

LAS EUROCLASES. CLASIFICACIÓN DE LA REACCIÓN AL FUEGO DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Marisol Barral*; Ramón Romera

Grupo Campezo S.L.

**mbarral@campezo.com*

Carmelo Lorenzo

Oscal S.L.U.

clorenzo@oscal.es

Pablo Garmendia*; Izaskun Martínez

Fundación CIDEMCO.

**pablo.garmendia@cidemco.es*

Zita Palmilla; M^a Eugenia Muñoz*

Instituto Universitario POLYMAT (UPV)

**popmubem@sc.ehu.es*

Introducción

Uno de los aspectos fundamentales respecto a la seguridad de los túneles, es el caso de su comportamiento frente al fuego, dada las características especiales de estas infraestructuras, siendo uno de los accidentes que mayores repercusiones tienen, aquellos en los que se generan incendios en el interior de un túnel.

La reglamentación europea que recoge los requisitos mínimos de Seguridad frente incendio en túneles de carreteras (Directiva 2004/54/EC), refleja una serie de medidas para la protección de la infraestructura centrada en la protección activa, motivo por el cual no existe una normativa clara para determinar el comportamiento frente al fuego de los pavimentos.

Según la directiva europea de productos de construcción (DPC 89/106/CEE), las mezclas bituminosas deben tener marcado CE de acuerdo a las normas EN 13108, y según éstas el comportamiento de reacción al fuego se clasifica en base a la norma EN 13501-1:2007. El objetivo de esta norma es definir un procedimiento armonizado europeo para la clasificación de la reacción al fuego de los productos de construcción basado en euroclases, en función de sus condiciones finales de uso. Se reflejan tres

posibles categorías de uso: revestimientos para paredes o techos, para suelos y aislamientos térmicos lineales.

En esta comunicación se compara la reacción al fuego de varias mezclas bituminosas utilizadas en la pavimentación de túneles. Se presentan resultados del comportamiento frente al fuego de hormigones bituminosos tipo AC y mezclas bituminosas discontinuas para capas finas tipo BBTM A, obtenidos en el desarrollo de la primera fase del Proyecto de Investigación subvencionado por el Ministerio de Fomento titulado “Comportamiento frente al fuego de mezclas bituminosas diseñadas para túneles”.

Estado del arte

El comportamiento al fuego de un material se expresa normalmente en términos de reacción al fuego y de resistencia al fuego.

La reacción al fuego se define como una característica de los materiales, normalmente usados en construcción, que indica su comportamiento y contribución a la propagación de un incendio en el caso de exposición a la llama directa.

La resistencia al fuego es el grupo de técnicas que nos permite examinar y clasificar a un conjunto de materiales, formando un elemento constructivo completo, en cuanto al cumplimiento de un cierto nivel de funciones estructurales y/o compartimentadores dentro del edificio en caso de Incendio.

Debido a la naturaleza y uso final de las mezclas bituminosas destinadas para la pavimentación en túneles, la simulación de las condiciones de un virtual incendio en el interior de túneles es vital para el análisis de su reacción al fuego.

El calor generado de un vehículo accidentado en llamas, provoca una radiación calorífica en la superficie del pavimento. El flujo total de calor, al que se ve expuesto la superficie del pavimento, es igual a la suma de la radiación externa, más el flujo de calor provocado por la combustión del propio material. Paap evaluó la respuesta de la superficie de las carreteras a la acción de un vehículo en llamas a cielo abierto, llevando a cabo pruebas a escala real. A lo largo de estas pruebas, se simulaban incendios en vehículos en el exterior y se midieron los flujos de calor usando radiómetros. Uno de los radiómetros se colocó muy cerca del coche, exactamente a un metro de distancia y situado a 1,5m de altura y el otro, directamente sobre el nivel del suelo orientado 45° hacia arriba. El máximo flujo de calor radiante sobre el pa-

vimiento, tras realizar una media de las curvas obtenidas, se estimó, que oscilaría entre 15 y 25 kW/m².

Normativa

Actualmente, en la directiva de productos de construcción de la Comunidad Europea (89/106/CEE), el comportamiento a la reacción al fuego se clasifica según la norma EN 13501-1:2007.

