

EVALUACION DE LA RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLASTICAS DE MEZCLAS FORMULADAS A PARTIR DE LA NORMATIVA ESPAÑOLA Y FRANCESA

R. MIRO; F. PEREZ JIMENEZ; M. OLIVIER
Universidad Politécnica de Cataluña

F. MOUTIER
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Nantes

RESUMEN

A pesar de que la estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas constituye una de las propiedades más estudiadas de las mezclas bituminosas, considerada en prácticamente todos los métodos de diseño y dosificación, especialmente en aquellos países en los que, por sus características climatológicas y del tráfico, la red de carreteras ha presentado, en algún momento, problemas de roderas, los ensayos y criterios para evaluarla distan mucho de ser coincidentes.

La estabilidad se suele evaluar mediante ensayos de base fundamentalmente empírica: Marshall, Hubbard-Field, Hvemmm, Duriez, etc., en los que las probetas de mezcla se llevan hasta la rotura mediante una sollicitación típica de cada ensayo, y la carga de rotura es lo que se denomina estabilidad de esa mezcla. También se utilizan ensayos de simulación, como el de la máquina de pista o el de la máquina giratoria que evalúan la deformación de la mezcla bajo determinadas condiciones de carga y temperatura. Por último, existen ensayos en los que el tipo de sollicitaciones es muy similar al que estará sometida la mezcla en servicio, como el ensayo triaxial dinámico o el ensayo de corte.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) propone la huella o velocidad de deformación en máquina de pista, prEN 12697-22 (1999), tanto como requisito empírico como fundamental de las mezclas bituminosas, además del ensayo de compresión cíclica triaxial o el de compresión uniaxial. Por ello, en el trabajo que aquí se presenta, se ha escogido el ensayo de pista para evaluar la resistencia a la deformación permanente de las mezclas bituminosas.

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento frente a las deformaciones plásticas de dos mezclas, habitualmente utilizadas como capa de rodadura, fabricadas con los mismos materiales pero formuladas a partir de dos normativas diferentes: la primera según la normativa española, basada en el ensayo Marshall, y la segunda según la normativa francesa, basada en el compactador giratorio (PCG). Las mezclas así formuladas se han ensayado en la máquina de pista de acuerdo a la normativa española, NLT-173/84. La formulación francesa se ensayó también con la máquina de pista LPC de acuerdo a la normativa francesa, NFP 98-253-1, con objeto de comparar los dos procedimientos de ensayo.

Este trabajo se ha realizado en el Laboratorio de Caminos del Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio de la Universidad Politécnica de Cataluña (España), con la colaboración del Laboratoire des Matériaux de Chaussées du LCPC (Section LMR, Division MSC) de Nantes (France).

EVALUACION DE LA RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLASTICAS DE MEZCLAS FORMULADAS A PARTIR DE LA NORMATIVA ESPAÑOLA Y FRANCESA

R. MIRO; F. PEREZ JIMENEZ; M. OLIVIER
Universidad Politécnica de Cataluña

F. MOUTIER
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Nantes

1. INTRODUCCION

Las mezclas bituminosas son uno de los materiales más empleados, tanto en España como en Francia, para la construcción de pavimentos. Son materiales heterogéneos, compuestos básicamente por una mezcla de áridos y de ligante hidrocarbonado, que confieren a la mezcla las características estructurales y funcionales exigidas por las condiciones de servicio.

La capa de rodadura es la capa del firme que debe soportar la acción directa del tráfico y por lo tanto absorber una gran parte de los esfuerzos horizontales y verticales que supone. Por otra parte, debe garantizar las condiciones de adherencia y de regularidad adecuadas. Así pues, su dimensionamiento y la elección de la mezcla que la forma son muy importantes. Dentro de los deterioros que suelen aparecer en este tipo de capas se encuentra el fenómeno de las deformaciones plásticas o roderas.

Las roderas corresponden a una deformación transversal, por hundimiento a lo largo de las rodadas, acompañado en general de cordones laterales por fluencia del material del pavimento. Son deterioros que se producen por acumulación de deformaciones plásticas debidas a la aplicación repetida de cargas de tráfico, especialmente en condiciones de altas temperaturas o bajas velocidades de aplicación de las cargas.

En la tendencia de una mezcla a presentar deformaciones plásticas pueden intervenir, en primera aproximación, la naturaleza de los áridos y la composición granulométrica de la mezcla, la naturaleza del ligante y su proporción en la mezcla, y las condiciones de carga y de temperatura. Juegan así un papel importante no sólo las propiedades de los materiales empleados sino también los métodos y criterios de formulación y de ensayo.

2. OBJETIVOS

A pesar de que la estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas constituye una de las propiedades más estudiadas de las mezclas bituminosas, considerada en prácticamente todos los métodos de diseño y dosificación, especialmente en aquellos países en los que, por sus características climatológicas y del tráfico, la red de carreteras ha presentado, en algún momento, problemas de roderas, los ensayos y criterios para evaluarla distan mucho de ser coincidentes.

