

MEZCLAS BBTM B: COMPACIDAD EN LABORATORIO FRENTE A COMPACIDAD EN OBRA - NUEVAS PROPUESTAS

PEDRO FRANCISCO HERNÁNDEZ CARRILLO

Laboratorio de la Demarcación de Carreteras del Estado en Murcia (DGC, MITMA)
pfernandez@mitma.es

RAFAEL JIMÉNEZ SÁEZ

Laboratorio de Materiales. Centro de Estudios del Transporte del CEDEX (MITMA)
rafael.jimenez@cedex.es

MARÍA N. SÁNCHEZ PALLARÉS

Laboratorio de Materiales. Centro de Estudios del Transporte del CEDEX (MITMA)
maria.sanchez@cedex.es

MEZCLAS BBTM B: COMPACIDAD EN LABORATORIO FRENTE A COMPACIDAD EN OBRA - NUEVAS PROPUESTAS

RESUMEN

Es muy habitual que las capas de rodadura BBTM B colocadas en obra no alcancen la densidad de referencia de la fórmula de trabajo. En gran medida es debido a que en laboratorio se parte de probetas con un espesor muy superior al de obra.

La densidad en estas mezclas se mide por el método geométrico, con gran influencia de la macrotextura superficial. Por ello, el reducido espesor de los testigos frente al de las probetas hace que la contribución al volumen geométrico total de los huecos debidos a la macrotextura sea comparativamente mayor en los testigos. Se da lugar así a una sobreestimación del contenido de huecos, que acarrea problemas de aceptación de la capa de mezcla extendida, al excederse la diferencia máxima especificada de $\pm 2\%$ respecto al contenido de huecos de referencia, determinado en probetas.

Como solución a este problema otros autores han planteado medir la macrotextura por el método volumétrico y descontarla del volumen geométrico, tanto de probetas como de testigos, para eliminar o minimizar su influencia. Pero dado que, a menor grado de compactación mayor es la macrotextura obtenida, esta opción presenta el inconveniente de que, al no tenerse en cuenta esta característica, se produce una subestimación del contenido de huecos, pudiendo pasar de la situación de no aceptarse ninguna capa a que todas sean conformes, incluso sin estar bien compactadas.

En el presente trabajo, basado en experiencias realizadas por el Laboratorio de la Demarcación de Carreteras del Estado en Murcia y por el Labo-

torio de Materiales del CET-CEDEX, se propone una solución simple, orientada a obtener, en el laboratorio, la densidad de referencia con energía de compactación equivalente a la actual, pero sobre probetas con un espesor nominal similar al de la capa extendida en obra.

1. INTRODUCCIÓN

Es conocida la gran discrepancia que se da en las mezclas discontinuas con altos contenidos de huecos, especialmente en las de tipo BBTM B, entre los valores de densidad aparente determinados en probetas de laboratorio y los de testigos de obra. En muchos casos las capas de rodadura BBTM B colocadas en obra no alcanzan la densidad de referencia de la fórmula de trabajo, lo que en gran medida es debido a que en laboratorio se parte de probetas con un espesor muy superior al que realmente se coloca en obra.

La densidad en estas mezclas se mide por el método geométrico, por lo que el volumen aparente que se determina en probetas y testigos incluye tanto el volumen de los huecos accesibles (los debidos a la macrotextura de su contorno), como los no accesibles encerrados en el interior de la mezcla. Ambos deben tenerse en cuenta ya que forman parte de la estructura de la mezcla, según se explica en el Anexo A de la norma UNE-EN 12697-6 (1). Si imaginamos una porción finita del material en el seno de la capa de mezcla, esta porción contendrá huecos "superficiales" o de contorno, compartidos con el material que la rodea, y huecos interiores no compartidos. Los interiores nunca pueden determinarse aisladamente, mientras que los de contorno podrían aproximarse bastante a la macrotextura que presenta la su-

perficie exterior de una probeta compactada en el laboratorio. Por ello, en las probetas de laboratorio, con macrotextura en toda su superficie, la densidad geométrica se considera una buena aproximación a la densidad real de estas mezclas.

