

MÉTODOS DE ENSAYO PARA VALORAR LA COHESIÓN DEL LIGANTE RESIDUAL DE LAS EMULSIONES BITUMINOSAS MODIFICADAS.

AUTORES

M^a del Mar Colás Victoria

Pilar Cabanillas Estébanez

Dirección Técnica de PROAS

Alcalá de Henares, Madrid

RESUMEN

La aplicación de la normativa europea de emulsiones EN 13808 supondrá no sólo cierto esfuerzo en la aplicación de las nuevas especificaciones, sino también por el empleo de nuevos métodos de ensayo en nuestro país.

La norma EN 13808 es una norma armonizada de marcado CE y recoge las futuras especificaciones de emulsiones bituminosas (convencionales y modificadas), anteriormente especificadas en los artículos 213 y 216 del PG3. Su aplicación era voluntaria hasta 2011 pero a partir de entonces es de obligado cumplimiento.

Uno de los puntos diferenciadores entre ambas especificaciones se basa en el establecimiento de clases para cada una de las características de la emulsión original o de su residuo y otro es el relativo a los métodos de ensayo novedosos que se introducen.

Respecto a la obtención del ligante residual, mientras que las especificaciones españolas contemplan obtener el residuo de la emulsión por destilación o por evaporación a 163°C, las futuras contemplan en ambos casos un método de evaporación diferente (EN 13074), que trata de conseguir el ligante una vez rota la emulsión. Algunos de los ensayos de caracterización del ligante residual obtenido serán diferentes a los actuales, especialmente en el caso de los ligantes modificados.

Además, para evaluar la durabilidad del ligante residual se someterá al residuo obtenido según la norma EN 13074, al proceso de estabilización según la norma EN 14895 para eliminar los fluidificantes presentes y después se completará el proceso con un envejecimiento acelerado en cámara PAV según EN 14769 y la caracterización del residuo final. Este procedimiento trata de obtener el ligante que queda en el firme después de varios años de su puesta en obra.

En el caso de emulsiones modificadas con polímeros no sólo se evaluará la consistencia de los residuos obtenidos por los métodos tradicionales de penetración y punto de reblandecimiento, sino que además se evaluará su cohesión mediante nuevos métodos de ensayo como el del Péndulo Vialit (EN 13588) o el de Fuerza-Ductilidad (EN 13589).

Son aún muy pocos los laboratorios que están aplicando los nuevos métodos de ensayo a la caracterización de emulsiones bituminosas y especialmente a la de sus residuos, obtenidos por los nuevos métodos anteriormente indicados. Por ello, aún no disponemos de suficientes datos sobre las características de los residuos de nuestras emulsiones, especialmente si se trata de emulsiones modificadas con polímeros.

En esta comunicación se recogen los resultados obtenidos en la caracterización de los residuos de los tipos de emulsiones bituminosas modificadas más utilizadas en España, en lo que se refiere a consistencia y cohesión, utilizando los métodos de ensayo que se indican en la normativa europea EN 13808. En base a estos resultados se podrá definir de forma más precisa las clases que afectan a las características de los ligantes residuales de estas emulsiones, según lo que indican las tablas 4 y 5 de la norma europea EN 13808 y elaborar los correspondientes anexos nacionales.

Palabras Clave: Emulsiones modificadas, ligante residual, cohesión, fuerza-ductilidad, péndulo.

1. INTRODUCCIÓN

Todas las especificaciones de productos relacionados con la construcción de carreteras se deben estructurar de acuerdo a las directrices marcadas en el Mandato M/124, relativo a Productos para la Construcción de Carreteras y este es el caso, entre otros, de las especificaciones de las emulsiones bituminosas.

Al igual que para otros ligantes bituminosos, el marcado CE de las emulsiones bituminosas exige una serie de requisitos.

- La existencia de una norma armonizada de características.
- La definición de una serie de propiedades esenciales.
- La existencia de un sistema de aseguramiento de la calidad o control de producción en fábrica (FPC).

La norma europea EN 13808, publicada por AENOR como norma UNE-EN 13808 en noviembre de 2005, es una norma armonizada de marcado CE y recoge las futuras especificaciones de emulsiones bituminosas (convencionales y modificadas), anteriormente especificadas en los artículos 213 y 216 del PG3.