La estabilidad se suele evaluar mediante ensayos de base fundamentalmente empírica: Marshall, Hubbard-Field, Hvemmm, Duriez, etc., en los que las probetas de mezcla se llevan hasta la rotura mediante una sollicitación típica de cada ensayo, y la carga de rotura es lo que se denomina estabilidad de esa mezcla. También se utilizan ensayos de simulación, como el de la máquina de pista o el de la máquina giratoria que evalúan la deformación de la mezcla bajo determinadas condiciones de carga y temperatura. Por último, existen ensayos en los que el tipo de sollicitaciones es muy similar al que estará sometida la mezcla en servicio, como el ensayo triaxial dinámico o el ensayo de corte.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) propone la huella o velocidad de deformación en máquina de pista, prEN 12697-22 (1999), tanto como requisito empírico como fundamental de las mezclas bituminosas, además del ensayo de compresión cíclica triaxial o el de compresión uniaxial. Por ello, en el trabajo que aquí se presenta, se ha escogido el ensayo de pista para evaluar la resistencia a la deformación permanente de las mezclas bituminosas.

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento frente a las deformaciones plásticas de dos mezclas, habitualmente utilizadas como capa de rodadura, fabricadas con los mismos materiales pero formuladas a partir de dos normativas diferentes: la primera según la normativa española, basada en el ensayo Marshall, y la segunda según la normativa francesa, basada en el compactador giratorio (PCG). Las mezclas así formuladas se han ensayado en la máquina de pista de acuerdo a la normativa española. La formulación francesa se ensayó también con la máquina de pista LPC de acuerdo a la normativa francesa, con objeto de comparar los dos procedimientos de ensayo.

Este trabajo se ha realizado en el Laboratorio de Caminos del Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio de la Universidad Politécnica de Cataluña (España), con la colaboración del Laboratoire des Matériaux de Chaussées du LCPC (Section LMR, Division MSC) de Nantes (France).

3. METODOLOGIA

El estudio se ha desarrollado siguiendo dos líneas claramente diferenciadas. En primer lugar se ha comparado el comportamiento frente a las deformaciones plásticas, mediante el empleo de la máquina de pista de acuerdo a la normativa española, de dos mezclas habitualmente utilizadas como capa de rodadura, fabricadas con los mismos materiales pero formuladas a partir de dos normativas diferentes:

- Una mezcla española, tipo S-12, con granulometría centrada en el huso definido en la OC 299/89 T [1], empleando el ensayo Marshall para su dosificación, NLT-159/86 [2].
- Una mezcla francesa, tipo BBSG 0/10, definida en la norma NFP 98-130 [3], empleando la máquina giratoria PCG para su dosificación, NFP 98-252 [4].

En segundo lugar, se ha realizado una comparación entre la respuesta de la mezcla frente a las condiciones del ensayo de pista de España y de Francia, ensayando con los dos equipos de medida la misma mezcla bituminosa (BBSG 0/10):

- Máquina de pista de laboratorio española, según la norma NLT-173/84 [5].

- Máquina de pista de laboratorio francesa, según la norma NFP 98-253-1 [6].

Los áridos utilizados proceden de canteras próximas a la ciudad de Barcelona (España). El árido grueso, de naturaleza granítica, procede de la cantera Berta, situada en el municipio de Castellbisbal, y el árido fino, de naturaleza caliza, procede de la cantera Foj, situada en el municipio de Vallirana. El filler utilizado ha sido el filler natural procedente de los propios áridos (fracción fina).

Se ha utilizado un único betún, tipo B-60/70, de penetración 66, punto de reblandecimiento 50.5 °C e índice de penetración - 0.8.

4. FORMULACION DE LAS MEZCLAS ESTUDIADAS

Dosificación mezcla S-12 (mezcla española)

La granulometría de la mezcla S-12 estudiada se ha centrado en el huso correspondiente definido en la OC 299/89 T, Tabla 1.

Tamiz (mm)	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,08
Huso (cernido acumulado en %)	100	80	71	47	30	15	10	6	4
	100	95	86	62	45	25	18	13	8
Granulometría centrada	100	87,5	78,5	54,5	37,5	20	14	9,5	6

Tabla 1. Granulometría de la mezcla S-12

Con esta granulometría y utilizando porcentajes de ligante comprendidos entre 3.5 y 5.5% en peso sobre árido, se fabricaron probetas para el ensayo Marshall.

El ensayo Marshall, norma NLT-159/86, consiste en la rotura de probetas cilíndricas, compactadas por impacto, mediante una aplicación de carga sobre una mordaza perimetral, a velocidad de deformación constante. Los resultados obtenidos en el ensayo para la mezcla S-12 se recogen en la Tabla 2.

Betún (%)	Densidad (g/cm ³)	Estabilidad (kg)	Deformación (mm)	Huecos		
				En mezcla (%)	Áridos (%)	Rellenos (%)
3.5	2.354	2002	2.5	8.0	15.8	49.4
4.0	2.396	2089	2.7	5.7	14.7	61.1
4.5	2.411	2014	3.0	4.4	14.6	69.8
5.0	2.427	1998	3.5	3.1	14.4	78.5
5.5	2.429	1707	3.7	2.3	14.7	84.1

Tabla 2. Ensayo Marshall. Mezcla S-12

Los criterios para la elección del porcentaje óptimo de ligantes, recogidos en la OC 299/89 T, suponiendo un tráfico pesado, son:

Estabilidad (kN):	> 10
Deformación (mm) :	2.0 - 3.5
Huecos en mezcla (%):	4 - 6
Huecos en áridos (%):	≥ 15

En base a estos criterios, el contenido de betún debe estar comprendido entre 3.9% y 4.7%. Teniendo en cuenta la relación ponderal recomendada entre los contenidos de polvo mineral y de ligante hidrocarbonado para capas de rodadura en una zona térmica estival cálida o media (1.3), el contenido óptimo de betún se ha fijado en el 4.3%, porcentaje correspondiente al valor medio del intervalo indicado.

