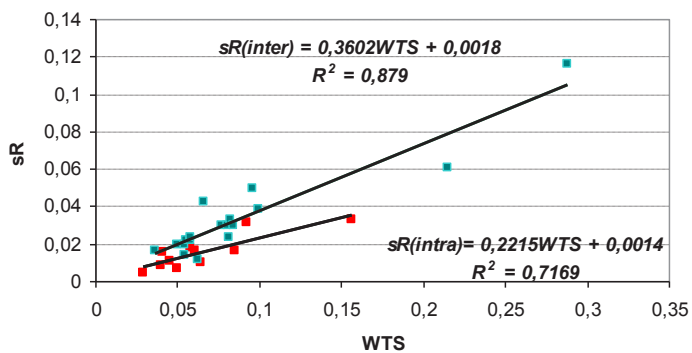


Figura 2. Comparación de la precisión obtenida en pruebas intra e interlaboratorio, para WTS

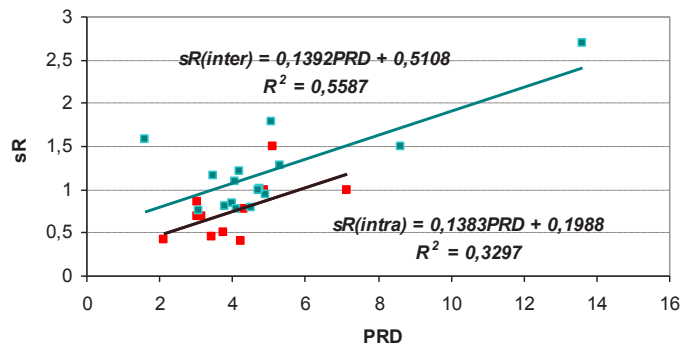


Figura 3. Comparación de la precisión obtenida en pruebas intra e interlaboratorio, para PRD

cibilidad obtenidos en las pruebas de validación (intra-laboratorio) y los obtenidos en los ejercicios de intercomparación (tabla 6), tanto para WTS como para PRD.

Para WTS, obtenemos correlaciones aceptables con S_{R_i} y se observan valores más bajos en las pruebas realizadas intra-laboratorio. Para PRD las correlaciones son peores, aunque también se obtienen resultados mejores en las pruebas intra-laboratorio. Estos resultados son razonables, teniendo en cuenta que se ha eliminado una fuente de variabilidad importante.

A conclusiones similares llegamos si analizamos los datos a partir de los valores medios de CVR, como vemos en la tabla siguiente:

	%CVR (PRD)	%CVR (WTS)
Intra-laboratorio	18	25
Inter-laboratorio	23	39

Tabla 7.- Coeficientes de variación medios obtenidos PRD y WTS en condiciones de reproducibilidad intra e inter-laboratorios

2.4. Influencia de la compactación

Se ha observado que la compactación de la muestra influye de forma determinante en los resultados del ensayo. Cuando la compactación no alcanza el 98% de la densidad de referencia, se obtienen resultados más elevados tanto para WTS como para PRD. Una vez conseguido este % de compactación, no se han observado diferencias entre probetas fabrica-

dos en diferentes compactadores, de diferentes laboratorios o con secuencias de compactación diferentes³.

