

Evaluación del grado de envejecimiento en laboratorio de mezclas en caliente y semicalientes fabricadas con espuma de betún

Pablo Álvarez Troncoso

palvarez@becsa.es

Aida Marzá Beltran

amarza@becsa.es

Carlos Quintana Gálvez

cquintana@becsa.es

La fabricación de mezclas semicalientes a menor temperatura es una alternativa real para reducir el impacto ambiental en términos de consumo de energía y emisiones asociadas a la fabricación de mezclas bituminosas. El compromiso que presentan las diferentes empresas del sector, junto al impulso, cada vez mayor, de las administraciones de carreteras, hace que el empleo de este tipo de técnicas sea cada vez más común. El uso de este tipo de metodologías son un ejemplo de aplicación de las líneas estratégicas derivadas del Pacto Verde Europeo que insta a las empresas a reducir emisiones de sus propias operaciones y de sus cadenas de suministro con el objetivo final de que la UE sea climáticamente neutra en 2050.

Por otro lado, de manera general, el envejecimiento del betún dentro de la mezcla asfáltica ocurre en dos etapas de velocidad diferenciada durante su vida útil; una inicial de gran impacto que ocurre durante la fabricación y puesta en obra de la mezcla y una segunda, propia de la exposición de la mezcla a los efectos del tráfico y a los factores ambientales de crecimiento más sostenido. La primera etapa depende, entre otros factores de la temperatura de fabricación de la mezcla, por lo que se estima que el envejecimiento es menor en mezclas fabricadas a menor temperatura. Pero se tienen pocos datos concretos del potencial de reducción de envejecimiento inicial y de la evolución del mismo en el tiempo. Es lógico pensar que en el final de su vida útil los niveles de envejecimiento converjan, pero no es menos cierto, que se esperan diferencias significativas de tiempo de vida útil entre los dos tipos de pavimento y por tanto diferencias de durabilidad.

En la presente comunicación se describen los trabajos para tratar de caracterizar en el laboratorio la evolución de este grado de envejecimiento de mezclas calientes y semicalientes para profundizar de este modo en el conocimiento de su comportamiento a largo plazo.

Palabras Clave: Grado envejecimiento, durabilidad, mezclas semicalientes, reducción temperatura.

The production of semi-hot mixtures at lower temperatures is a real alternative to reduce environmental impact in terms of energy consumption and emissions associated with the production of bituminous mixtures. The commitment of various companies in the sector, along with the increasing support from road authorities, is making the use of these techniques more common. The application of these methodologies is an example of the strategic lines derived from the European Green Deal, which urges companies to reduce emissions from their own operations and supply chains, with the ultimate goal of making the EU climate-neutral by 2050. On the other hand, in general, the aging of bitumen in the asphalt mixture occurs in two stages with different speeds throughout its lifespan; an initial stage with significant impact that happens during the production and placement of the mixture, and a second stage,

Evaluación del grado de envejecimiento en laboratorio de mezclas en caliente y semicalientes fabricadas con espuma de betún

which is related to the exposure of the mixture to traffic effects and environmental factors over a longer period. The first stage depends, among other factors, on the production temperature of the mixture, which is why it is estimated that aging is lower in mixtures produced at lower temperatures. However, there is little concrete data regarding the potential reduction of initial aging and its evolution over time. It is logical to think that by the end of its lifespan, aging levels will converge, but it is also true that significant differences in the service life between the two types of pavement are expected, and therefore, differences in durability. This communication describes the work aimed at characterizing in the laboratory the evolution of aging in hot and semi-hot mixtures to further deepen the understanding of their long-term behavior.

Keywords: Aging degree, durability, semi-hot mixtures, temperature reduction

1. INTRODUCCIÓN

Las mezclas semicalientes fabricadas mediante el proceso de espumación de betún se perfilan, en la actualidad, como una de las alternativas de más fácil implementación para los fabricantes de mezcla bituminosa con el fin de conseguir un menor impacto ambiental en la fase de fabricación de su producto y un menor coste asociado al menor consumo de combustible durante este proceso. Esta técnica es cada vez más utilizada en otros países de nuestro entorno europeo y de manera muy significativa en EE. UU., donde la mitad de la producción de mezclas semicalientes se fabrica mediante espumación directa o indirecta en las plantas de mezcla bituminosa (51.8% en 2020) [1].