Sin embargo, los testigos de obra presentan macrotextura apreciable únicamente en la cara superior, ya que el contorno lateral está alterado por el corte y resulta bastante más liso y cerrado. La unión con la capa inferior del pavimento tampoco suele presentar mucha textura, e incluso también se somete a corte para separar ambas capas. Según esto, a diferencia de lo que sucede con las mezclas más cerradas, en las BBTM B el material obtenido en los testigos no sería del todo representativo de la mezcla colocada en obra, aunque también hay dudas sobre si las probetas compactadas en el laboratorio lo son más, dado que el método de compactación influye asimismo en la macrotextura obtenida, que suele ser menor que en la cara superficial de los testigos.

En cualquier caso, queda claro que las características superficiales de los testigos se apartarían bastante de las de las probetas de laboratorio, lo cual se refleja tanto en la macrotextura, según lo antes expuesto, como en los valores de densidad geométrica, bastante menores en los testigos. Respecto a las diferencias de densidad, el reducido espesor de los testigos (máx. 3 cm) frente a los aproximadamente 6 cm de espesor de las probetas, hace que la contribución al volumen total del volumen de huecos debidos a la macrotextura sea mayor en aquellos, a pesar de que, como ya se ha explicado, la superficie lateral de contorno y la cara inferior en los testigos presentan generalmente menor macrotextura que en las probetas. Esto da lugar a una sobreestimación del contenido de huecos que muchas veces acarrea problemas de aceptación de la capa de mezcla extendida, al excederse la diferencia máxima especificada de $\pm 2\%$ respecto al contenido de huecos de referencia, determinado en probetas.

1.1 Propuestas precedentes

Como solución, en estudios anteriores realizados por otros autores se propuso eliminar o reducir al mínimo la influencia de la macrotextura superficial

descontando su volumen del volumen geométrico, tanto en probetas como en testigos, para lograr así una mayor aproximación entre las densidades de ambos. Por las dificultades de hacerlo en probetas cilíndricas de unos 100 mm de diámetro, la macrotextura es determinada mediante el método volumétrico (UNE-EN 13036-1) en probetas de mayor superficie que las cilíndricas, como son las placas para el ensayo de rodadura. En el caso de testigos de obra, se utiliza el dato de macrotextura obtenido in situ mediante el mismo método. En el estudio realizado sobre el problema, dichas contribuciones son descontadas únicamente de las caras superior e inferior de las probetas o los testigos sin tener en cuenta la superficie lateral. La contribución de esta última sería pequeña en el caso de los testigos.

Pero esta opción presenta el inconveniente de que, al eliminarse casi totalmente la influencia de la macrotextura en el contenido de huecos de las mezclas, se pueda pasar a la situación contraria a la actual, con una subestimación de dicho contenido. Dado que la macrotextura es tanto mayor cuanto menos compacidad presenta la mezcla, en casos extremos se podría dar la circunstancia de que capas de mezcla compactadas insuficientemente estarían dentro del rango $\pm 2\%$ de aceptabilidad en huecos, o bien que capas con compactación adecuada se salgan de dicho rango, en este caso por escasez de huecos.

1.2 Nuevas propuestas

Se basan no en eliminar la influencia de la macrotextura, sino simplemente en compactar probetas de laboratorio con espesores similares a los que se emplean en obra (2,5 - 3 cm), y con una energía total de compactación por impactos proporcional a la aplicada actualmente en las probetas de 6 cm de espesor, de acuerdo con el método UNE-EN 12697-30. La densidad y contenido de huecos de estas nuevas probetas se emplearían como referencia para determinar la aceptabilidad en obra.

Propuesta 1

Algunas pruebas realizadas en el laboratorio de la Demarcación de Carreteras del Estado en Murcia

han permitido obtener probetas de mezcla BBTM 11B compactadas por impactos con 3 cm de espesor, mediante el empleo de la mitad de masa de mezcla necesaria para probetas de 6 cm, la inserción sobre la base del molde tipo Marshall de un disco espaciador metálico de unos 3 cm de espesor y la aplicación de 50 impactos por una sola cara del material (Foto 1).