La aplicación de la normativa europea de emulsiones EN 13808 ha supuesto, no sólo cierto esfuerzo para conseguir manejar las nuevas especificaciones con criterio, sino también por el empleo de algunos métodos de ensayo nuevos en nuestro país.

Uno de los puntos diferenciadores, que constituye además el objeto de esta comunicación, es el relativo a los nuevos métodos de ensayo que se introducen para determinar las características del residuo de las emulsiones modificadas con polímeros. Mientras que las especificaciones españolas contemplaban obtener el residuo de la emulsión modificada por evaporación a 163°C, la normativa actual contempla un método de evaporación diferente (EN 13074) que se lleva a cabo a 50°C y trata de conseguir el ligante que queda una vez rota la emulsión. Algunos de los ensayos de caracterización posteriores serán también diferentes, especialmente en el caso de emulsiones modificadas, ya que no sólo se evaluará la consistencia de los residuos obtenidos, sino que también se evaluará su cohesión mediante diferentes métodos: el péndulo Vialit (EN 13588), Fuerza-Ductilidad (EN 13589) o Tensión directa (EN 13587).

Tanto la Consistencia del ligante residual valorada a temperaturas intermedias y elevadas de servicio, como su Cohesión se consideran propiedades esenciales de las emulsiones bituminosas modificadas en la norma europea y por tanto se recogerán en la etiqueta de marcado CE de estos productos.

Además, para evaluar la durabilidad del ligante residual de las emulsiones modificadas, se someterá al residuo obtenido según la norma EN 13074 a un proceso de estabilización, según la norma EN 14895, para eliminar los fluidificantes presentes, si los hubiera, y después se continuará el proceso con un envejecimiento acelerado mediante PAV según EN 14769 (65h a 85°C y 2,10MPa de presión) y la caracterización del residuo final. Estos procedimientos tratan de reproducir el ligante modificado que queda en el firme después de varios años de su puesta en obra.

Ante la falta de experiencia en la aplicación de los nuevos métodos de ensayo que exige la nueva normativa, cada país debe elaborar un anexo nacional que recogerá, por cada tipo de emulsión existente, las clases propuestas para cada requerimiento técnico.

Esta comunicación pretende aportar información sobre los nuevos métodos de ensayo que se aplicarán a nuestras emulsiones modificadas para valorar la cohesión del ligante residual obtenido también a partir de los nuevos métodos de ensayo definidos en norma EN 13808.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. PRODUCTOS ENSAYADOS: EMULSIONES BITUMINOSAS MODIFICADAS

Se han seleccionado para este estudio dos tipos de emulsiones bituminosas modificadas empleadas habitualmente como ligantes en la pavimentación de nuestras carreteras mediante las siguientes técnicas en frío:

- ECR-3-m para Tratamientos superficiales
- ECL-2-m para Lechadas bituminosas.

Las características de estas emulsiones se recogen a continuación en la tabla 1.

Características	EN-13808 Norma/Unidades	ECL-2-m (C60BP6)	ECR-3-m (C69BP3)
Indice de rotura	EN 13075-1 Ninguna	210	82
Contenido de ligante (por contenido de agua)	EN 1428/ % masa	61,0	69,0
Contenido de fluidificante (por destilación)	EN 1431/ % masa	0,0	1,5
Mezcla con cemento	EN 12848/g	>2	
Tiempo de fluencia (2mm a 40°C)	EN 12846/ Segundos	30	
Tiempo de fluencia (4mm a 40°C)	EN 12846/ Segundos		40
Residuo de tamizado Tamiz 0,5mm	EN 1429/ % masa	0,00	0,03
Sedimentación a 7 días	EN 12847/ % masa	5,00	2,00
Adhesividad	EN 13614/ % masa	90,00	90,00

Tabla 1

2.2. METODOS DE ENSAYO EMPLEADOS.

Tal y como se ha indicado ya con anterioridad, esta comunicación recoge un resumen de los resultados obtenidos en la aplicación a estas emulsiones, de los nuevos métodos de ensayo recogidos en la EN 13808.