A pesar de la amplia experiencia acumulada en el desarrollo y aplicación de la técnica, todavía existe, en nuestra opinión, campo de investigación sobre la evolución con respecto al envejecimiento que sufren las mezclas espumadas a menor temperatura frente a sus equivalentes fabricadas en caliente. Los numerosos estudios e investigaciones realizadas hasta la fecha centran sus esfuerzos en analizar la evolución de las características de comportamiento consideradas más críticas para este tipo de mezclas, como son la susceptibilidad al agua y la resistencia a las deformaciones plásticas en el ensayo de rodadura. Por otro lado, aquellos trabajos encaminados a un análisis más detallado de la evolución del envejecimiento del pavimento propiamente dicho suelen centrarse en análisis reológicos y empíricos sobre el betún recuperado de las mezclas, midiendo su desempeño a lo largo de la vida útil del firme bituminoso.

La reciente normalización del ensayo de resistencia a la fisuración siguiendo la metodología Fénix (NLT-

383/2020) [2], nos brinda la oportunidad de conocer para una misma mezcla la evolución de parámetros íntimamente relacionados con el envejecimiento de la mezcla como son, por ejemplo, la ductilidad y la tenacidad y, por tanto, puede ayudarnos a conocer cómo evoluciona el menor grado de envejecimiento inicial que una mezcla espumada posee, con respecto a su equivalente en caliente, como consecuencia de haber sido fabricada a una menor temperatura.

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos de una investigación a nivel de laboratorio en la que se ha tratado de emular el envejecimiento de mezclas calientes y semicalientes espumadas mediante procedimientos específicos (tipo Short-term Oven Aging y Long-term Oven Ageing), para conseguir un perfil de envejecimiento de los diferentes parámetros estudiados.

2. EVOLUCIÓN DEL ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS BITUMINOSAS

El envejecimiento de las mezclas bituminosas se caracteriza fundamentalmente por un endurecimiento del betún, lo que conlleva una progresiva rigidización de la mezcla y, por tanto, una menor capacidad de ésta de soportar los esfuerzos a fatiga o una menor resistencia a la fisuración de la misma. El fenómeno del envejecimiento de mezclas asfálticas posee una doble componente de tipo químico y físico. En la rama química se enmarcan procesos como la oxidación del betún o la pérdida de volátiles mientras que en la vertiente física los fenómenos predominantes son de reorganización molecular y cambios de fase que no conllevan variación en su composición. Este complejo mecanismo de envejecimiento tiene lugar en varias fases temporales bien diferenciadas den-

tro de la vida de la mezcla bituminosa. En una primera fase, durante su fabricación, y más concretamente durante la fase de mezclado de los áridos con el betún, se produce la mayor contribución al grado de envejecimiento general; con posterioridad, durante su transporte y colocación en obra el grado de envejecimiento acumulado se situará en el entorno del 70% del total de los primeros 10 años de vida del pavimento. Con posterioridad el envejecimiento afronta una etapa de crecimiento sostenido hasta el final de la vida útil del pavimento.



Figura 1. Etapas del proceso de envejecimiento de una mezcla bituminosa. Fuente: Cuadernos Tecnológicos de la PTC N°5/2015 [3]

Estas cifras hacen presagiar que una reducción significativa de temperatura en la fabricación de la mezcla bituminosa debe tener un impacto relevante en el grado de envejecimiento inicial de la mezcla, con una contribución no menor en el alargamiento de la vida útil del pavimento. De aquí que sea esperable, en buena lógica, que las mezclas semicalientes en general tengan un grado de desempeño superior a las mezclas convencionales equivalentes en términos de durabilidad. Sin embargo algunas experiencias realizadas hasta la fecha en varios tramos de carreteras de nuestra geografía ejecutados con mezclas calientes y semicalientes parecen indicar que, el grado de envejecimiento de las mezclas, medido como la penetración y la temperatura de reblandecimiento anillo-bola del ligante recuperado de las mismas, parece converger para ambos tipos de mezcla en un período de 3-4 años, lo que en principio indicaría la pérdida de la ventaja competitiva provocada por el efecto del menor envejecimiento inicial de mezclas semicalientes, en un