- El disco espaciador permite compensar el menor espesor de las probetas manteniendo una misma altura de caída de la maza del compactador sobre la mezcla dentro del molde. Es decir, la energía por impacto se mantiene inalterada respecto a la que indica la norma UNE-EN 12697-30.
- Por contra, la gran dificultad que supondría dar la vuelta al conjunto para poder compactar por ambas caras, lo cual implicaría desplazar la probeta hacia el otro extremo del molde para poder introducir de nuevo el disco espaciador dentro de este, hace que resulte mucho más operativo aplicar los impactos solo por una cara.
- Los estudios que se describen más adelante permitieron determinar el número mínimo de impactos necesarios para alcanzar en probetas de 3 cm un valor estabilizado de densidad geométrica, que además ha resultado ser similar a la de los testigos de obra correspondientes. Quedó finalmente establecido en 50 impactos (por una cara), coincidiendo con la mitad de la energía total que se aplica para compactar las probetas de 6 cm y el doble de masa de mezcla (50 impactos, 2 caras).



Foto 1. Propuesta 1 - Molde, base y collarín estándar (UNE-EN 12697-30) para compactación por impactos, junto con el disco espaciador utilizado.

Propuesta 2

Basándose en la experiencia con la propuesta anterior, desde el CEDEX se planteó la opción de aplicar 25 impactos por ambas caras empleando moldes con la mitad de altura que los actuales tipo Marshall (Foto 2).

- Esto posibilita el poder dar la vuelta al molde directamente sin necesidad de desplazar la probeta en su interior hacia el otro extremo.
- En este caso se requiere de una nueva base de compactación más alta para los moldes, la cual permite mantener una altura de caída idéntica en la maza del compactador. De este modo se mantiene también la energía por impacto que prescribe la norma, al tiempo que el conjunto base-molde-collarín sigue siendo perfectamente compatible con el equipo compactador.
- La energía total de compactación es la misma que en la Propuesta 1, pero se reparte entre las dos caras de la probeta.



Foto 2. Propuesta 2 - Molde y base especiales (collarín estándar UNE-EN 12697-30) para compactación de probetas de 3 cm por ambas caras.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Propuesta 1 - Pruebas D.C.E. Murcia

El Laboratorio de la Demarcación de Carreteras del Estrado en Murcia realizó una primera prueba de compactación con una mezcla BBTM 11B empleada en una obra de rehabilitación de la autovía A-30. Se compactaron muestras de mezcla para obtener las habituales probetas de 6 cm. También se fabricaron once series de tres probetas de unos 3 cm de espesor y con la mitad de masa de mezcla que las de 6

MEZCLAS BBTM B: COMPACIDAD EN LABORATORIO FRENTE A COMPACIDAD EN OBRA - NUEVAS PROPUESTAS

cm, aplicando en cada serie un número creciente de impactos (de 10 a 60). Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 1 y en la Figura 1.

Tabla 1. Propuesta 1 - Resultados pruebas de compactación con distinto número de impactos (prueba 1)

BBTM 11B A-30 Murcia (Muestra 1)		
Densidad máx.: 2,606 Mg/m ³		Densidad promedio probetas 6 cm (50 golpes, 2 caras): 2,278 Mg/m ³ %h = 12,8
Probetas 3 cm, 550 g, 1 cara		
Nº impactos	Densidad (Mg/m ³)	% huecos
10	1,969	24,3
15	2,067	20,4
20	2,092	18,6
25	2,115	19,5
30	2,170	16,6
35	2,190	16,2
40	2,190	16,5
45	2,216	15,1
50	2,215	15,1
55	2,223	14,3
60	2,228	14,6

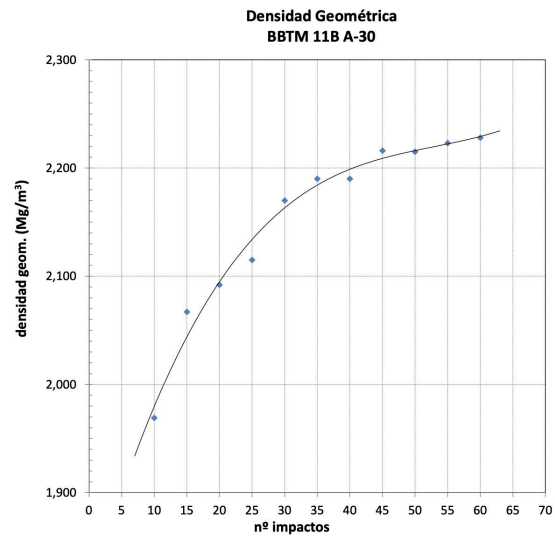


Figura 1. Propuesta 1 - Pruebas de compactación. Densidades y huecos en mezcla (prueba 1 DCE Murcia)