2.2.1. MÉTODO DE OBTENCIÓN DEL LIGANTE RESIDUAL

Los residuos de las emulsiones modificadas objeto de este estudio han sido obtenidos y posteriormente caracterizados mediante los nuevos métodos de ensayo recogidos en la citada norma armonizada, lo que supone un gran cambio respecto al método de ensayo empleado hasta ahora de evaporación a 163°C (NLT-147), que está especificado en el artículo 216 del PG-3.

Son los siguientes:

2.2.1.1. MÉTODO DE EVAPORACIÓN (EN 13074)

Este procedimiento permite obtener el residuo de la emulsión tras su rotura, sin afectar a las características del ligante. Para ello, se extiende una capa delgada de emulsión (1,5 kg/m² aprox.) sobre unas bandejas antiadherentes y se mantienen 24 horas a 50°C, en una cámara climática, previo acondicionamiento de la muestra durante 24 horas a temperatura ambiente. Finalizado el proceso se extrae la lámina de ligante del recipiente y se procede al análisis de sus características.

2.2.1.2. MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN (EN 14895)

La estabilización del ligante procedente de las emulsiones bituminosas se basa en la obtención del residuo de la emulsión libre de la mayor parte de los fluidificantes (si los tuviera). Para ello, es preciso someter la muestra del residuo resultante del ensayo de evaporación citado anteriormente, a 85°C durante 24 horas en una cámara climática. A continuación, se retira el ligante estabilizado y se procede a preparar con él las probetas necesarias para los ensayos de caracterización.



Fotografía 1. Disposición de las bandejas de ensayo para la obtención del ligante residual de las emulsiones en la cámara climática.

2.2.1.3. ENVEJECIMIENTO ACELERADO MEDIANTE PAV (EN 14769)

Este procedimiento describe el acondicionamiento de la muestra resultante del ensayo de evaporación y estabilización, por envejecimiento a largo plazo acelerado usando un recipiente de envejecimiento a presión (PAV)". Para la obtención del residuo final de la emulsión hay que someter la muestra obtenida de los ensayos anteriores a un envejecimiento a presión en las siguientes condiciones:

- Temperatura: 85°C
- Tiempo : 65 horas±30 min
- Presión: 2,10MPa±0,1 MPa

De esta forma se simula el estado del residuo de la emulsión que queda sobre la calzada tras varios años desde la puesta en obra.

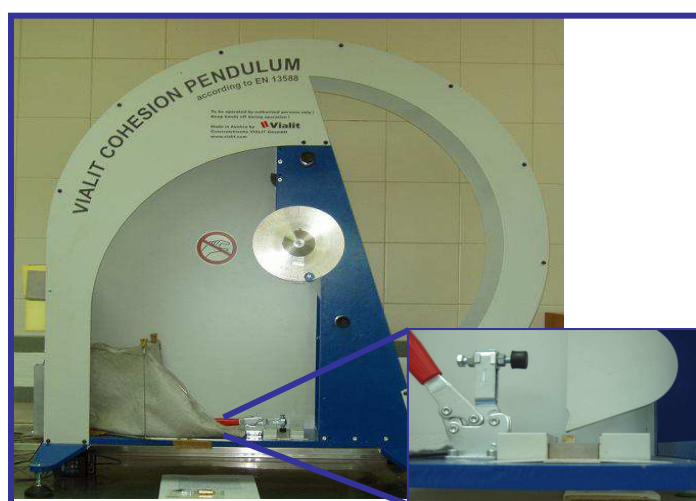


Fotografía 2. Cámara de envejecimiento a presión PAV (Pressure Ageing Vessel)

2.2.2.. MÉTODOS PARA VALORAR LA COHESIÓN

2.2.2.1. ENSAYO DEL PÉNDULO (EN 13588)

Este método se basa en la medida de la energía absorbida por un ligante por el impacto de un péndulo sobre el conjunto de ensayo: un soporte sobre el cual hay un cubo metálico pegado a él por una fina capa de ligante.



Fotografía 3. Péndulo Vialit. Vista general y detalle del dispositivo de ajuste de la probeta de ensayo.