relativo corto espacio de tiempo. Es por ello que se entiende necesario profundizar en el conocimiento de la mencionada evolución en términos de parámetros de mezcla para corroborar si, con los ensayos empíricos realizados sobre el betún recuperado, no se estuviera evaluando en su complejidad el desempeño de la mezcla en el tiempo, en su conjunto, de forma suficientemente significativa, o bien, si lo detectado en los tramos ejecutados y analizados hasta la fecha es reflejo del comportamiento real.

3. EXPERIMENTACIÓN PLANTEADA EN EL LABORATORIO

Para la consecución del objetivo marcado en el apartado anterior se ha planteado la realización de ensayos de resistencia a la fisuración tipo Fénix (NLT-383/2020) sobre probetas fabricadas y sometidas a diferentes grados de envejecimiento en laboratorio. La idea inicial es la obtención en cada fase de los parámetros característicos de resistencia a tracción (RT) ductilidad (DT) y tenacidad (RTxDT) de una mezcla semicaliente fabricada en planta con tecnología de espuma de betún a 130°C, denominada FWMA 130, y su equivalente en caliente fabricada a 165°C, HMA 165 (etapa 1). Para la elección de unos grados de envejecimiento suficientemente representativos se ha acudido a procedimientos de calentamiento prolongado descritos en la bibliografía [3,4], partiendo de mezcla fabricada en central. En concreto, para la segunda etapa, se ha utilizado un procedimiento tipo STOA (Short-term Oven Aging) de envejecimiento de mezcla suelta a 135°C durante 4 horas en horno de convección para la elaboración de las probetas. Este proceso simula el mezclado y colocación de la mezcla bituminosa y es también representativo de capas de mezcla con menos de dos años de vida (en el presente estudio aparecen referenciadas como envejecimiento a 1 año). Para la tercera etapa, probetas de esta mezcla sometida al anterior STOA se envejecen adicionalmente 2 días a 85°C, lo que equivaldría a un envejecimiento del pavimento resultante de entre 2-6 años. Por último, para simular el envejecimiento a largo plazo, en la etapa 4 (entre 10 y 15 años reales dependiendo de las condiciones climáticas a las que se expone el pavimento), se someten las

Evaluación del grado de envejecimiento en laboratorio de mezclas en caliente y semicalientes fabricadas con espuma de betún

probetas a un acondicionamiento LTOA 5 días a 85°C en estufa de convección. Los procesos se esquematizan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Esquema de procesos de envejecimiento llevados a cabo en laboratorio

Etapa	Referencia	Método de envejecimiento	Temperatura (°C)	Duración	Material sometido a envejecimiento
1	REF	Probetas referencia	130/165	Fabricada en central	Material suelto
2	1 año	STOA	135	4 horas	Material suelto
3	2-6 año	LTOA (2 días)	85	2 días	Probetas compactadas
4	10-15 año	LTOA	130/165	5 días	Probetas compactadas

La mezcla sobre la que se ha trabajado es una de tipo AC16 SURF S fabricada en planta discontinua con árido calizo y un contenido en betún de penetración 35/50 del 4,5% sobre mezcla.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Diagrama Fénix. Parámetros RT y DT.

Para obtener una primera visión de conjunto, a modo de mapa, de los resultados obtenidos, se ha recurrido a su representación en un diagrama Fénix a 20°C al ser la temperatura referencia marcada en la Nota Técnica NT01/2022 [5] para los parámetros Fénix de mezclas fabricadas con betún 35/50.