Esta norma tiene como objetivo definir un procedimiento para la clasificación de la reacción al fuego de todos los productos de construcción en EUROCLASES, incluidos productos incorporados dentro de los elementos de construcción.

Los productos se consideran en relación con su aplicación de uso final. Y es aplicable a tres categorías, que se tratan por separado:

- Productos de construcción, excluidos revestimientos de suelos
- Revestimientos de suelos
- Productos aislantes térmicos para tubos lineales.

Debido a que los pavimentos asfálticos son realmente materiales que de alguna forma constituyen un revestimiento de un suelo nos centraremos en el sistema de clasificación de materiales usados como revestimientos de suelos.

Las clases definidas por esta norma son A1_{fl} , A2_{fl} , B_{fl} , C_{fl} , D_{fl} , E_{fl}., F_{fl} (Ver tabla 1).

Dependiendo de la clasificación a la que opte el material, los ensayos a realizar son diferentes de forma que los ensayos más exigentes son: el ensayo de no combustibilidad (EN ISO 1182) y el ensayo de la bomba calorimétrica (EN ISO 1716).

Ambos se realizan cuando un producto usado como revestimiento de suelos opta a una clasificación A1_{fl} (material totalmente incombustible).

Para aquellos materiales candidatos a una clasificación A2_{fl} los ensayos a realizar son el ensayo del panel radiante (EN ISO 9239-1) en combinación con el ensayo de no combustibilidad (EN ISO 1182) o el ensayo de la bomba calorimétrica (EN ISO 1716).

Cuando el material opta a una clasificación B_{fl}, C_{fl} o D_{fl} , se llevan a cabo la siguiente combinación de ensayos: por un lado, se lleva a cabo el ensayo del panel

radiante (EN ISO 9239-1) y además se realiza el ensayo de inflamabilidad o pequeño quemador (EN ISO 11925-2). Aquellos materiales usados para revestir suelos que sean candidatos para una clasificación E_{fl} se ensayarán mediante el ensayo de inflamabilidad (EN ISO 11925-2).

Por último cuando no existen criterios de comportamiento o cuando el producto no obtiene la euroclase E_{fl} se da la clasificación F_{fl} .

Clase	Método(s) de ensayo	Criterios de clasificación	Clasificación adicional
A1_n	EN ISO 1182 ^a y	$\Delta T \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; y $\Delta m \leq 50\%$; y $t_f = 0$ (es decir, sin producción sostenida de llamas)	—
	EN ISO 1716	$PCS \leq 2,0\text{ MJ/kg}^a$ y $PCS \leq 2,0\text{ MJ/kg}^b$ y $PCS \leq 1,4\text{ MJ/m}^2^c$ y $PCS \leq 2,0\text{ MJ/kg}^d$	—
A2_n	EN ISO 1182 ^a	$\Delta T \leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; y $\Delta m \leq 50\%$; y $t_f \leq 20\text{ s}$	—
	EN ISO 1716 y	$PCS \leq 3,0\text{ MJ/kg}^a$ y $PCS \leq 4,0\text{ MJ/m}^2^b$ y $PCS \leq 4,0\text{ MJ/m}^2^c$ y $PCS \leq 3,0\text{ MJ/kg}^d$	—
	EN ISO 9239-1 ^e	Flujo crítico ^f $\geq 8,0\text{ kW/m}^2$	Producción de humo ^g
B_n	EN ISO 9239-1 ^e y	Flujo crítico ^f $\geq 8,0\text{ kW/m}^2$	Producción de humo ^g
	EN ISO 11925-2 ^h : Exposición = 15 s	$F_s \leq 150\text{ mm}$ dentro de 20 s	—
C_n	EN ISO 9239-1 ^e y	Flujo crítico ^f $\geq 4,5\text{ kW/m}^2$	Producción de humo ^g
	EN ISO 11925-2 ^h : Exposición = 15 s	$F_s \leq 150\text{ mm}$ dentro de 20 s	—
D_n	EN ISO 9239-1 ^e y	Flujo crítico ^f $\geq 3,0\text{ kW/m}^2$	Producción de humo ^g
	EN ISO 11925-2 ^h : Exposición = 15 s	$F_s \leq 150\text{ mm}$ dentro de 20 s	—
E_n	EN ISO 11925-2 ^h : Exposición = 15 s	$F_s \leq 150\text{ mm}$ dentro de 20 s	—
F_n	Ningún comportamiento determinado		
^a Para productos homogéneos y componentes sustanciales de productos heterogéneos.			
^b Para cualquier componente externo no sustancial de productos heterogéneos.			
^c Para cualquier componente interno no sustancial de productos heterogéneos.			
^d Para el producto como un todo.			
^e Duración del ensayo = 30 min.			
^f El flujo crítico se define como el flujo radiante para el cual se apaga la llama o el flujo radiante después de un periodo de ensayo de 30 min si este valor es inferior (es decir, el flujo correspondiente a la máxima propagación de la llama).			
^g s1 = humo $\leq 750\%$ min; s2 = no s1.			
^h En condiciones de ataque de la superficie por llama y, si procede para la aplicación de uso final del producto, ataque del borde por llama.			