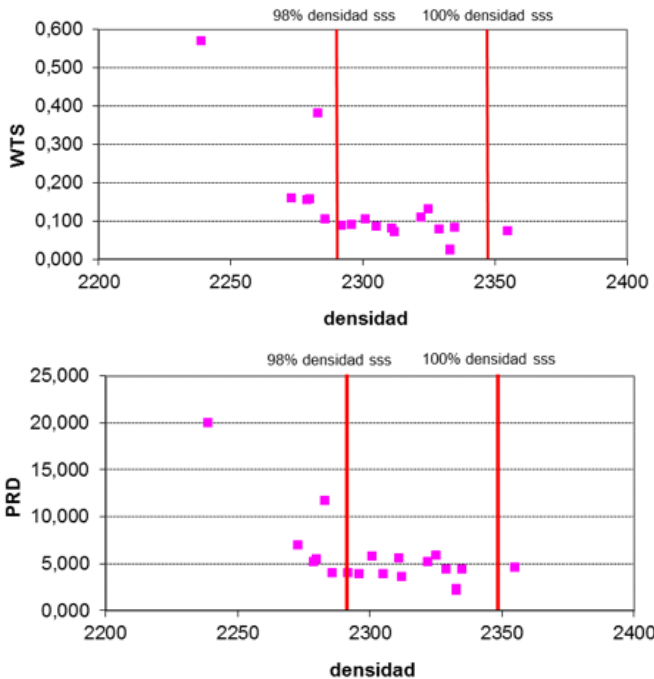


Figura 4. Relación entre los valores de WTS y PRD y densidad de las probetas (Datos del I-2)

3. UTILIZACIÓN DE LOS VALORES DE PRECISIÓN EN EL CONTROL INTERNO Y EN LA INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se van a recoger algunas de las posibles aplicaciones de los resultados obtenidos en los apartados anteriores tanto en el control interno de los laboratorios como en la comparación de resultados de diferentes laboratorios, o en la verificación del cumplimiento de especificaciones.

3.1. Datos de repetibilidad y precisión intermedia

Los datos de repetibilidad tienen aplicación directa a la hora de establecer criterios de aceptación de resultados cuando un laboratorio ensaya una muestra, ya que la norma de ensayo exige que al menos se ensayen dos probetas y habitualmente estos ensayos se realizan en condiciones de repeti-

bilidad. En la norma se indica que el resultado será la media de las, al menos, dos determinaciones, pero no establece ninguna diferencia máxima entre los resultados para que el valor medio se pueda considerar válido. Si un laboratorio ha evaluado su repetibilidad, r , a partir de su desviación estándar de repetibilidad, s_r , mediante la expresión:

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

La diferencia máxima admisible entre sus resultados no deberá ser superior a ese valor de r , debiendo repetir en ensayo en caso de no alcanzar esta condición.

Los datos de precisión intermedia se pueden aplicar al control de calidad, a la hora de establecer los límites de control en los gráficos de control de control de calidad.

3.2. Datos de reproducibilidad

Los datos de reproducibilidad permiten comparar los resultados de dos laboratorios. Si un método de ensayo tiene una reproducibilidad R estimada a partir de su desviación estándar de reproducibilidad, s_R , mediante la expresión:

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

La diferencia máxima admisible entre los resultados proporcionados por dos laboratorios para esa muestra no deberá ser superior a ese valor de R . Cuando sus resultados superen ese valor, se deberán analizar causas, desde problemas de homogeneidad en la toma de muestras hasta errores en los ensayos de alguno de los laboratorios. Para conocer el valor más representativo de la muestra será preciso repetir los ensayos o contrastar los resultados con un tercer laboratorio.

Para verificar el cumplimiento de especificaciones cada laboratorio deberá estimar su incertidumbre. La precisión del método es una contribución muy importante de la incertidumbre. En determinadas condiciones^{4,5} se puede considerar una buena estimación de la incertidumbre

$I=2sR$, siendo sR la desviación estándar obtenida en condiciones de reproducibilidad, como ejercicios interlaboratorio. Conocido este valor, la Guía G-ENAC-15⁶ establece las siguientes recomendaciones para informar sobre el cumplimiento de un determinado límite superior de especificación (un límite inferior se trata de forma similar):

(a) Cumplimiento: si el resultado de la medida más la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95 % no supera el límite de especificación, entonces se puede declarar el cumplimiento con la especificación (ver caso 1 de la figura 1).

(b) No-cumplimiento: si el resultado de la medida menos la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95 % supera el límite de especificación, entonces se puede declarar el no cumplimiento con la especificación (ver el caso 4 de la figura 1).