Dosificación mezcla BBSG 0/10 (mezcla francesa)

La granulometría de la mezcla de tipo BBSG 0/10 estudiada se recoge en la Tabla 3. La curva teórica presentada en esta tabla no viene fijada en la normativa, sino que se basa en la experiencia del LCPC para este tipo de fórmulas.

Tamiz (mm)	20	14	12,5	10	8	6,3	4	2	1	0,315	0,08
Pasa teórico (%)	100	100	100	100	94	63	48	38	25	15	8
Pasa obtenido (%)	100	99,9	99,2	86,3	71	60,8	51,1	36	24,3	13,9	8,2

Tabla 3. Granulometría de la mezcla BBSG 0/10

En la Figura 1 se representan las curvas granulométricas de cada fórmula, con el huso o curva teórica asociada correspondiente.

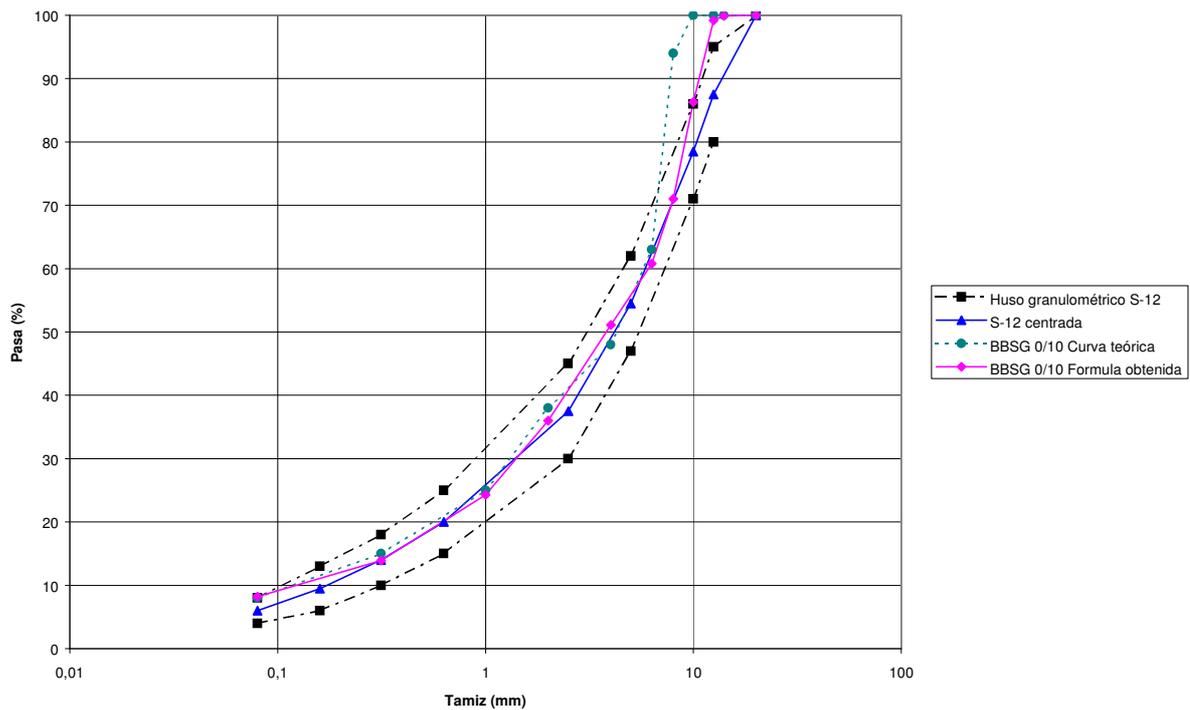


Figura 1. Curva granulométrica de cada una de las formulaciones estudiadas

El ensayo PCG, norma NFP 98-252, comprueba la composición de la mezcla para que ésta sea apta para su compactación, teniendo en cuenta el espesor de la capa considerada. Durante el ensayo se somete una probeta cilíndrica a una compactación por amasado, por movimiento del eje de la probeta, manteniendo constantes la fuerza y el ángulo de giro, en condiciones fijas de temperatura.

Se mide en continuo la evolución de la altura de la probeta y se calcula, para ciertos números de giro, el porcentaje de huecos. Si este porcentaje satisface las condiciones establecidas en la norma del producto estudiado para los números de giro 10 y 10e (donde e corresponde al espesor de la capa puesta en obra, en cm) se acepta el material.

La normativa francesa deja cierta libertad para la elección del contenido de betún. En efecto, en la norma producto viene impuesto un valor del módulo de riqueza. A partir de este valor, se puede determinar, en función de la granulometría elegida, un porcentaje de betún recomendable. La norma NFP 98-130 relativa a las mezclas de tipo BBSG, actualmente en revisión, impone un módulo de riqueza superior o igual a 3.4. En nuestro caso se ha considerado un valor de 3.57, obteniendo un porcentaje de betún del 5.9%.

Los resultados obtenidos del ensayo PCG para la mezcla BBSG 0/10 con un 5.9% de betún cumplen con las especificaciones establecidas. En efecto, se obtiene:

- Para 10 giros, un porcentaje de huecos en mezcla del 14%, cuando la norma producto impone que este valor sea superior al 11%.
- Para 60 giros, un porcentaje de huecos en mezcla del 6%, cuando la norma producto impone que este valor esté comprendido entre el 5 y el 10%.

Estos resultados permiten aceptar el material ensayado, pero no significan que el porcentaje considerado, 5.9%, sea un óptimo. Es un valor posible y conviene verificar el comportamiento de la mezcla frente a las deformaciones plásticas mediante un ensayo de pista.

5. PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLASTICAS MEDIANTE ENSAYO DE PISTA

Máquina de pista de laboratorio (España)

El ensayo de pista de laboratorio en España, NLT-173/84, consiste en someter una probeta prismática de mezcla bituminosa, al paso alternativo de una rueda, en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida. Las probetas, de 30 x 30 x 5 cm, se compactan por vibración.

El ensayo se realiza a una temperatura constante de 60 °C, haciendo pasar una rueda metálica, de 20 cm de diámetro, dotada de una banda de rodadura de goma maciza de 5 cm de ancho y 2 cm de espesor, que ejerce una presión de contacto sobre la superficie de la probeta de 900 kN/m². La frecuencia del movimiento de vaivén es de 42 pasadas por minuto, con un recorrido en cada sentido de 23 cm.

Durante el ensayo se determinan las deformaciones totales de la probeta en los minutos 1, 3 y 5 y a continuación cada 5 minutos hasta completar los primeros 45 minutos y cada 15 minutos hasta finalizar los 120 minutos de duración del ensayo.

El pliego de prescripciones técnicas particulares de la OC 299/89 T fija los valores límites de la velocidad de deformación en el intervalo 105-120 minutos, Tabla 4, debiendo ser inferior a 15 µm/min, para las condiciones más severas de tráfico y temperatura estival.

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

Tabla 4. Velocidades de deformación máximas. OC 299/89 T

Máquina de pista LPC (Francia)

En Francia, la determinación de la resistencia a las deformaciones plásticas de una mezcla se realiza mediante el ensayo de pista de laboratorio definido en la normativa NFP 98-253-1 (julio 1991), completada por la normativa NFP 98-250-2 (noviembre 1997) [7] relativa a la preparación de las probetas para este ensayo.

Una probeta paralelepípeda está sometida a una carga vertical aplicada por el paso alternativo de una rueda. Las características del neumático, las condiciones de frecuencia y amplitud del movimiento, y las condiciones de temperatura son fijas:

- Rueda provista de un neumático liso 400 x 8 de ancho de huella de 8 cm.
- Recorrido del neumático: 410 mm ± 5mm.
- Frecuencia del movimiento de vaivén: 1 Hz ± 0,1 Hz.
- Presión del neumático: 600 kN/m² ± 10 kN/m².
- Carga aplicada: 5000 N ± 50 N.
- Temperatura: 60 °C.

Las dimensiones interiores de los moldes de la probeta son de 180 x 500 x 100 mm ó 180 x 500 x 50 mm, según el espesor de la capa a la que se destina la mezcla estudiada (en nuestro caso se utilizaron probetas de 10 cm de espesor). La compactación se puede realizar según diferentes procedimientos pero se utiliza, siempre que sea posible, un sistema de rueda(s) con neumáticos, compactándose la probeta según tres ejes (dos ejes laterales y un eje central).

Durante el ensayo se mide la profundidad de rodera a 1000, 3000, 10000 y eventualmente a 30, 100, 300, 30000, 100000 ciclos. Se mide también la temperatura de la probeta cada vez que se apunta el valor de la deformación. Cada toma de medidas se hace en 15 puntos distribuidos sobre la superficie de la rodada, y se calcula la profundidad de rodera correspondiente (en porcentaje), aplicando la fórmula:

$$P_i (\%) = 100 [\Sigma (m_{ij} - m_{0j}) / (15 m_0)]$$

dónde: i corresponde al número de orden de medida
 j varia de 1 a 15,
 m₀ es el espesor medio de la probeta,
 m_{ij} es la medida en el punto j, para el número de ciclos i, en mm.

El ensayo acaba cuando el valor medio de (m_{ij}-m_{0j}) supera los 15 mm. A partir de una curva P_i (%) - N (número de ciclos), en escala bilogarítmica, se busca una relación del tipo:

$$Y = A (N/1000)^b$$

dónde: Y es la profundidad de rodera a N ciclos,
 A es la profundidad de rodera a 1000 ciclos,
 b es la pendiente de la recta de regresión en coordenadas bilogarítmicas.

En la norma producto NFP 98-130 se fija un límite de deformación para el rechazo o la aceptación de una mezcla. Se trata en realidad de tres límites que corresponden a tres clases diferentes relacionadas con los niveles de tráfico. Estos límites se recogen en la Tabla 5.

Clase	Profundidad de rodera en porcentaje del espesor de la probeta, para probetas de 10cm de espesor, 30000 ciclos y 60°C, para un porcentaje de huecos comprendido entre un 5 y un 8%
1	≤ 10
2	≤ 7,5
3	≤ 5

Tabla 5. Profundidades de rodera máximas. NFP 98-130

6. EVALUACION DE LA RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLASTICAS DE LAS MEZCLAS ESTUDIADAS

Se presentan a continuación los resultados de los ensayos de pista realizados sobre las dos mezclas estudiadas, siguiendo las normativas de ambos países.

Máquina de pista de laboratorio (España)

La mezcla S-12 se ha ensayado con unos contenidos de betún del 4.0, 4.3 y 4.6%. El 4.3% corresponde al porcentaje óptimo determinado en la formulación, mientras que el 4.0 y el 4.6% corresponden a los extremos del intervalo de porcentaje de betún admisible, según los criterios establecidos en las especificaciones españolas.

Análogamente, la mezcla BBSG 0/10 se ha ensayado con unos contenidos de betún del 4.6, 5.2 y 5.9%. El 5.9% corresponde al porcentaje fijado a partir del resultado obtenido en el ensayo PCG, mientras que el 4.6% corresponde al contenido más elevado empleado en la mezcla española. El 5.2% corresponde al valor medio de este intervalo.