Aunque el grado de compactación crece con el número impactos aplicados sin llegar a estabilizarse totalmente, a partir de aproximadamente 45-50 impactos se aprecia cierta estabilización con incrementos pequeños. Para 50 impactos, los valores de densidad geométrica y contenido de huecos son respectivamente de 2,215 Mg/m³ y 15,1%, notablemente alejados de los obtenidos con las probetas de 6 cm (2,278 Mg/m³ y 12,8%). Con esta muestra de mezcla no se disponía de datos de testigos de obra para comparar valores, aunque se pudo contar con una segunda muestra procedente de otro lote de la misma obra, que sí incluía testigos. Con ella se realizó una segunda prueba de compactación de probetas de 3 cm aplicando directamente 50 impactos por una cara.

Asimismo, se ensayó una tercera mezcla BBTM 11B procedente de otra obra (Reguerón), en la que también se contaba con datos de testigos de obra. En la Tabla 2 se incluyen los resultados promedio obtenidos en las pruebas de compactación 2 y 3.

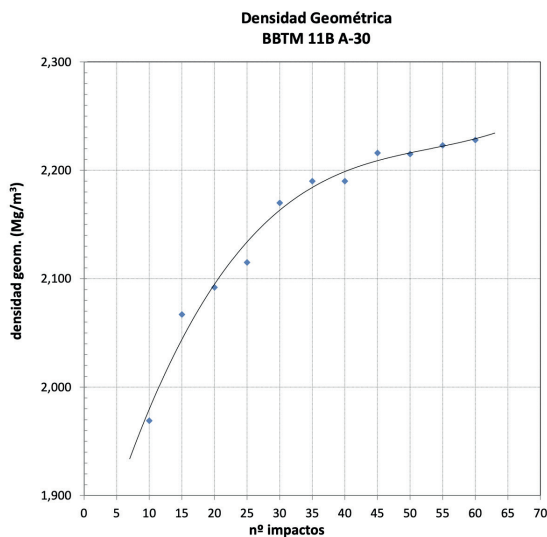


Tabla 2. Propuesta 1 - Resultados de compactación de probetas de 6 cm, probetas de 3 cm y testigos de obra (pruebas 2 y 3 DCE Murcia)

BBTM 11B – Obra A-30 Murcia, Muestra 2			
	Probetas 6 cm, 50 impactos 2 caras	Probetas 3 cm, 50 impactos 1 cara	Testigos
Densidad (Mg/m ³)	2,322	2,053	2,006
% huecos	10,1	20,5	22,3
BBTM 11B – Obra Reguerón, Murcia Densidad máxima: 2,429 Mg/m ³			
	Probetas 6 cm, 50 impactos 2 caras	Probetas 3 cm, 50 impactos 1 cara	Testigos
Densidad (Mg/m ³)	2,097	2,010	1,982
% huecos	13,7	17,3	18,4

Puede apreciarse la clara diferencia entre los valores de densidad y contenido de huecos en las probetas de 6 y de 3 cm y cómo la aproximación a los datos de los testigos correspondientes es notablemente mayor en el caso de las probetas de 3 cm, teniendo en cuenta que el grado de compactación obtenido en obra ha resultado menor en los dos casos analizados, incluso tomando estas probetas como referencia. No obstante, la diferencia en porcentaje de huecos entre probetas de 3 cm y testigos no supera el límite de tolerancia de $\pm 2\%$ que establece el PG-3 (respecto a probetas de 6 cm).

2.2 Propuestas 1 y 2 – Pruebas CEDEX

Por su parte, el Laboratorio de Materiales del CET-CEDEX realizó una primera prueba de compactación en laboratorio de acuerdo con la Propuesta 1, sin testigos de obra, empleado una mezcla tipo BBTM 11B de uso general. Se fabricaron series de tres probetas de 3 cm aplicando respectivamente 30, 40 y 50 impactos por cara, así como las habituales probetas de 6 cm y 50 impactos por ambas caras. Los resultados se resumen en la Tabla 3 y la Figura 2.