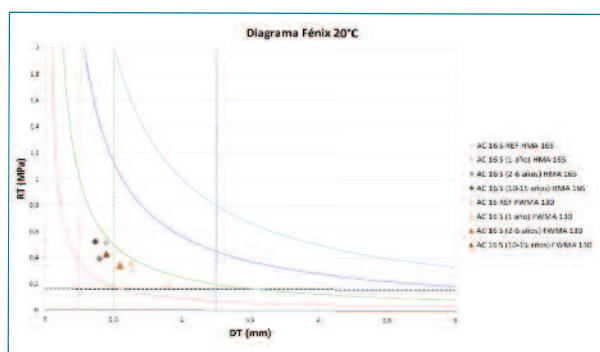


Figura 2. Representación de los pares de datos DT/RT a 20°C obtenidos en el presente estudio

En la Figura 2 cada punto se corresponde con la media obtenida de al menos 4 determinaciones para cada familia de mezclas. Se han representado dichos puntos con una tonalidad más oscura a medida

que crece el nivel de envejecimiento simulado en laboratorio de la mezcla. Se puede apreciar como la mezcla semicaliente (FWMA 130) parte de posiciones más dúc-

tiles y de menor resistencia a tracción que su equivalente en caliente (HMA 165), como era de esperar, por el menor grado de envejecimiento inicial en la fabricación. Ambos tipos de mezcla van reduciendo su ductilidad y aumentando su resistencia a tracción con el grado de envejecimiento, y parecen recorrer en el camino una línea de isotenacidad ($RT \times DT = cte$) a esta temperatura.

Para un análisis más detallado se muestran a continuación las Figuras 3 y 4, donde se representan los parámetros RT y DT a 20°C de manera comparativa para las mezclas calientes y semicalientes.

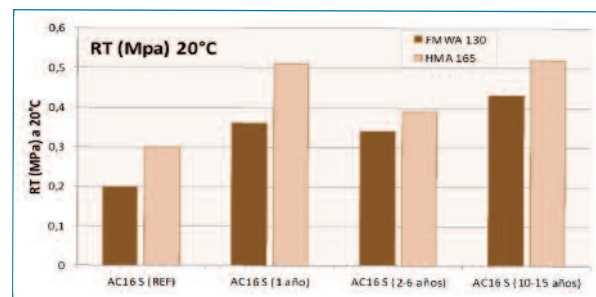


Figura 3. Datos obtenidos para RT a 20°C mezcla caliente y semicaliente

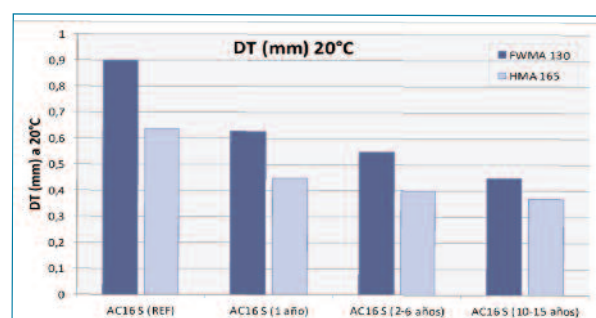


Figura 4. Datos obtenidos para DT a 20°C mezcla caliente y semicaliente

En la Figura 3 se puede observar cómo la mezcla semicaliente mantiene, al aumentar su envejecimiento, menores valores de resistencia a tracción que la mezcla en caliente. La tendencia esperada de subida generalizada de la resistencia con el envejecimiento parece sufrir un impasse en el período entre los 2-6 años de envejecimiento para después continuar su ascenso. Quizás, la tendencia más interesante, es la que se encuentra en la evolución de la ductilidad de ambas mezclas reflejada en la Figura 4. De los resultados obtenidos a 20°C se observa que la mezcla semicaliente mantiene una diferencia prácticamente constante de ductilidad frente a la mezcla en caliente convencional, situándose esta diferencia en el entorno del +40% hasta un nivel de envejecimiento del pavimento correspondiente a 10-15 años, nivel en que la diferencia decrece hasta un +20%.

Cuando se observan los resultados a 5°C (Figuras 5 y 6) las diferencias de resistencia a tracción parecen minimizarse por efecto de la temperatura de ensayo mientras se siguen manteniendo diferencias significativas en la ductilidad de las mezclas estudiadas.