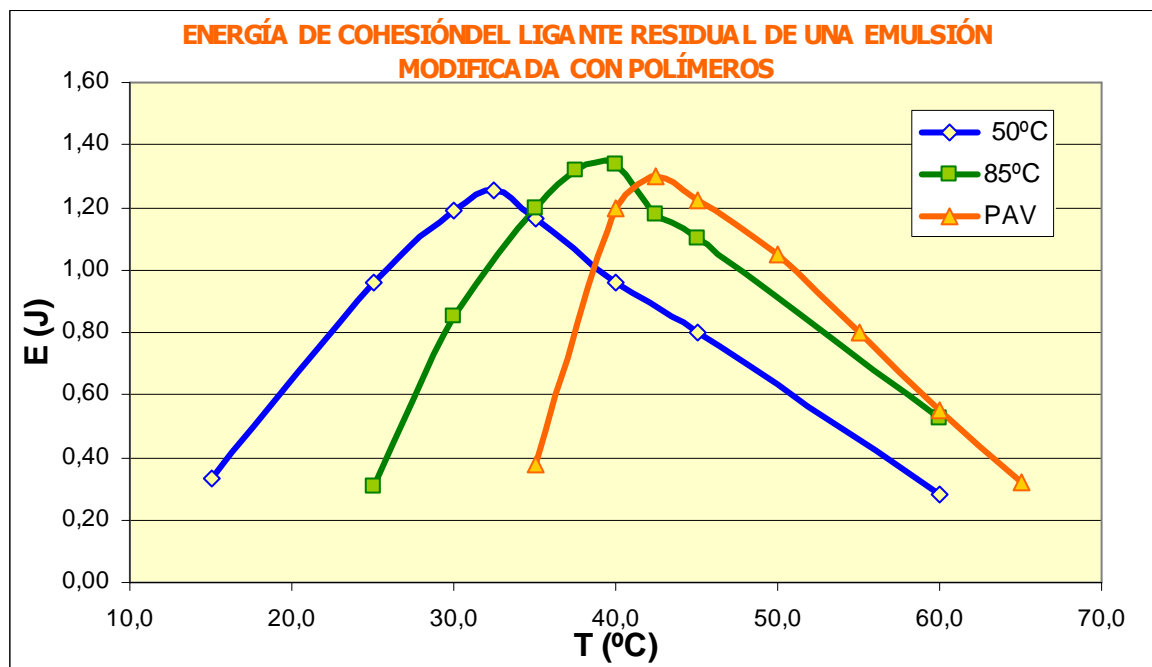
Este método de ensayo nos permite medir la cohesión de los ligantes modificados obtenidos como ligante residual de las emulsiones ensayadas, en base a los diferentes métodos de recuperación del ligante residual descritos en el apartado anterior.

Las medidas de cohesión se realizan en un rango de temperaturas, que se determinan en función de la consistencia de cada residuo, de modo que para cada ligante residual se ensayan seis probetas por T^a , hasta un total de ocho temperaturas diferentes.

En el ensayo se van anotando los ángulos obtenidos después del choque del péndulo, a la T^a seleccionada. Cada ángulo se convierte a un valor de energía según las ecuaciones indicadas en la norma de ensayo y se determina la cohesión como la diferencia entre dos medidas realizadas una con y otra sin ligante, dividiendo por la superficie de rotura. El resultado se expresa en J/cm^2 .

T (°C)	E'₁	E'₂	E'₃	E'₄	E'₅	E'₆	E'ₘᵥ₁ [J/cm²]
15,0	0,34	0,31	0,32	0,34	0,37	0,34	0,34
25,0	0,98	1,00	0,98	0,98	0,91	0,91	0,96
30,0	1,19	1,33	1,15	1,16	1,22	1,10	1,19
32,5	1,16	1,25	1,30	1,15	1,30	1,37	1,25
35,0	1,09	1,16	1,16	1,22	1,24	1,14	1,17
40,0	0,97	0,94	1,01	0,97	0,91	0,97	0,96
45,0	0,76	0,77	0,79	0,87	0,84	0,77	0,80
60,0	0,26	0,28	0,26	0,31	0,29	0,29	0,28

Los resultados obtenidos por el método del Péndulo se representan en gráficas de ejes lineales, donde se puede observar la variación de la energía de cohesión con la temperatura del ligante residual obtenido por los diferentes métodos de obtención descritos en el apartado anterior, tal y como se muestra en la gráfica 1 adjunta.