Tabla 3. Propuesta 1 - Resultados de compactación de probetas de 6 y 3 cm (prueba 1 CEDEX)

BBTM 11B – Muestra CEDEX				
ESPESOR TEÓRICO (mm)	FABRICACIÓN	ESPESOR REAL PROBETA (mm)	DENSIDAD	% HUECOS
63	50 golpes/ 2 caras 1100 g	59,91	2,271	14,2
		60,71	2,259	14,6
		59,73	2,267	14,3
		59,75	2,286	13,6
	Promedio	60,03	2,271	14,2
30	50 golpes/ 1 cara 550 g	31,50	2,129	19,5
		31,73	2,182	17,5
		31,27	2,184	17,4
	Promedio	31,50	2,165	18,2
30	40 golpes/ 1 cara 550 g	30,91	2,180	17,6
		31,47	2,167	18,1
		31,08	2,203	16,7
		30,93	2,197	17,0
	Promedio	31,10	2,187	17,4
30	30 golpes/ 1 cara 550 g	32,17	2,124	19,7
		32,17	2,135	19,3
		32,15	2,126	19,6
		31,96	2,126	19,7
	Promedio	32,11	2,128	19,6

Compactación BBTM 11B
Propuesta 1 - Prueba CEDEX

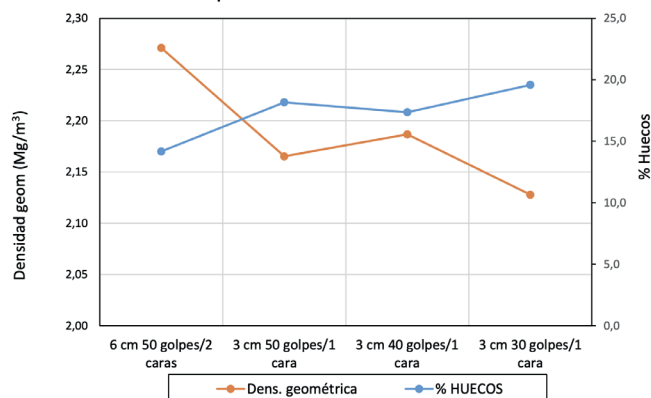


Figura 2. Propuesta 1 - Resultados de compactación de probetas de 6 y 3 cm (prueba 1 CEDEX).

Al igual que en la primera prueba realizada por la DCE en Murcia, se observa también la notable disminución de la densidad geométrica y aumento del porcentaje de huecos en las probetas al fabricarlas con la mitad de espesor. A pesar de lo irregular del

resultado con 40 impactos (se ha obtenido mayor grado de compactación que con 50) se puede apreciar que, aunque sigue habiendo variación de la compactación dentro del rango de 30 a 50 impactos aplicados, ésta ya no es tan acusada como la que se produce al pasar de 6 a 3 cm de espesor en las probetas.

Tabla 4. Comparativa de Propuestas 1 y 2 - Resultados de compactación (prueba 2 CEDEX)

BBTM 11B – Muestra obra A-32			
ESPESOR TEÓRICO (mm)	FABRICACIÓN	ESPESOR REAL PROBETA (mm)	DENSIDAD
Densidad máx.: 2,561 Mg/m ³		Probetas 6 cm Densidad promedio: 2,158 Mg/m ³ % huecos: 15,7	
		Testigos Densidad promedio: 2,000 Mg/m ³ % huecos: 21,9	
	impactos totales	densidad (Mg/m ³)	% huecos
Propuesta 1 (1 cara)	30	1,897	25,9
	36	1,9	25,8
	40	2,014	21,4
	46	2,021	21,1
	50	2,012	21,4
	56	2,001	21,9
	60	2,076	18,9
	66	2,077	18,9
Propuesta 2 (2 caras)	30	2,027	20,9
	36	1,985	22,5
	40	2,069	19,2
	46	2,049	20
	50	2,086	18,6
	56	2,057	19,7
	60	2,11	17,6
	66	2,094	18,3

La última prueba de compactación realizada hasta ahora por el CET-CEDEX ha consistido en la comparación de las Propuestas 1 y 2 antes descritas, empleando una misma muestra de mezcla BBTM 11B procedente de la obra de la autovía A-32 entre Villacarrillo-Villanueva del Arzobispo (Jaén). Para contraste, se ha contado también con testigos obtenidos del pavimento y con las preceptivas probetas de 6 cm.