Tabla 1. Criterios de clasificación definidos en la norma EN 13501-1 para revestimientos de suelos.

Descripción de los ensayos

A continuación se van a describir los ensayos necesarios para clasificar en euro-clases los materiales de construcción cuya aplicación final de uso sea como revestimiento de suelos, como es el caso de las mezclas bituminosas.

Ensayo de no combustibilidad (EN ISO 1182:2002)

Este ensayo de comportamiento frente al fuego ha sido desarrollado para el uso por parte de responsables de la selección de productos para construcción y destinado a aquellos materiales que pese a no ser completamente inertes, producen sólo una cantidad muy reducida de calor y llamas al estar expuestos a temperaturas de aproximadamente 750 °C.

El equipo está compuesto por un horno que contiene un tubo refractario rodeado por una resistencia calentadora arrollada, que está encajado dentro de un receptáculo aislante. En la base del horno se sitúa un estabilizador de circulación de aire de forma troncocónica y en la parte superior, un protector contra corrientes. El horno se monta sobre una plataforma y dispone de un porta probetas y de un dispositivo para introducir esta en el interior del horno.

Las muestras de ensayo han de ser de forma cilíndrica y cada una ha de tener una altura de 50 ± 3 mm y un diámetro de 45 mm. Las muestras de ensayo se acondicionan tal y como se especifica en la norma europea EN 13238 (un mínimo de 48 horas a 23°C y 50% de humedad). A continuación, se secan en un horno ventilado y mantenido a (60 ± 5) °C, entre 20 y 24 horas y se enfrían en un desecador hasta temperatura ambiente. Tras este periodo de acondicionamiento la muestra estaría lista para someterse al ensayo.

Los parámetros de ensayo más importantes a tener en cuenta en este ensayo son:

- A) La pérdida de masa (Δm):** Para calcularla anotaremos la masa de la probeta antes y después del ensayo. También se anota cualquier observación relacionada con el comportamiento de la muestra durante el ensayo.
- B) Inflamación:** Se calcula y anota la duración de llamas persistentes, en segundos. Se consideran llamas persistentes aquellas cuya duración sea igual o mayor a 5 segundos en cualquier parte visible de la muestra.
- C) Elevación de la temperatura (ΔT):** Se calcula y anota la elevación de la temperatura, $\Delta T = T_{\text{media}} - T_f$, en °C.

Se anotan las siguientes temperaturas, en °C, según las haya medido el termopar del horno:

Se anotan las siguientes temperaturas, en °C, según las haya medido el termopar del horno:

- T_i (Temperatura inicial): Es la temperatura media durante los 10 min finales del periodo de estabilización de la temperatura del horno.
- T_m (Temperatura máxima): Se trata del valor discreto de temperatura máxima en cualquier punto durante todo el periodo de ensayo.
- T_f (Temperatura final): Es la temperatura media durante el último minuto del periodo de ensayo.



Figura 1: (Izq.) Muestra de aglomerado introduciéndose en el horno de no combustibilidad, (Dcha) Dispositivo de ensayo de no combustibilidad.