Grafica 1. Resultados de cohesión obtenidos con el péndulo.

2.2.2.2. MÉTODO DE FUERZA-DUCTILIDAD (EN 13589)

Este procedimiento se basa en el cálculo de la energía de deformación sufrida por una probeta tipo (ver foto) sometida a un ensayo de tracción en el ductilómetro a velocidad constante de 50 mm/min, hasta una elongación final de 400mm.

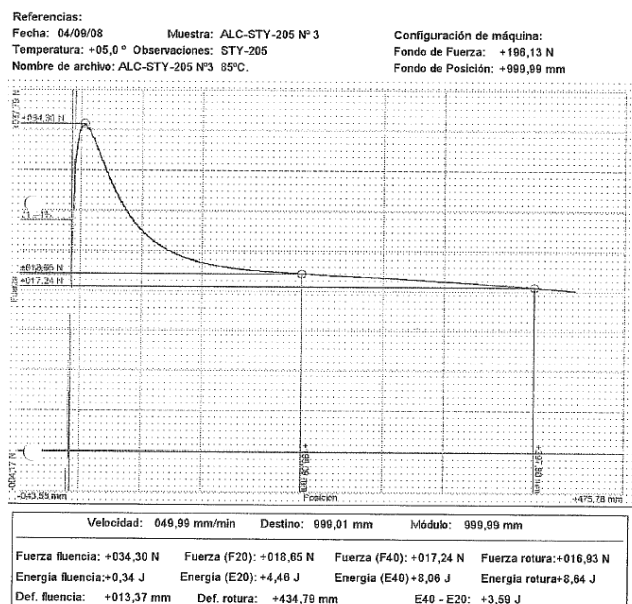


Se ensayan, a una temperatura de 5°C, tres probetas por cada ligante residual para cada una de las emulsiones modificadas a estudiar, obtenidos por los diferentes métodos. Los resultados para este método de ensayo se han obtenido a partir de los cálculos recogidos en la norma "UNE EN 13703. Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la energía de deformación de betunes modificados".

Dichos resultados se representan en gráficas de ejes lineales, donde se observa la variación de la energía de cohesión con la elongación de la probeta, según muestra la fotografía 4.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez aplicados todos los procedimientos descritos para la obtención del ligante residual de cada una de las emulsiones a ensayar, se han realizado los ensayos necesarios para valorar la cohesión de los mismos empleando el método del péndulo (EN 13588) y el de fuerza-ductilidad (EN 13589).



Fotografía 4. Detalle de la hoja de resultados de cohesión por el método de fuerza-ductilidad (UNE EN 13589).

La realización de todos los ensayos descritos requiere de mucho tiempo. Obtener los ligantes residuales requiere casi una semana de trabajo por emulsión y cada ensayo de péndulo completo una semana más por ligante residual, de modo que es necesario un mes de trabajo para completar los resultados de una emulsión. En el momento requerido para el envío del texto de esta comunicación sólo se habían completado los ensayos de dos tipos de emulsiones modificadas, que son las que se incluyen en esta comunicación. No obstante, si se considera su exposición durante este congreso, que tendrá lugar a finales de octubre, y en ese momento disponemos de resultados para otras emulsiones modificadas, estos se podrán presentar, para completar este apartado.

Los resultados obtenidos se recogen en las tablas 2, 3 y 4 adjuntas.

Características	EN-13808 Norma/Unidades	ECL-2-m (C60BP6)	ECR-3-m (C69BP3)
Ligante recuperado por evaporación	EN 13074		
Penetración a 25 °C	EN 1426 /0,1mm	98	149
Punto de reblandecimiento	EN 1427 /°C	48	49
Energía de cohesión por fuerza ductilidad a 5°C	EN 13589/ J/cm ² EN 13703 J/cm ²	0,44	0,76
Energía de cohesión por Péndulo Vialit	EN 13588/ J/cm ²	1,08	1,25
Recuperación elástica a 25°C	EN 13398/ %	36	75

Tabla 2. Características de los ligantes residuales iniciales
(obtenidos por evaporación a 50°C)