(c) Si el resultado de la medida más/menos la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95 % incluye el límite (ver los casos 2 y 3 de la figura 1) no es posible declarar el cumplimiento o no-cumplimiento.

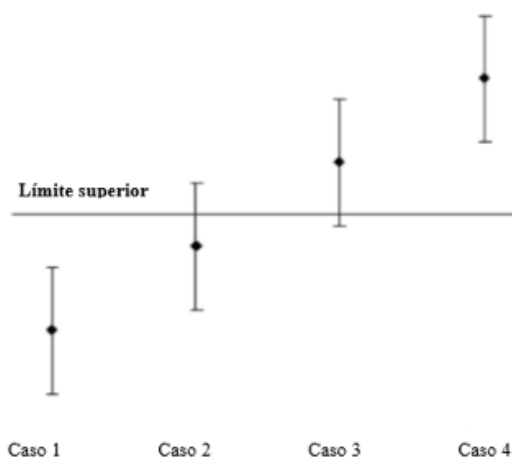


Figura 5.- El cumplimiento con la especificación para un límite superior

4. CONCLUSIONES

Los trabajos realizados por el grupo de trabajo de pista de ALEAS han permitido un mejor conocimiento del método de ensayo y se han traducido en:

- Elaboración de protocolos normalizados para unificar y clarificar los criterios de las normas de ensayo, centrados en tres puntos:
 - Verificación de equipos
 - Preparación y compactación de probetas de ensayo
 - Realización del ensayo
- Establecimiento de los puntos críticos a la hora de realizar el ensayo:
 - Preparación y compactación de muestra: Es preciso alcanzar una densidad en las probetas de ensayo superior al 98% de la densidad de referencia
 - Adecuado estado de los equipos en cuanto a calibración/verificación. Es especialmente crítico el control del sensor de deformación (tolerancia máxima de calibración $\pm 0,05$ mm)
 - Estimación de la precisión del ensayo, en términos de repetibilidad y reproducibilidad (Tabla 7), y aplicación de estos valores tanto en el control interno como en la declaración de cumplimiento con especificaciones.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la inestimable colaboración de los siguientes empresas y administraciones públicas: Acciona, Asfaltos y Construcciones Elsan, Becsa, CEDEX, Centro Regional de Control de Calidad de la Junta de Castilla y León, Cepsa-Proas, Collosa, CIESM, , Ditecpesa, Eiffage (plantas de Madrid, Sevilla y Valencia), Grupo Campezo, Intemac, Laboratorio General de la Diputación de Alava, Labora-

torio de la Dirección General de Carreteras de la Región de Murcia, Los Serrano, Pavasal, PAS, Probisa, Repsol, Sacyr, Sorigué. En la fabricación de las muestras han participado las siguientes plantas: Eiffage Madrid, Los Serrano (Abanilla, Murcia), Asfaltos San Felices (Logroño), Asfaltos Vicalvaro (Alovera, Guadalajara), Tecnofirmes (Alcover, Tarragona).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García Travé, G.M. (2012) "Análisis comparativo del comportamiento mecánico de mezclas bituminosas. Normativa NLT - Normativa UNE-EN" Tesis doctoral. Universidad de Granada.
2. Vocabulario Internacional de Metrología (VIM). 3ª Edición. 2012
3. Calvo, C., Loma J., Peña J.L. (2017). "Deformación plástica de las mezclas bituminosas. Métodos de caracterización y aplicabilidad en las obras". Asfalto y Pavimentación nº 24. p.19
4. Nordtest Technical Report 537 Ed. 3.1 2012. Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories.
5. Eurolab 1/2007. Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation.
6. G-ENAC-15 Rev. 1 Julio 2009 Directrices para informar sobre el cumplimiento con especificaciones (ILAC G8:03/2009).

Normas citadas:

UNE-EN 12697-22:2008+A1:2008. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: ensayo de rodadura

NLT 173/00. Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio. Normas NLT de ensayo de carreteras. Cedex, 2000