Se han fabricado ocho series de tres probetas con los siguientes números totales de impactos: 30, 36, 40, 46, 50, 56, 60 y 66. Estos han sido aplicados por una sola cara siguiendo la Propuesta 1, o repartidos por igual entre las dos caras de acuerdo con la Propuesta 2. Por ello, se han elegido números pares de impactos, permitiendo así que puedan compararse los resultados de las dos Propuestas a igualdad de energía total aplicada. Los datos de compactación se resumen en la Tabla 4 y en la Figura 3.

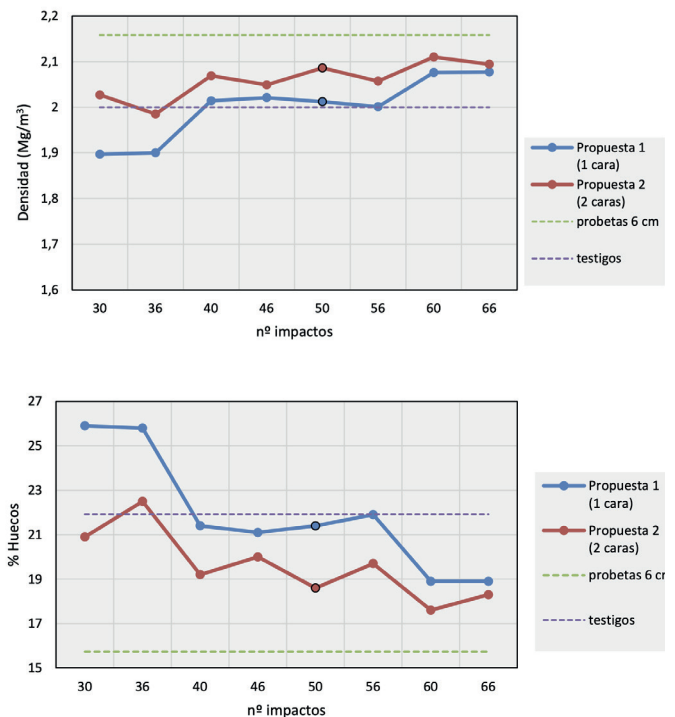


Figura 3. Comparativa de Propuestas 1 y 2 - Resultados de compactación (prueba 2 CEDEX)

Como en las pruebas anteriores, nuevamente se observa la notable diferencia entre las densidades y contenidos de huecos de las probetas de 6 cm frente a las de 3 cm, fabricadas estas últimas por cualquiera de los dos métodos probados. Se aprecia una mayor aproximación a la densidad y huecos de los testigos que con las probetas de 6 cm para toda la serie de números de impactos.

Comparando ambas propuestas de compactación a 3 cm, es claro que no se obtienen resultados similares. Así en la Propuesta 1 (compactación

por una cara), entre 40 y 56 impactos el grado de compacidad parece tender a estabilizarse, tal como se observó en la primera prueba realizada por el laboratorio DCE Murcia. En cambio, en la Propuesta 2 (compactación por las dos caras) el aumento de compacidad es menos brusco y más gradual y continuo, aunque con oscilaciones. A partir de 60 impactos se aprecia un aumento más acusado de la compacidad, especialmente en la Propuesta 1, aunque ambos resultados tienden a igualarse al final. Esto podría interpretarse como una cierta degradación del esqueleto mineral de la mezcla por exceso de energía de compactación.

Si se compara con el grado de compacidad de los testigos, la Propuesta 1 parece aproximarse más que la 2, llegando a coincidir en la primera los valores de densidad y huecos para 56 impactos. También se aproxima mucho con 50 impactos, que es el valor tomado inicialmente como energía estándar de compactación en laboratorio para ambas propuestas. En la Propuesta 2, al menos en esta prueba, la aproximación a los testigos es menor y la tendencia es a alejarse de ellos, ya que va aumentando gradualmente el grado de compacidad cuanto mayor es la energía aplicada, como ya se ha indicado antes.

Los valores de densidad y huecos en las probetas de 6 cm quedan aún lejos. De no llegar a superarse, si se siguiera aplicando más energía, se podrían asemejar a unos valores límite de compacidad, a los cuales se tiende, aunque este es un aspecto aún pendiente de estudio.