Determinación del calor de combustión, ensayo de bomba calorimétrica (EN ISO 1716:2002)

En este ensayo una muestra de masa especificada se quema bajo condiciones normalizadas, a volumen constante, en una atmósfera de oxígeno, en un calorímetro de bomba calibrado por combustión de ácido benzoico certificado. El calor de combustión determinado bajo estas condiciones se calcula sobre la base del incremento de temperatura observado, teniendo en cuenta la pérdida de calor y el calor latente de vaporización del agua. El calorímetro se constituye por un depósito aislado que consistirá en un contenedor de pared doble, que está térmicamente aislado con su tapa correspondiente, también aislada. El depósito aislado está relleno de agua. Las dimensiones del depósito aislado serán tales que haya al menos 10 mm de espacio alrededor del vaso calorimétrico. El vaso calorimétrico estará apoyado sobre el área más pequeña posible de un material no conductor, preferiblemente con un apoyo en tres puntos.

En sistemas calorimétricos adiabáticos, se incorporará un calentador y un termómetro en el vaso para que la temperatura del agua en el depósito aislado se mantenga a la misma temperatura que la del agua del vaso calorimétrico.

El vaso calorimétrico consiste en un recipiente de metal pulido diseñado para acomodar la bomba. Las dimensiones serán tales que la bomba puede ser sumergida en agua.

El dispositivo de medida de la temperatura es capaz de ofrecer una resolución de 0,005K.

Las muestras de ensayo que han de ser de 1,5 gr como máximo, se toman perpendicularmente al espesor de una muestra de un peso de como mínimo de 50 gr.

Para el cálculo del poder calorífico superior o PCS de la muestra a volumen constante se debe resolver la siguiente ecuación:

$$PCS = (E(T_m - T_i + C) - B) / M \text{ Donde:}$$

PCS Poder calorífico superior en MJ/kg. Energía térmica producida por combustión de unidad de masa de una sustancia dada.

E Equivalente de agua del calorímetro, la bomba, sus accesorios y del agua introducida en la bomba expresada en MJ/K

T_i Temperatura inicial en K

T_m Temperatura máxima en K

B Corrección expresada en MJ necesaria para el poder calorífico de los combustibles usados durante el ensayo, por ejemplo el cable de encendido, hilo de algodón, papel de cigarrillo y ácido benzoico o ayuda a la combustión.

C Corrección de temperatura expresada en K requerida para el intercambio de calor con el exterior. Esto es cero si se usa un depósito aislado adiabático.

M Masa de la probeta en Kg.



Figura 2: Dispositivo de ensayo de bomba calorimétrica

Imflamabilidad, une EN ISO 11925-2:2002

El ensayo de inflamabilidad esta normalizado según la UNE EN ISO 11925-2:2002 “Reacción al fuego de los materiales de construcción. Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única”.

El ensayo consiste en someter al material a estudio a una pequeña llama, cuya altura y caudal de gas es controlada. Observaremos la respuesta del material ante una fuente de ignición de pequeña escala y se evaluarán los parámetros asociados a la reacción al fuego como son la propagación de la llama y la inflamación superficial cuando la pequeña llama se enfrenta sobre la superficie del material.

Cada muestra se compone de una pieza de medidas (250 x 90 x 60) mm, colocada sobre un doble marco en forma de U realizado en acero inoxidable colgado verticalmente, de tal manera que la cara inferior de la muestra esté directamente expuesta a la llama, a lo largo de su línea central y sus bordes.

Se utilizan unos espaciadores del quemador para la aproximación de la llama de 16 mm para la exposición al borde de la muestra y de 5 mm para la exposición a la superficie.

La altura de la llama debe ser de unos 20 mm de altura.

La exposición de la llama se lleva a cabo sobre la superficie con una duración de 30 segundos, sobre la línea central a 40 mm sobre el borde inferior.



Figura 3. (Izq.) Probeta de mezcla asfáltica para el ensayo de inflamabilidad, (Dcha.) Equipo de ensayo de inflamabilidad.

Panel radiante

La norma europea EN ISO 9239-1, describe la metodología de ensayo del panel radiante. El ensayo consiste en aplicar un flujo radiante que simula como afectan los niveles de flujo de calor térmico en un revestimiento para suelos cuya superficie se expone al calentamiento por llama, gases calientes o ambos durante el desarrollo de un fuego cercano y en unas condiciones de propagación a la llama en la dirección contraria al viento.