Los resultados obtenidos para cada mezcla, según el procedimiento de ensayo español, se recogen en las Figuras 2 y 3.

A partir de estos resultados, se han podido calcular las velocidades de deformación correspondientes, tanto para los ensayos realizados con la mezcla española como para los ensayos realizados con la mezcla tipo francesa, Tabla 6 y Figura 4. Con la mezcla francesa sólo pudo finalizarse el ensayo con el porcentaje de betún más bajo, 4.6%.

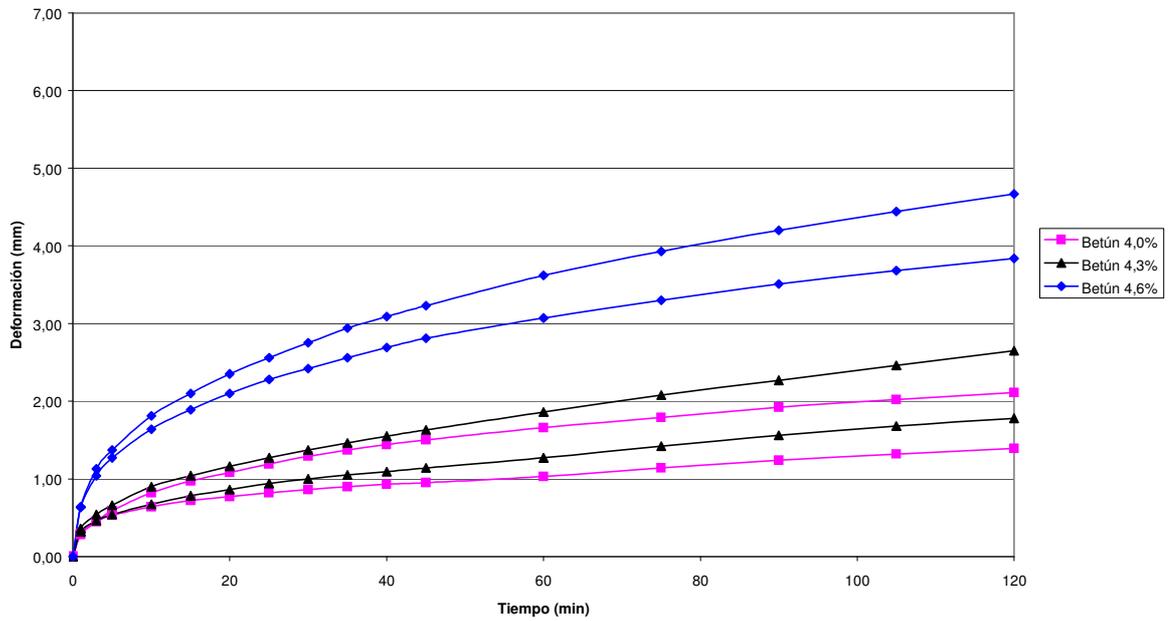


Figura 2. Ensayo de pista de laboratorio, NLT-173/84. Mezcla S-12

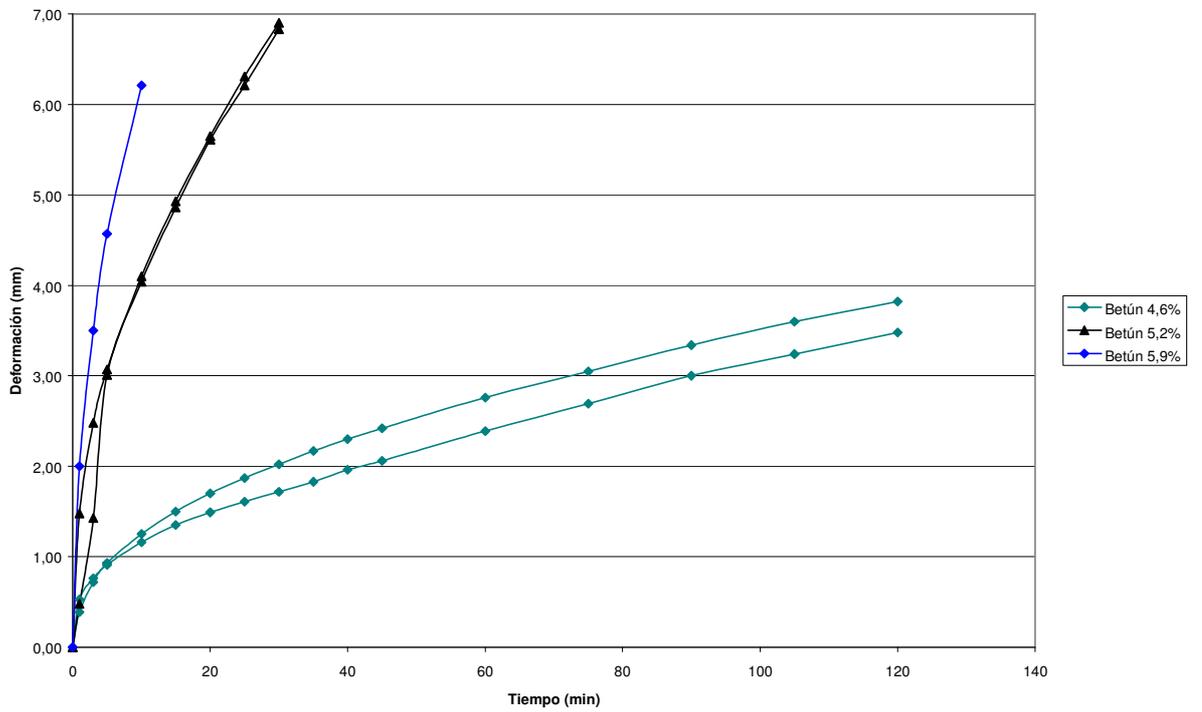


Figura 3. Ensayo de pista de laboratorio, NLT-173/84. Mezcla BBSG 0/10

	S-12 centrada			BBSG 0/10		
Betún (%)	4,0	4,3	4,6	4,6	5,2	5,9
Probeta 1	0,0060	0,0127	0,0153	0,0147	-	-
Probeta 2	0,0047	0,0067	0,0107	0,0160	-	-
v_{105/120} (mm/min)	0,0053	0,0097	0,0130	0,0154	-	-
Desviación estándar	0,0009	0,0042	0,0033	0,0009		

Tabla 6. Velocidades de deformación en 105-120 min, NLT-173/84. Mezclas S-12 y BBSG 0/10

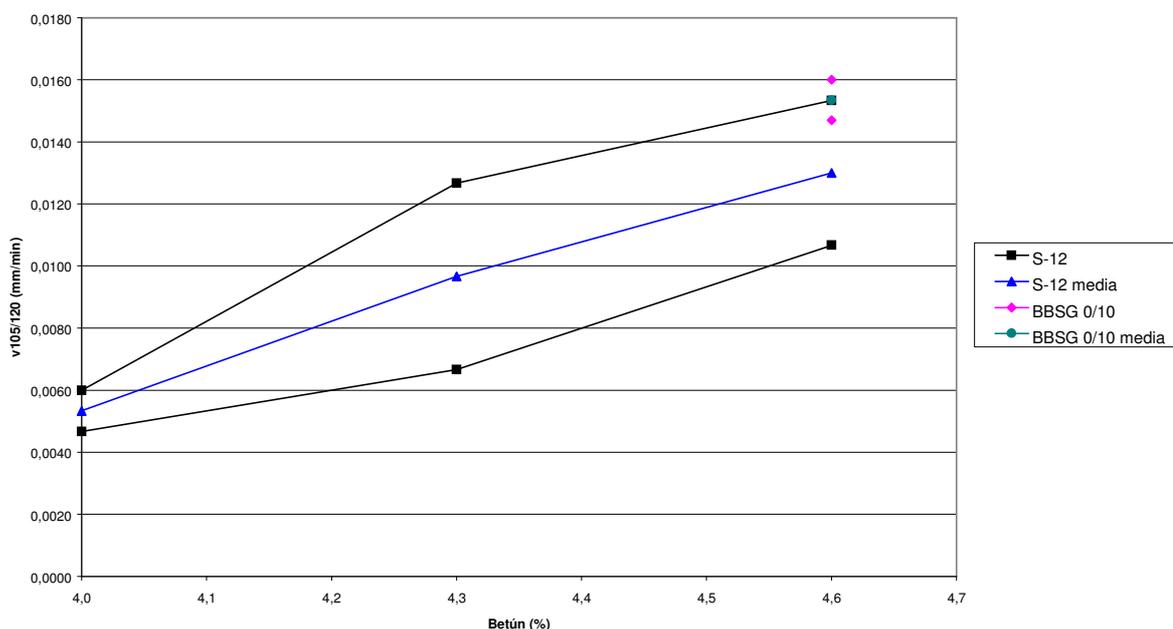


Figura 4. Velocidades de deformación en 105-120 min, NLT-173/84. Mezclas S-12 y BBSG 0/10

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto lo que podía preverse de acuerdo con la experiencia española y la composición de las dos mezclas: la mezcla S-12 con un 4.3% de ligante presenta un comportamiento adecuado, mientras que la mezcla BBSG 0/10 con un 5.9% de betún es tan susceptible a las deformaciones plásticas, que no se ha podido finalizar el ensayo. La deformación final, al cabo de los 120 minutos, de la S-12 con un 4.3% de betún, es de 2.22 mm mientras que para la BBSG 0/10 con un 5.9% de betún, después de sólo 10 minutos de ensayo, es de 6.05 mm. Esto implica que, según la normativa española, no podría emplearse esa mezcla con un contenido de betún tan alto.

Para comprobar si las dos mezclas tendrían un comportamiento similar en caso de tener el mismo contenido de betún, se ha ensayado la mezcla BBSG 0/10 con un 4.6% de betún, Figura 5; en este caso se observa que las dos mezclas tienen un comportamiento más parecido.