Características	EN-13808 Norma/Unidades	ECL-2-m (C60BP6)	ECR-3-m (C69BP3)
Ligante recuperado por evaporación más estabilización	EN 14895		
Penetración a 25 °C	EN 1426 /0,1mm	57	67
Punto de reblandecimiento	EN 1427 /°C	69	57
Energía de cohesión por fuerza ductilidad a 5°C	EN 13589/ J/cm ² EN 13703 J/cm ²	1,28	3,86
Energía de cohesión por Péndulo Vialit	EN 13588/ J/cm ²	1,03	1,34
Recuperación elástica a 25°C	EN 13398/ %	40	80

Tabla 3. Características de los ligantes residuales estabilizados

Características	EN-13808 Norma/Unidades	ECL-2-m (C60BP6)	ECR-3-m (C69BP3)
Ligante recuperado por evaporación más estabilización más envejecimiento	EN 14789		
Penetración a 25 °C	EN 1426 /0,1mm	31	32
Punto de reblandecimiento	EN 1427 /°C	68	69
Energía de cohesión por fuerza ductilidad a 5°C	EN 13589/ J/cm ² EN 13703 J/cm ²	Rompe	Rompe
Energía de cohesión por Péndulo Vialit	EN 13588/ J/cm ²	0,95	1,3

Tabla 4. Características de los ligantes residuales envejecidos

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la tabla 1 para las emulsiones estudiadas son habituales para estos tipos de emulsiones y ponen de manifiesto que son adecuadas para su empleo en lechadas bituminosas, la ECL-2-m, y en tratamientos superficiales mediante riego con gravilla, la ECR-3-m. No obstante, dichas características no aportan ninguna información en cuanto a la calidad del ligante empleado en la fabricación de estas emulsiones, que es el que finalmente queda en la carretera, una vez aplicado el producto y rota la emulsión.

Dichos ligantes residuales deberán tener unos valores de consistencia y cohesión que les permitan diferenciarse de los obtenidos en el caso de emulsiones convencionales.

La obtención de los mismos se ha llevado a cabo siguiendo los procedimientos que indica la norma EN 13808, que recoge las especificaciones europeas para emulsiones bituminosas.

El primero de ellos es un método de ensayo (EN 13074) que nos permite obtener el residuo de las emulsiones bituminosas por evaporación. Se trata de un proceso bastante tedioso, especialmente en el caso de las emulsiones modificadas que contengan fluidificantes, ya que generan unos residuos muy pegajosos y difíciles de manipular, para su posterior caracterización.

La citada norma de especificaciones contempla también el estudio de la durabilidad del ligante residual de la emulsión.

Para evaluar la durabilidad del ligante residual de las emulsiones modificadas ensayadas se ha sometido al residuo obtenido según la norma EN 13074 al proceso de estabilización según la norma EN14895 y después se ha continuado el proceso con un envejecimiento acelerado a presión según EN14769 (+ 65h a 85°C). De este modo se ha obtenido el residuo final de la emulsión para su caracterización.

Las tablas 2,3 y 4 muestran las características de los residuos obtenidos por los tres métodos descritos para cada una de las emulsiones, si bien el ensayo de las características del ligante estabilizado (intermedio) no se exige en el Mercado CE de estos productos.

Se ha determinado la consistencia a temperaturas intermedias de servicio de los ligantes residuales obtenidos a partir de ensayo de Penetración a 25°C y a temperaturas elevadas por el Punto de Reblandecimiento. Los valores obtenidos muestran en el caso de la ECR-3-m un incremento de la consistencia acusado del ligante tras la estabilización, como consecuencia de la pérdida de los fluidificantes que contiene esa emulsión.

El ligante residual final (tabla 4) muestra una elevada consistencia en ambas emulsiones por el envejecimiento acusado que produce el ensayo en el PAV, que es muy similar en ambos productos.

Respecto a los ensayos de cohesión realizados tanto por el método del péndulo como por el de Fuerza-ductilidad, se evidencia una cohesión más elevada para el ligante procedente de la ECR-3-m para tratamientos

superficiales, consecuencia del mayor grado de modificación de esta emulsión.

El método del péndulo requiere de mucho tiempo para su ejecución, mientras que el de fuerza-ductilidad es más rápido y menos laborioso. Además, en España se dispone de más experiencia en el manejo de este equipo por su empleo para el ensayo de betunes modificados.