Por último, para comprobar cómo podrían afectar los distintos métodos de compactación a las propiedades mecánicas de la mezcla, se midieron los módulos resilientes a tracción indirecta (a 5° y 20°C) de una parte de las probetas de 3 cm (las compactadas con 30, 40, 50 y 60 impactos totales) y se compararon con los módulos de las probetas de 6 cm y de los testigos. Los resultados se presentan en la Figura 4.

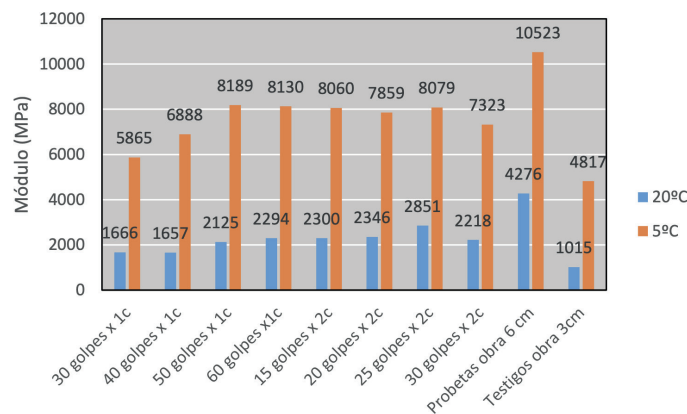


Figura 4. Módulos resilientes a T1 a 5° y 20°C – Probetas de 3cm (Propuestas 1 y 2), probetas de 6cm y testigos (prueba 2 CEDEX)

Se observa un incremento ligero, aunque progresivo, de la rigidez al ir aumentando la energía de compactación total hasta 50 impactos, lo que en principio estaría de acuerdo con el incremento de densidad antes descrito. El aumento de módulo es más evidente en las probetas compactadas según la Propuesta 1 (impactos solo por una cara) a ambas temperaturas de ensayo, que en las de la Propuesta 2 (por ambas caras). Con este último método de compactación el incremento se observa más claramente a 20°C que a 5°C. En cambio, a esta última temperatura los valores de módulo oscilan, aunque se mantienen similares para los distintos números de impactos.

La excepción está para la máxima energía aplicada (60 impactos), donde se aprecia una ligera disminución del módulo con ambos métodos de compactación y a las dos temperaturas. Esto hace de nuevo pensar en una ligera degradación del esqueleto mineral por exceso de energía de compactación.

Si se comparan todos estos datos de rigidez frente a los resultados obtenidos en las probetas de 6 cm se aprecia que estas presentan un valor apreciablemente mayor, lo cual parecería indicar que el grado de compactación alcanzado también lo es, de acuerdo con los datos de densidad y huecos.

En cambio, los testigos presentan los valores más bajos de módulos con mucha diferencia sobre todas las probetas, incluyendo las fabricadas con 50 impactos según la Propuesta 1, las cuales tenían gran similitud

en densidad y huecos con los testigos. Esto indica que, aparte del grado de compacidad de la mezcla, en los valores de rigidez y de otras propiedades mecánicas tienen influencia bastantes más factores, uno de los cuales es la propia forma de compactar la mezcla, ya sea en el laboratorio o en obra.

3. VENTAJAS E INCONVENIENTES

3.1 Propuesta 1

- ✓ Salvo el disco espaciador, de fabricación sencilla, no se requiere de otros útiles nuevos para realizar la compactación de probetas de 3 cm, ya que se siguen empleando los moldes tipo Marshall, la base y collarín descritos en la norma UNE-EN-12697-30.
- ✓ Los impactos se aplican por una sola cara de la probeta, recibiendo la energía de la compactación tal como sucede con la mezcla en la realidad. Como se ha podido comprobar experimentalmente, este factor influye en la densidad de las probetas y, en consecuencia, en sus propiedades mecánicas. La textura superficial es otra característica que podría verse beneficiada, pudiendo estar más próxima a la obtenida en una capa de rodadura que en el caso de aplicarse los impactos por ambas caras, aunque el factor asociado al fuerte confinamiento de la mezcla en un volumen tan pequeño como el de una probeta está siempre presente y asimismo condiciona la manera en que se compacta una mezcla.
- ✓ Con vistas a una posible aplicación en mezclas discontinuas para capas ultradelgadas esta cuestión tiene gran importancia, aunque es necesario un estudio en profundidad que confirme los supuestos antes señalados.
- ✗ La adopción de 50 impactos por una sola cara supone un cambio importante en la normativa en vigor, ya que afectaría tanto al PG-3, al procedimiento UNE-EN-12697-30, como a la norma armonizada UNE-EN 13108-20, que solo contemplan la aplicación de impactos por las dos caras. Todo ello complica su posible aplicación como método para determinar la