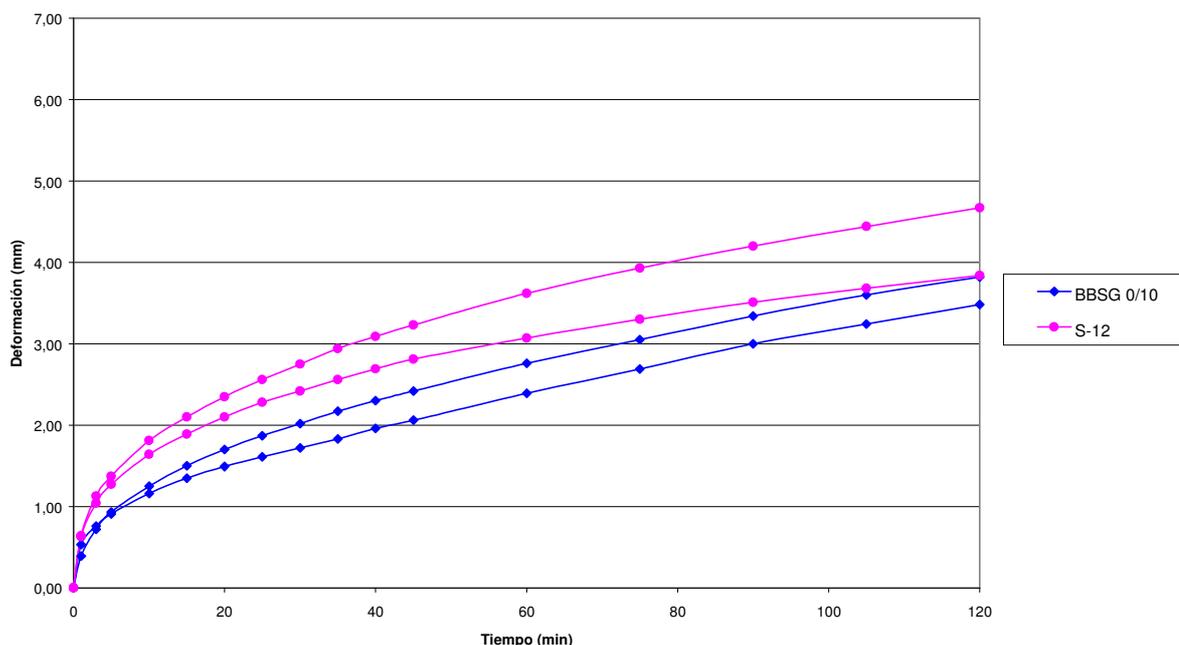


Figura 5. Ensayo de pista de laboratorio, NLT-173/84. Mezclas S-12 y BBSG 0/10 con 4.6% de betún

Aunque para la mezcla francesa los valores de deformación, en todo el periodo de ensayo, son ligeramente inferiores a los de la española, la velocidad de deformación en el intervalo 105-120 minutos es algo mayor para la mezcla francesa lo que, según las especificaciones españolas, la hace algo más crítica frente a las deformaciones plásticas.

En efecto, las especificaciones españolas establecen un valor límite de velocidad de deformación en el intervalo 105-120 minutos de $15 \mu\text{m}/\text{min}$ en las condiciones más críticas de tráfico (tráfico pesado) y de temperatura (zona térmica estival cálida). Por lo tanto, los valores obtenidos, tanto para la mezcla española como para la mezcla francesa cuando llevan un 4.6% de betún, son de este orden: $13 \mu\text{m}/\text{min}$ para la S-12 y $15 \mu\text{m}/\text{min}$ para la BBSG 0/10.

Por tanto, según las especificaciones españolas, las dos mezclas ensayadas con un 4,6% de betún sería aptas para capas de rodadura, estando próximas al límite máximo fijado.

Máquina de pista LPC (Francia)

Los resultados obtenidos, según el procedimiento de ensayo francés, para la mezcla de tipo BBSG 0/10, con un 5,9% de betún, se recogen en la Figura 6.

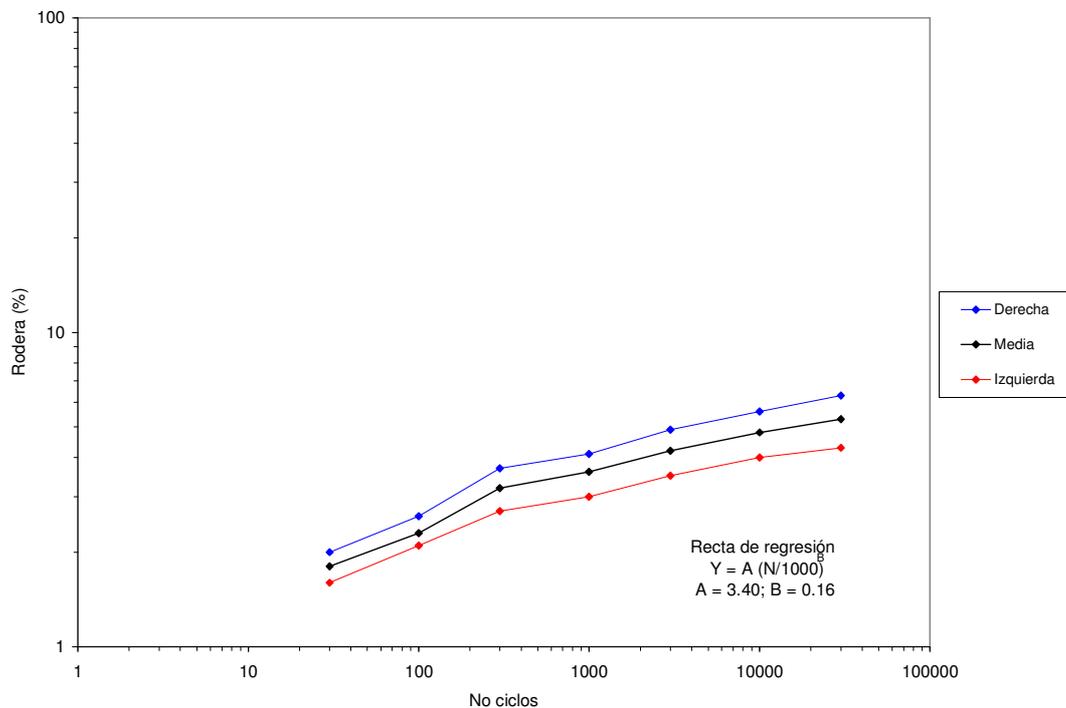


Figura 6. Ensayo de pista de laboratorio, NFP 98-253-1. Mezcla BBSG 0/10

Como se ha indicado anteriormente, las especificaciones francesas utilizan un criterio basado en el valor de la deformación obtenida y fijan para el ensayo de pista de laboratorio un límite de deformación para el rechazo o la aceptación de una mezcla.