Sin embargo, en el trabajo realizado se puede ver que no es posible estudiar la durabilidad de la cohesión con este método de ensayo para la mayoría de los ligantes residuales envejecidos, ya que su baja penetración no permite una tracción de 400mm a 5°C como para poder determinar la energía de cohesión, según establece la norma EN 13589. Por la misma razón, tampoco es posible determinar la recuperación elástica del ligante residual envejecido por ductilómetro, según establece la norma EN 13398.

Así pues, aunque la normativa europea nos obligaría al empleo del método del péndulo sólo para aquellas emulsiones que se destinen a tratamientos superficiales, este método puede ser elegido para su empleo en la determinación de la cohesión del ligante residual de cualquier tipo de emulsión y, por lo expuesto anteriormente, se revela como una opción interesante en el caso de los ligantes residuales envejecidos.

Por otro lado, con el método de fuerza ductilidad se han obtenido valores de energía de cohesión de los ligantes residuales tras evaporación (EN 13074) inferiores a 1 J/cm^2 (ver tabla 2). Dichos resultados son inferiores, pues, al menor de los valores que se exigen en las clases de la tabla 4 de la EN13808. En estos casos, y hasta que se plantee la revisión de la norma para incluir otros valores en las clases, tendríamos que recurrir a otro método de ensayo que nos permita asignar una clase a ese requisito, por ser de obligado cumplimiento y recogerse en la futura etiqueta de Marcado CE.

Mediante los ensayos de cohesión realizados con el método del péndulo se puede ver una evolución de la energía de cohesión de los ligantes residuales de estas emulsiones modificadas, acorde con el procedimiento de obtención del mismo. Aunque se trate de un método de ensayo lento en la obtención de los resultados, nos permite obtener los valores para la durabilidad de la cohesión que exige la futura normativa europea. Así, para las emulsiones modificadas estudiadas, se detecta un descenso en la cohesión del ligante residual envejecido que requiere de una mayor temperatura de ensayo para alcanzar el máximo de cohesión a causa de la mayor consistencia de estos ligantes (ver gráfica 1).

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este método sí nos permiten asignar al producto una clase de las establecidas en la EN 13808, si bien aún no se dispone de demasiada experiencia en su aplicación como para que estos resultados nos permitan evaluar con criterio y diferenciar calidades dentro de nuestras emulsiones modificadas.

En base a los resultados obtenidos en el estudio realizado, los anexos nacionales de este tipo de emulsiones serán los siguientes:

ECL-2m (Lechadas bituminosas)

Clases prestacionales seleccionadas para la emulsión C60BP6

Tabla B.1 – Clases prestacionales seleccionadas para la emulsión

<u>Requisitos</u>	<u>Clases seleccionadas de la Tabla 3</u>
<u>Índice de rotura</u>	170 - 230 (<u>Clase 6</u>)
<u>Contenido de ligante (por contenido de agua)</u>	58 - 62% (<u>Clase 5</u>)
<u>Tiempo de fluencia 2 mm a 40°C</u>	15-45 s (<u>Clase 3</u>)
<u>Adhesividad</u>	<u>Clase 3</u>

Tabla B.2 – Clases prestacionales seleccionadas para el ligante recuperado de la emulsión

<u>Requisitos</u>	<u>Clases seleccionadas según Tabla 4</u> (después de evaporación)	<u>Clases seleccionadas según Tabla 5</u> (después de evaporación, estabilización y envejecimiento)
<u>Penetración</u>	≤ 100 (<u>Clase 3</u>)	31 (<u>Clase 2</u>)
<u>Punto de reblandecimiento</u>	≥ 43 °C (<u>Clase 4</u>)	68 (<u>Clase 2</u>)
<u>Energía de cohesión por el péndulo</u>	≥ 1 (<u>Clase 4</u>)	≥ 0,7 (<u>Clase 3</u>)
<u>Recuperación elástica a 25 °C</u>	≥ 30 (<u>Clase 2</u>)	NPD (<u>Clase 0</u>)

ECR-3-m (Tratamientos superficiales)