La muestra a ensayar se coloca en posición horizontal por debajo de un panel de gas radiante inclinado unos 30° y que presenta un flujo de calor conocido. En la extremidad más caliente o zona de la muestra que queda más cerca del panel se aplica una llama piloto. Después de la ignición, cualquier frente de llama que se desarrolle es anotado, así mismo se ira registrando el avance del frente de llama sobre toda la longitud de la muestra, en términos de tiempo de propagación sobre la distancia definida. Si se requiere se puede seguir el desarrollo del humo durante el ensayo, esto se puede realizar mediante la transmisión de la luz en el cúmulo de gases.

En definitiva, los parámetros más importantes que obtenemos de este ensayo vienen expresados en términos de distancia de propagación de la llama, el flujo de calentamiento crítico en la extinción de la llama.

Las dimensiones de las muestras a ensayar deben ser (1025 ± 5) mm x (230 ± 5) mm x (50 ± 5) mm).



*Figura 4. (arriba) Muestra de una mezcla bituminosa para el ensayo del panel radiante.
(abajo). Dispositivo panel radiante.*

Las muestras han sido montadas sobre un sustrato normalizado (silicato cálcico). El dispositivo de ensayo está dispuesto de forma que el flujo de calor máximo sobre la muestra alcance $10,9 \pm 0,4 \text{ kW/m}^2$ mientras que el mínimo es $1,1 \pm 0,2 \text{ kW/m}^2$. Previamente a la realización del ensayo, las muestras fueron acondicionadas en una cámara climática siguiendo los procedimientos indicados en la norma EN 13238:2001.

Mezclas bituminosas en caliente estudiadas

En este estudio se presentan los resultados de dos mezclas bituminosas habitualmente utilizadas para la pavimentación de túneles; AC 16 surf 35/50 S ofita y BBTM 11A 45/80-65 ofita.

Los constituyentes de las mezclas bituminosas fueron áridos de naturaleza ofítica (dichos áridos presentan marcado CE) y el ligante bituminoso fue un betún de penetración 35/50 para la mezcla tipo AC y un betún modificado con polímeros tipo BM-3c para la mezcla BBTM.

Ambos constituyentes cumplen con las especificaciones establecidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).

Las mezclas bituminosas fueron fabricadas en laboratorio, con la siguiente composición granulométrica y contenido de ligante. Ambas mezclas presentan marcado CE.

Las curvas granulométricas:

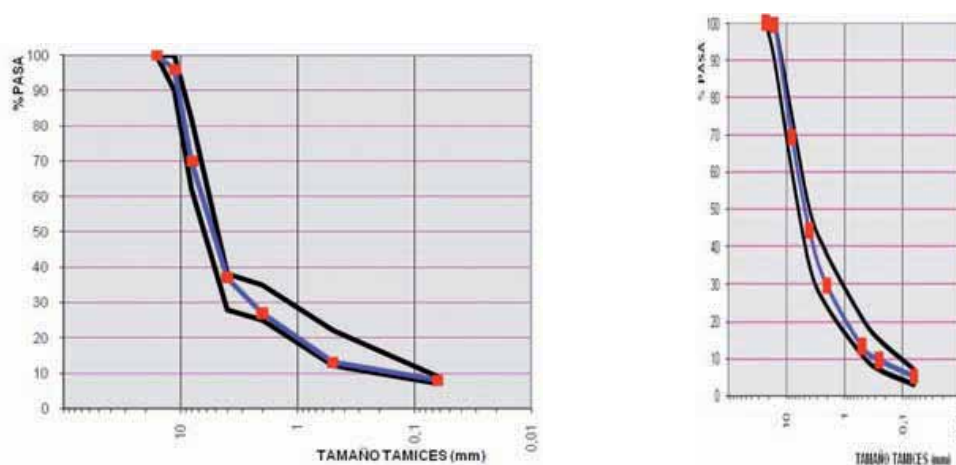


Figura 5. (Izq.) Granulometría de la mezcla BBTM 11A con un contenido de betún sobre mezcla de 5,7 (dcha.) Granulometría de la mezcla AC 16 S con un contenido de betún sobre mezcla de 4,8.