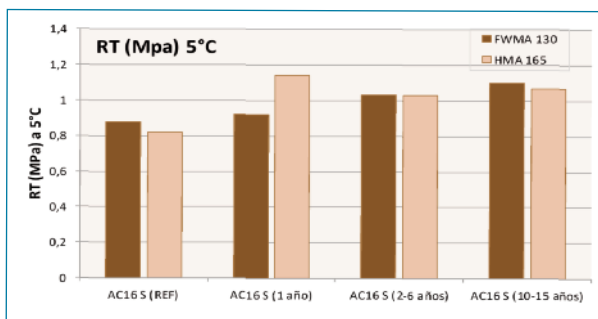


Figura 5. Datos obtenidos para RT a 5°C mezcla caliente y semicaliente

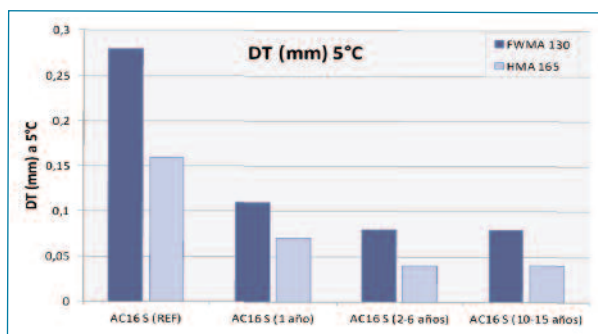


Figura 6. Datos obtenidos para DT a 5°C mezcla caliente y semicaliente

Este fenómeno observado hace que el parámetro

RTxDT, representativo de la tenacidad de la mezcla, pase de un comportamiento muy similar para ambas mezclas a 20°C, a una mejora comparativa de la mezcla semicaliente cuando analizamos los datos a 5°C. Lo comentado puede observarse en las Figuras 7 y 8.

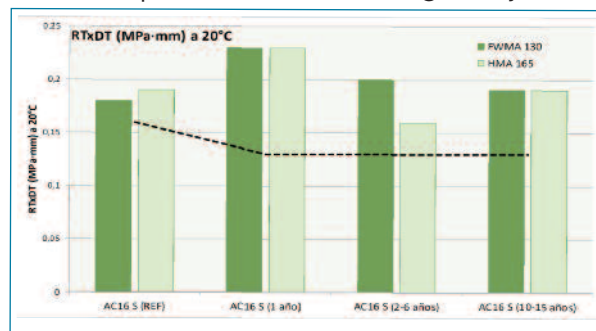


Figura 7. Datos obtenidos para RTxDT a 20°C mezcla caliente y semicaliente

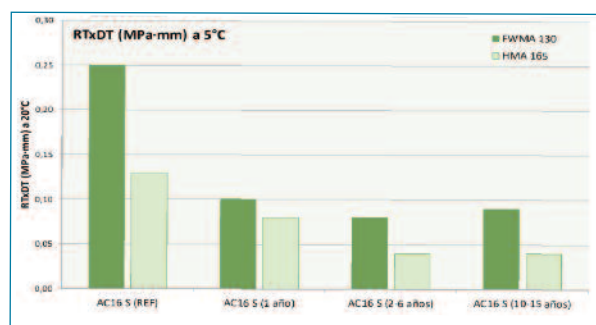


Figura 8. Datos obtenidos para RTxDT a 5°C mezcla caliente y semicaliente

En la figura 7 se ha incluido el límite mínimo establecidos en la tabla 1 de la NT 01/2022 (línea punteada) [5] para mezclas AC para el control de fabricación (F), que regiría en la mezcla de referencia, y de control sobre testigos, que regiría en las mezclas de mayor envejecimiento.

4.2 IRT (Índice de Rigidez a Tracción)

Tras el análisis de los datos obtenidos para los parámetros de resistencia a tracción, tenacidad y ductilidad parecía interesante obtener la evolución de la rigidez de la mezcla en función del grado de envejecimiento en laboratorio. En el ensayo Fénix se obtiene un índice de rigidez determinado como la pendiente de la curva carga-desplazamiento entre el 25% y el 50% de la carga máxima, en la parte rectilínea ascendente inicial del ensa-

Evaluación del grado de envejecimiento en laboratorio de mezclas en caliente y semicalientes fabricadas con espuma de betún

yo. Los datos obtenidos a 20°C para este parámetro fueron los siguientes.