densidad de referencia de probetas en mezclas BBTM B, sobre todo las normas europeas.

3.2 Propuesta 2

- ✗ Son necesarios nuevos moldes y una base de compactación con diferentes dimensiones que los útiles de compactación habituales indicados en la norma de compactación, lo que implica su adquisición. Dado que, en principio, su empleo se limitaría a la fabricación de probetas para obtener la densidad y el contenido de huecos de referencia, no habría que disponer de un elevado número de moldes.
- ✗ Este método también exige cambios normativos, aunque en principio parecen de solución más sencilla que los de la Propuesta 1. Al realizarse la compactación por ambas caras se cumple con lo indicado en norma armonizada UNE-EN 13108-20, ya que esta norma no entra en más detalles respecto a las dimensiones de las probetas, remitiéndose directamente a la norma UNE-EN 12697-30. En esta otra norma se fija claramente el diámetro y la altura de las probetas, pero podría solicitarse al comité de normalización correspondiente una modificación sencilla que permita otras posibles alturas.

4. CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas hasta ahora indican que adaptar la compactación de probetas en el laboratorio por el método de impactos para alcanzar unos 3 cm de espesor parece una opción muy prometedora, de cara a obtener unos valores de densidad y contenido de huecos más cercanos a la realidad en obra.

Sigue siendo un método sencillo, que no se aparta demasiado del que se prescribe actualmente en el PG-3 para obtener la densidad y los huecos de referencia en las mezclas BBTM B. Tampoco se requieren medios que lo encarezcan demasiado frente al actual. Se trata, por tanto, de una alternativa para tener en cuenta.

Como es lógico, antes de proponer un cambio

en los procedimientos y en la normativa afectada, es obligado analizar un número suficiente de casos de estudio que, además de verificar si se confirman las tendencias observadas en las pruebas aquí expuestas, permitan también disponer de los datos necesarios para establecer, si fuera necesario, unos nuevos límites de tolerancia al comparar las compacidades de probetas y testigos.

Además, en cuanto a los datos procedentes de estos últimos, debe tenerse en cuenta que no existe nunca una certeza total de que la capa de mezcla BBTM B en obra haya quedado perfectamente compactada en todos los casos de estudio que se analicen, por lo que no debe asumirse que la densidad y el contenido de huecos de los testigos sean la referencia a la que hay que tender necesariamente en los casos a estudiar.

La idea es justo la contraria, y es la que se viene siguiendo con respecto a las probetas de 6 cm. Con las propuestas aquí presentadas se trataría de buscar una nueva referencia de compactación en obra para las mezclas BBTM B, establecida también mediante probetas de laboratorio que, además, sea más verosímil y cercana a la realidad.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a las Demarcaciones de Carreteras del Estado en Murcia y Andalucía Oriental por el uso de los datos facilitados, así como al personal de laboratorio de dichos organismos y del CET-CEDEX por la colaboración prestada.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **P. Álvarez, C. Quintana, M. Miñana y M. Montolio.** *"Sobrestimación de huecos en mezclas discontinuas para capas de rodadura. El caso BBTM 11 B"*. Comunicación presentada en la XII Jornada Nacional ASEFMA. Madrid (2017).
- **UNE-EN 12697-30:2019** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 30: Preparación de probetas mediante compactador de impactos.
- Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG-3 Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre 2014.
- **UNE-EN 13108-20:2007/AC:2009** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 20: Ensayos de tipo.
- **UNE-EN 12697-6:2022** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 6: Determinación de la densidad aparente de probetas bituminosas.
- **UNE-EN 12697-8:2020** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 8: Determinación del contenido de huecos en las probetas bituminosas.