LAS EUROCLASES. CLASIFICACIÓN DE LA REACCIÓN AL FUEGO DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Resultados

Los resultados se muestran en las siguientes tablas: tabla 2: resultados bomba calorimétrica, tabla 3: resultados del ensayo de inflamabilidad, tabla 4: resultados del panel radiante.

	PCS _(replica 1) MJ/Kg	PCS _(replica 2) MJ/Kg	PCS _(replica 3) MJ/Kg	PCS _{medio} MJ/Kg
AC 16 S	1.3188	1.3841	1.3522	1.3517
Betún 35/50	45.2389	45.2506	45.2383	45.2426
BBTM 11A	1.6006	1.7761	1.4449	1.6072
Betún 45/80-65	42.7513	42.9458	42.8950	42.8640

Tabla 2: Resultados del ensayo de bomba calorimétrica.

PROBETA		Ignición muestra	Propagación llama a 150 mm (Fs)	Tiempo en el que se alcanza <u>F_s</u>	Ignición papel de filtro
Longitudinal	1	No	—	—	No
	2	No	—	—	No
	3	No	—	—	No
Transversal	4	No	—	—	No
	5	No	—	—	No
	6	No	—	—	No

Tabla 3: Resultados del ensayo de inflamabilidad. Las dos mezclas dieron los mismos resultados.

Resultados panel radiante según EN ISO 9239-1		Tiempo en que la llama alcanza el punto de medida			
		AC16 SURF 35/50 S OFITA		BBTM 11A 45/80-65 OFITA	
Frete de llamas (mm)	Flujo de calor (kW/m ²)	1	2	1	2
50	1,13	-----	-----	-----	-----
100	1,02	-----	-----	-----	-----
150	0,92	-----	-----	-----	-----
200	0,81	-----	-----	-----	-----
250	0,72	-----	-----	-----	-----
300	0,63	-----	-----	-----	-----
350	0,54	-----	-----	-----	-----
400	0,46	-----	-----	-----	-----
450	0,39	-----	-----	-----	-----
500	0,32	-----	-----	-----	-----
550	0,26	-----	-----	-----	-----
600	0,21	-----	-----	-----	-----
650	0,17	-----	-----	-----	-----
700	0,14	-----	-----	-----	-----
750	0,13	-----	-----	-----	-----
800	0,12	-----	-----	-----	-----
850	1,13	-----	-----	-----	-----
900	0,12	-----	-----	-----	-----
950	0,92	-----	-----	-----	-----
Llamas sostenidas tras aplicación de llama piloto(s)		0	0	0	0
Distancia final del frente de llamas (mm)		< 50	< 50	< 50	< 50
Flujo de calor crítico en la extinción de llamas (kW/m ²)		≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11

Tabla 4: Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de panel radiante.

Según la norma de clasificación de reacción al fuego UN EN 13501-1:2007, para emitir una clasificación tipo B_{fl}, C_{fl}, D_{fl} de un revestimiento para el suelo, se deben llevar a cabo la siguiente combinación de ensayos: panel radiante (EN ISO 9239-1) y el ensayo de inflamabilidad (EN ISO 11925-2).

En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados de ambos ensayos para las dos mezclas bituminosas a estudio.

A la vista de los resultados de los ensayos de inflamabilidad se obtienen las siguientes conclusiones comunes para las dos mezclas bituminosas analizadas (tabla 3):

- Ausencia de ignición, en ninguno de los casos ensayados se produce ignición de la muestra.
- Ausencia total de propagación de la llama a la marca situada a 150 mm de la zona de aplicación de la llama.
- Ausencia de goteo del material, en ningún caso se produjo goteo de material que pudiera dar lugar a la inflamación del papel de filtro que se coloca bajo la muestra.

Como observación común a las dos muestras, podemos afirmar que se produce un leve burbujeo del betún en la zona de aplicación de la llama que en ningún caso tiene como consecuencia el flujo del ligante sobre la superficie de la muestra y el consiguiente goteo.