Tabla 2. Datos de IRT a 20°C obtenidos en el estudio

Mezcla	Grado de envejecimiento	IRT (MPa/mm) a 20°C	
		FWMA 130	HMA 165
AC16 S	Referencia (inicial)	1,24	1,50
	1 año	1,84	3,53
	2-6 años	2,71	4,24
	10-15 años	4,36	4,95

Gráficamente se obtiene:

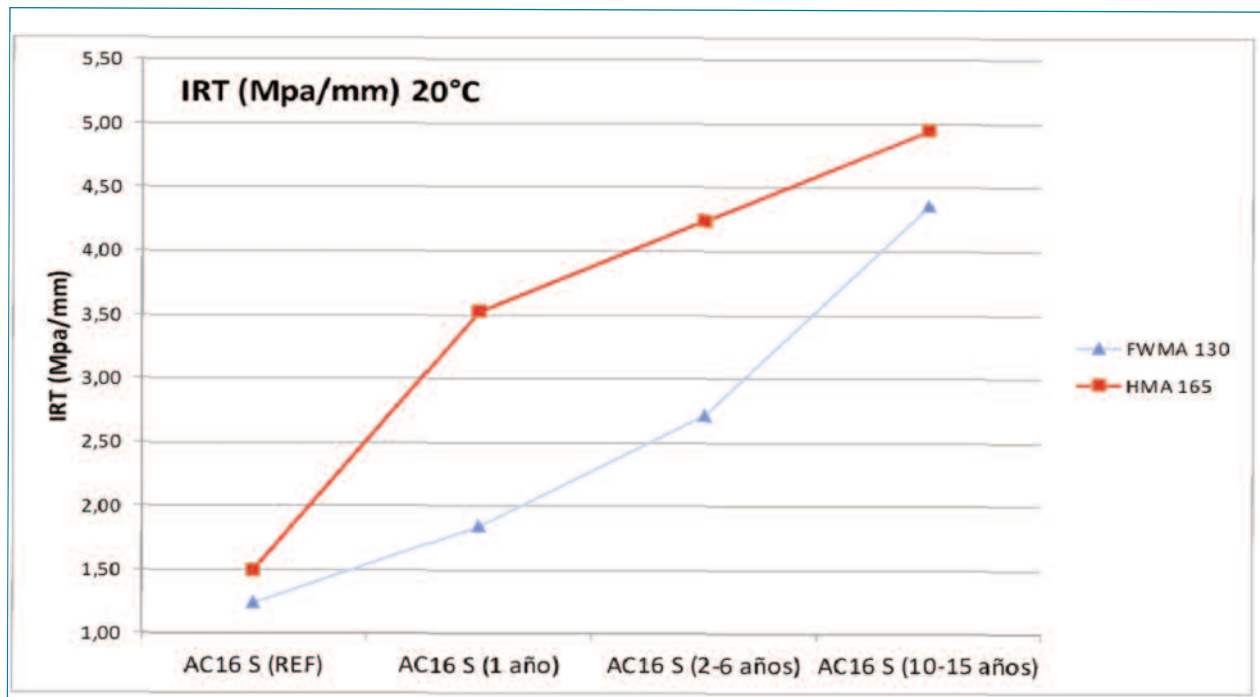


Figura 9. Datos obtenidos para IRT a 20°C mezcla caliente y semicaliente

Del análisis de la Figura 9 se puede inferir que, partiendo de valores similares de rigidez, algo menores para la mezcla espumada, la velocidad de aumento de la misma en ambas mezclas parece diferir en su comportamiento. La mezcla en caliente (HMA 165) posee un mayor gradiente de rigidización a edades más tempranas para luego crecer en el parámetro de forma más sostenida. En cambio, para la mezcla semicaliente (FWMA 130) el IRT crece más lentamente, acelerando el proceso

entre las dos últimas etapas analizadas. Se puede constatar con los datos obtenidos que el parámetro IRT para una mezcla semicaliente espumada con un grado de envejecimiento equivalente a 10-15 años, es del orden de magnitud de su mezcla análoga en caliente con un envejecimiento en laboratorio equivalente a entre 2-6 años.