Los resultados obtenidos dan una profundidad de rodadura media de 5.3%. Vemos así que, en las condiciones del ensayo francés y para las especificaciones relativas a este producto, la mezcla ensayada con un 5.9% de ligante podría, en principio, estar utilizada en casi todos los casos, lo que se opone al resultado obtenido en España.

Estos resultados son conformes a los procedimientos de ensayo. Así, en el caso de la máquina de pista española, la presión aplicada a la probeta es más fuerte (9 bar y no 6 bar como en Francia) y se utiliza una rueda más agresiva compuesta, no por una rueda con neumático sino por una rueda con una banda de goma dura. Además, la frecuencia de movimiento más elevada en el caso español contribuye también a la mayor agresividad de este procedimiento de ensayo.

Por otra parte, los dispositivos de compactación empleados también son distintos con lo que las características del producto final son diferentes. En efecto, la determinación de las densidades de las probetas según la norma NLT-168/90 [8] para la mezcla S-12 y según la norma NFP 98-250-5 [9] para la mezcla BBSG 0/10, han conducido a resultados diferentes: la mezcla S-12 con un 4.3% de betún, alcanza una densidad de 2.454 g/cm³, mientras que la mezcla BBSG 0/10 con un 5.9% de betún, sólo alcanza una densidad de 2.341 g/cm³.

7. CONCLUSIONES

Aunque vecinos próximos, España y Francia evalúan de manera diferente el comportamiento de las mezclas bituminosas frente a las deformaciones plásticas ya que, aunque en ambos países se utiliza un ensayo de máquina de pista, las condiciones del ensayo son muy diferentes.

Las dos mezclas analizadas, una S-12 con un 4,3% de betún, formulada en base al ensayo Marshall (España), y una BBSG 0/10 con un 5,9% de betún, formulada a partir del compactador giratorio PCG (Francia), ambas fabricadas con los mismos materiales, cumplen con sus respectivas especificaciones cuando se evalúa su comportamiento frente a las deformaciones plásticas con el dispositivo de ensayo correspondiente.

Sin embargo, los ensayos realizados con la máquina de pista española para la mezcla BBSG 0/10 con un 5,9% de betún han mostrado que esta mezcla es crítica en las condiciones del ensayo español. Así, la mezcla diseñada en Francia, con un alto porcentaje de ligante, no sería adecuada para su utilización en las carreteras españolas. En cambio, cuando esta mezcla se ensaya con un porcentaje de betún más bajo, 4,6%, presenta, en las condiciones del ensayo español, un comportamiento muy parecido a la mezcla española con el mismo porcentaje de betún.

Parece que las condiciones de ensayo de ambas normativas hayan sido adaptadas a la experiencia sobre el comportamiento de las mezclas en ambos países, bien por la orografía más abrupta de España -mayores pendientes- o por el mayor número de horas de exposición solar. Así, si se admite que las condiciones de uso de las mezclas son más duras en España, parece normal que las exigencias españolas sean más severas que las exigencias francesas y que conduzcan al desarrollo de ensayos y a la elección de criterios más severos en España.

Por último, los resultados obtenidos en este estudio muestran la dificultad de establecer especificaciones sobre mezclas y/o ligantes comunes para diferentes países. En efecto, en las condiciones del ensayo español, la mezcla de tipo BBSG 0/10 con un 5,9% de betún sería rechazada por su excesiva deformación. Al mismo tiempo, por experiencia, la mezcla S-12 con un 4,3% de betún sería rechazada en Francia por ser demasiado sensible a problemas de fatiga (contenido muy bajo de ligante). Se podría así plantear el desarrollo de un tramo experimental para medir la pertinencia de los diferentes métodos y dispositivos experimentales. En este tramo las dos mezclas estarían sometidas a las mismas sollicitaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O.C. 299/89 T “Recomendaciones sobre mezclas bituminosas en caliente”. MOPU, 1989.
- [2] NLT 159/86 “Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall”. Normas NLT I.-Ensayos de carreteras. CEDEX.
- [3] NFP 98-130 “Enrobés hydrocarbonés. Couches de roulement et couches de liaison: bétons bitumineux semi-grenus (BBSG). Définition, classification, caractéristiques, fabrication et mise en oeuvre”. Norme française, 1999.

- [4] NFP 98-252 “Détermination du comportement au compactage des mélanges hydrocarbonés, Essai de compactage à la presse à cisaillement giratoire (PCG)”. Norme française, Juin 1999.
- [5] NLT 173/84 “Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio”. Normas NLT I.-Ensayos de carreteras. CEDEX.
- [6] NFP 98-253-1 “Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés. Partie 1: essai d’orniérage”. Norme française, Juillet 1991.
- [7] NFP 98-250-2 “Préparation des mélanges hydrocarbonés. Partie 2: compactage des plaques”. Norme française, Novembre 1997.
- [8] NLT 168/90 “Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas”. Normas NLT I.- Ensayos de carreteras. CEDEX.
- [9] NFP 98-250-5 “Préparation des mélanges hydrocarbonés. Mesura de la MVA au banc gamma”. Norme française, Novembre 1997.