Los resultados del panel radiante nos indican que (tabla 4):

- El frente de llamas que aplicamos sobre la muestra no provoca la ignición y por lo tanto tampoco se da el avance de las llamas sobre la superficie de la mezcla bituminosa.
- Se observa un leve burbujeo asociado al betún en la zona más afectada por el panel radiante o zona donde existe una menor distancia entre el panel y la mezcla bituminosa.

Estos resultados van en consonancia con los obtenidos en el ensayo de inflamabilidad aunque en este tipo de ensayo las condiciones en términos de temperatura y frente de llamas que aplicamos sobre la mezcla bituminosa implican altos flujos de calor ($10,9 \pm 0,4 \text{ kW/m}^2$).

Hasta el momento se puede concluir que las mezclas bituminosas estudiadas cumplen con los requisitos de una clase B_{fl} – s1, expuestos en la norma de clasificación

de reacción al fuego UNE EN 13501-1 debido a que:

- a) En el ensayo de panel radiante según EN ISO 9239-1 el flujo de calor crítico es mayor de 8 kW/m², concretamente, se ha obtenido un valor de 11 kW/m².
- b) Se han superado satisfactoriamente los requisitos de ensayo de inflamabilidad donde no se ha producido fenómeno de propagación de la llama y por lo tanto se cumple el criterio de $F_s < 150$ mm en 20 segundos.
- c) En cuanto a los humos generados, la clasificación obtenida es claramente S1, donde el humo emitido por ambas mezclas bituminosas AC16 tienen un valor menor al 750% marcado por la norma de clasificación UNE EN 13501-1:2007.

Los valores en los humos emitidos por las mezclas bituminosas estudiadas en este ensayo, son tan escasos que están fuera de la deriva de la medida de atenuación de la luz del equipo óptico, por lo que se ha decidido obviar los valores.

Viendo los buenos resultados obtenidos en los ensayos comentados se propuso dilucidar si la mezcla bituminosa podría obtener una clasificación A2_{fl}. Volviendo a la norma UNE EN 13501-1:2007, para emitir una clasificación A2_{fl} de reacción al fuego de un revestimiento para suelo, nos da dos posibilidades según el producto a ensayar se clasifique como homogéneo o heterogéneo.

- Si se trata de un producto homogéneo (producto constituido por un único componente), se realizan los ensayos del panel radiante (EN ISO 9239-1), junto con el ensayo de no combustibilidad (EN ISO 1716) o el ensayo de bomba calorimétrica (EN ISO 1182).
- Si se trata de un producto heterogéneo (producto constituido por dos o más componentes). A su vez, dentro de los productos heterogéneos surgen otras dos subcategorías que distinguen los tipos de componentes en sustanciales o no sustanciales.

Los componentes sustanciales de un producto heterogéneo (Componente sustancial: Material que constituye una parte importante del producto heterogéneo. Una capa con una densidad superficial ≥ 1 Kg/m² o un espesor $\geq 1,0$ mm) deberán cumplir los requisitos citados anteriormente para un producto homogéneo.

En cambio los componentes no sustanciales (Componente no sustancial: Material que no constituye una parte importante de un producto heterogéneo: Material con una densidad superficial < 1 Kg/m² o un espesor < 1 mm) de un producto heterogéneo deberán satisfacer únicamente los criterios del ensayo de bomba calorimétrica (EN ISO 1716), además del panel radiante (EN ISO 9239-1).

Antes de analizar los componentes sustanciales y no sustanciales del componente heterogéneo, el producto heterogéneo como un todo deberá cumplir el criterio PCS $\leq 3 \text{ MJ/kg}$ en el ensayo de bomba calorimétrica según la norma EN ISO 1716, es decir, deberá pasar este criterio sino ya no podría optar a esta clasificación independientemente de los resultados de sus componentes por separado.

Las mezclas bituminosas se tratan de productos heterogéneos, por estar constituidos por dos o más componentes. Y además, sus dos componentes: áridos (árido grueso + fino + filler) y betún son ambos dos componentes sustanciales si bien el componente mayoritario es el árido, el betún presenta una densidad superficial en las mezclas estudiadas superior a 1 kg/m^2 .