5. CONCLUSIONES

El objetivo del presente estudio a escala laboratorio ha sido tratar de profundizar, con la utilización de una herramienta de ensayo como es la resistencia a fisuración tipo Fénix (NLT- 383/20), en el conocimiento del envejecimiento comparativo entre las mezclas calientes y semicalientes, éstas últimas fabricadas con tecnología de espuma de betún. Entendemos que en este campo, debemos aún encontrar respuesta sobre algunas de las cuestiones que se plantean a la hora de dilucidar si las mezclas a menor temperatura fabricadas mediante esta tecnología nos facilitan, además de las mejoras ya conocidas a nivel medioambiental y de exposición de los trabajadores, aumentar la vida útil de los pavimentos que se diseñen y ejecuten con este tipo de mezclas.

A la vista de los datos recabados en el presente estudio, parece evidente que, a nivel de laboratorio y sometidas las mezclas a envejecimientos controlados de carácter exclusivamente térmico, las mezclas semicalientes analizadas arrojan valores de tenacidad semejantes a sus equivalentes en caliente a 20°C siempre con un mayor grado de ductilidad que se mantiene al aumentar su envejecimiento. En el caso del comportamiento de las mezclas a 5°C la mezcla semicaliente mejora en tenacidad frente a la mezcla en caliente ya que se igualan las resistencias a tracción manteniendo aquéllas una mayor ductilidad.

En términos de rigidez, la evolución de ambas mezclas parece llevar un comportamiento significativamente diferente con velocidades de aumento de rigidez que difieren en cada etapa. La mezcla semicaliente se mantiene siempre en niveles de rigidez inferiores, incluso tras 10-15 años de envejecimiento simulado en laboratorio.

Con todo ello, los datos obtenidos por el presente estudio parecen indicar que existen diferencias de comportamiento, analizadas vía resistencia a la fisuración, entre la mezcla caliente y semicaliente espumada objeto de estudio, y que estas diferencias iniciales, que proceden de la fabricación a menor temperatura, se mantienen al aumentar el grado de envejecimiento de las mezclas. La mezcla semicaliente estudiada mantiene una mayor ductilidad, comparativamente hablando, durante todo el proceso de envejecimiento e, incluso, una tenacidad algo

mayor a temperatura de ensayo de 5°C. Los valores de IRT obtenidos apuntan igualmente a una menor rigidez de la mezcla semicaliente en todo caso y con valores claramente diferenciados en mezclas con edades entre 1 y 6 años.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2020. National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- [2] NLT 383-20. "Evaluación de la resistencia, tenacidad y energía de rotura de las mezclas bituminosas mediante el ensayo Fénix"
- [3] El envejecimiento en mezclas asfálticas. N°5 / 2015 CUADERNOS TECNOLÓGICOS DE LA PTC. Teresa López-Montero, Rodrigo Miró. Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech.
- [4] NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP) Project NCHRP 09-54 Long-Term Aging of Asphalt Mixtures for Performance Testing and Prediction. Y. Richard Kim, Ph.D., P.E., F.ASCE Cassie Hintz, Ph.D. Farhad Yousefi Rad, Michael Elwardany North Carolina State University Shane Underwood, Ph.D. Arizona State University Mike J. Farrar, Ronald R. Glaser Western Research Institute. October 2013.
- [5] NOTA TÉCNICA NT 01/2022 Sobre la utilización del Ensayo Fénix en el control de calidad de las obras de firmes con mezclas bituminosas. Ministerio de Transportes, movilidad y agenda urbana. Mayo 2022.

CEPSA
se transforma en
moeve

Juntos impulsamos
tu futuro

Nuestros ligantes y betunes contribuyen a la economía circular y hacen que las carreteras sean más sostenibles, eficientes y duraderas.



Este futuro
tiene futuro