Clases prestacionales seleccionadas para la emulsión C69BP3

Tabla B.1 – Clases prestacionales seleccionadas para la emulsión

<u>Requisitos</u>	<u>Clases seleccionadas de la Tabla 3</u>
<u>Índice de rotura</u>	50 - 100 (Clase 3)
<u>Contenido de ligante (por contenido de agua)</u>	67 - 71% (Clase 8)
<u>Tiempo de fluencia 4 mm a 40°C</u>	10-45 s (Clase 6)
<u>Adhesividad</u>	Clase 3

Tabla B.2 – Clases prestacionales seleccionadas para el ligante recuperado de la emulsión

<u>Requisitos</u>	<u>Clases seleccionadas según Tabla 4</u> (después de evaporación)	<u>Clases seleccionadas según Tabla 5</u> (después de evaporación, estabilización y envejecimiento)
<u>Penetración</u>	≤150 (Clase 4)	32 (Clase 2)
<u>Punto de reblandecimiento</u>	≥ 43°C (Clase 4)	69 (Clase 2)
<u>Energía de cohesión por péndulo</u>	≥1,2 (Clase 5)	≥1,2 (Clase 5)
<u>Recuperación elástica a 25°C</u>	≥75 (Clase 5)	NPD (Clase 0)

CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente se deducen las siguientes conclusiones:

1. La norma europea EN 13808 establece que es necesario determinar la cohesión de los ligantes residuales de las emulsiones modificadas obteniéndolos a partir de distintos procedimientos (evaporación, estabilización y envejecimiento), que difieren del de evaporación, que anteriormente se recogía en el PG 3.

2. Los nuevos métodos de ensayo para obtener el ligante residual nos permiten obtener el producto en diferentes estados desde el inicial, pasando por su aplicación en obra hasta el que queda sobre la calzada tras varios años desde su puesta en obra.

3. Se ha verificado la posibilidad del empleo de estos nuevos procedimientos de ensayo de laboratorio, si bien se ha comprobado que son largos en su ejecución y más complejos que el actual, especialmente para algunos tipos de emulsiones.

4. Se han aplicado dos de los métodos para valorar la cohesión que se recogen en la normativa europea (fuerza-ductilidad y péndulo) y se ha comprobado que existen ventajas en la selección de uno u otro dependiendo del tipo de ligante residual a analizar.

5. En general, es más fácil y rápido valorar la cohesión de los ligantes residuales obtenidos por evaporación, por el método de fuerza-ductilidad, si bien no es posible hacerlo para los obtenidos tras envejecimiento, pues la baja penetración de estos ligantes no permite el ensayo a 5°C para obtener un valor de energía de cohesión que exige la norma.

5. Los residuos de evaporación de algunas emulsiones modificadas pueden tener baja consistencia y por ello el resultado del ensayo por fuerza-ductilidad puede ser inferior a 1 J/cm^2 , que es el menor de los valores que se exige en las clases de la tabla 4 de la EN 13808. En estos casos tendríamos que recurrir a otro método de ensayo que nos permita asignar una clase a ese requisito, por ser de obligado cumplimiento y recogerse en la futura etiqueta de Marcado CE.

6. El método del péndulo es un método de ensayo lento en la obtención de los resultados, pero nos permite obtener los valores para la durabilidad de la cohesión que exige la futura normativa europea. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este método sí nos

permiten asignar al producto una clase de las establecidas en la EN 13808, si bien aún no se dispone de suficiente experiencia en su aplicación como para que estos resultados nos permitan evaluar con criterio y diferenciar calidades dentro de nuestras emulsiones modificadas.

7. Empleando el método del péndulo se puede obtener una evolución en la energía de cohesión de los ligantes residuales de estas emulsiones modificadas, acorde con el procedimiento de obtención del mismo.

8. Es necesario que, con el paso del tiempo, vayamos acumulando información en nuestras bases de datos del ensayo de nuestras emulsiones modificadas con estos nuevos métodos para valorar con criterio su calidad en función de los resultados obtenidos. Mientras tanto, deberemos seguir recurriendo a los ensayos de consistencia de estos residuos, también exigidos en la normativa europea, y al ensayo de la recuperación elástica que aporta una información valiosa sobre el grado de modificación de la emulsión asfáltica, si bien al pasar a emplearse el método de ductilómetro y no nuestro método por torsión, será muy difícil disponer de este dato para los ligantes envejecidos.