Por tanto, se ha realizado primeramente el ensayo de la bomba calorimétrica como un todo, es decir, de la mezcla bituminosa, y se obtiene como resultado un poder calorífico superior (PCS) de 1.3517 MJ/kg para la mezcla AC16S y 1.6072 MJ/kg para la mezcla BBTM 11A (ver tabla 2) que es inferior a $3,0 \text{ MJ/kg}$ por tanto pasaría la clasificación A2_{fl} de momento.

En cuanto a los componentes sustanciales de la mezcla analizados en la bomba calorimétrica por separado comentar que:

- 1. Áridos:** El árido al ser un material inorgánico o con una cantidad de materia orgánica inferior al 1% se considera por tanto un material incombustible y presenta una clasificación A1_{fl}.
- 2. Betún:** En el caso del betún se ha realizado el ensayo de la bomba calorimétrica y su resultado se presenta en la tabla 2, donde nos ha dado un valor del poder calorífico superior (PCS) de 45.2426 MJ/kg para el betún 35/50 y 42.8640 MJ/kg para el betún modificado con polímeros que multiplicado por la densidad superficial del betún en la mezcla AC16S nos da un valor de PCS igual a $497,67 \text{ MJ/m}^2$ y en el caso de la mezcla BBTM 11A un PCS igual a $574,37 \text{ MJ/m}^2$.

Ambos valores son superiores a los $4,0 \text{ MJ/m}^2$ que nos permite la norma para que sea clasificación A2_{fl}.

A la vista de estos resultados tenemos que concluir que, en términos de reacción al fuego, la clasificación de las mezclas bituminosas estudiadas es B_{fl}-s1.

Conclusiones

A continuación se resumen las conclusiones más importantes que se extraen de este estudio inicial:

- La EUROCLASE, según la norma europea EN 13501-1:2007 y bajo la clasificación de revestimientos de suelos para las mezclas bituminosas estudiadas es B_{fl}-S1.
- Podemos afirmar que las situaciones de incendio que contemplen flujos de calor iguales o inferiores a $10,9 \pm 0,4$ kW/m², el pavimento constituido por las mezclas bituminosas estudiadas, no implicarían ninguna aportación extra al incendio en términos de propagación de la llama, inflamación superficial, calor generado y humos emitidos.

Bibliografía

1. Carvel, R. O., Torero, J. L., “The contribution of asphalt road surfaces to FIRE risk in tunnel fires: Preliminary findings”, Tunnel management international, 2006.
2. Jofré Ibañez, C., “Optimización de las características de los pavimentos para túneles”, VIII Congreso Nacional FIRMES, 2008.
3. Colwell, S., Nicholls, J.C., Torero, L., ”Test Methodologies for Reaction to Fire of Pavement Materials” Sustainable and Advanced materials for road Infrastructure, 2005.
4. “Asphalt pavements in tunnels”, EAPA, European Asphalt pavement association, 2008.
5. Haack, Alfred., “Fire in tunnels, Design Fire scenarios, part 1” European Thematic Network Fire in tunnels, 2004.
6. Bruno, Brousse., Lacroix, Didier., “Fire in tunnels, Fire safe design, part 2” European Thematic Network Fire in tunnels, 2004.
7. “Influencia de la mezcla asfáltica en la seguridad de los túneles”, Carreteras, N° 155/Sep-Oct 07.
8. Paap.F., TNO Building Construction Research. Private Communication. 2004.
9. Lathawer W., Effects of pavement on fires in road tunnels, Routes Roads, n° 334 (2007).

10. Del Val M.A., Romana M.G., Galvis R. Una propuesta para el proyecto de firmes y pavimentos en tuneles Revista de Obras publicas, nº 3474 (2007).
11. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de Carreteras para obras de carreteras y puentes (PG-3). 2004.
12. Orden Circular 24/2008.
13. Norma UNE EN 13501-1: 2009 Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y de los elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.
14. Norma UNE EN ISO 1182:2002 Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción. Ensayo de no combustibilidad.
15. Norma UNE EN ISO 1716:2002 Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción. Ensayo del calor de combustión.
16. Norma UNE EN ISO 9239-1:2002 Ensayos de reacción al fuego de los revestimientos de suelos. Parte 1: Determinación del comportamiento al fuego mediante una fuente de calor radiante.
17. Norma UNE EN ISO 11925-2:2002 Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción. Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única.