

**COMUNICACIÓN 32**

# **REOLOGÍA DE MÁSTICOS SEMICALIENTES**

**SANTIAGO GIL REDONDO  
FRANCISCO JAVIER SUÁREZ MARCO  
JOSÉ JAVIER GARCÍA PARDENILLA  
JOSÉ MIGUEL MARTÍNEZ MACEDO**  
DITECPESA

**ALICIA TORREJÓN ATIENZA  
M<sup>a</sup> PAZ MATÍA MARTÍN  
JOSE LUIS NOVELLA ROBISCO**  
PLANTA PILOTO DE QUÍMICA FINA  
(UNIVERSIDAD DE ALCALÁ)



---

# REOLOGÍA DE MÁSTICOS SEMICALIENTES

---

## RESUMEN

**H**abitualmente se estudia la reología de los ligantes y su viscosidad para evaluar el grado del betún a utilizar en una mezcla asfáltica y la temperatura a la que debe de fabricarse y compactarse ésta. Este método puede ser adecuado cuando analizamos betunes y mezclas convencionales, pero debido al amplio abanico de nuevos productos que han emergido en el mercado, esta consideración puede conducir a falsos resultados.

El objetivo de este trabajo es estudiar la reología de distintos másticos bituminosos fabricados con distintas tecnologías semicalientes.

Para ello se han estudiado previamente las propiedades reológicas de distintos ligantes; para posteriormente analizar el comportamiento que tienen los másticos fabricados con éstos.

Para realizar este estudio se ha empleado la Reometría de Corte Dinámico (DSR). Se trata de una técnica empleada en la caracterización de ligantes bituminosos pero raramente utilizada en estudios de másticos bituminosos. En el presente trabajo se han analizado barridos de temperatura, barridos de frecuencia, curvas de viscosidad, parámetros SHRP y temperaturas de equiviscosidad.

Se han estudiado másticos fabricados con ligantes convencionales (como referencia) y másticos

fabricados con ligantes semicalientes empleando para ello diferentes tecnologías: empleo de ceras (comerciales y desarrolladas en el proyecto Fenix) y empleo de tensoactivos. Las ceras modifican reológicamente al betún mientras que los tensoactivos lo hacen químicamente. Luego comparar estas tecnologías analizando características reológicas de los betunes no aporta mucha información; sin embargo si podemos obtener mucha más información cuando realizamos estas medidas sobre sus másticos bituminosos.

## ANTECEDENTES

El presente trabajo pertenece a una de las líneas de investigación llevadas a cabo en el **Proyecto Fénix**: la Actividad 7 (Mezclas Semicalientes). En esta actividad participan las empresas: Ditecpesa, Pavasal, Elsan, Serviá Cantó, CIESM y Repsol; y las universidades: Universidad de Alcalá, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Cantabria y Universidad de Huelva.

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas semicalientes permiten reducir las temperaturas de fabricación y puesta en obra del aglomerado con los beneficios medioambientales, económicos, prestacionales y de seguridad para los trabajadores, que esto conlleva [1]. Podemos distin-

guir varias tecnologías basadas en distintos fundamentos físico-químicos:

1. Aditivos que modifican la viscosidad del betún: **ceras** [2,3]. Este grupo de aditivos modifica la reología del betún; de tal modo que a altas temperaturas (> 100 °C) la viscosidad del ligante resultante disminuye sensiblemente, permitiendo por lo tanto, una reducción de la temperatura de fabricación del aglomerado.

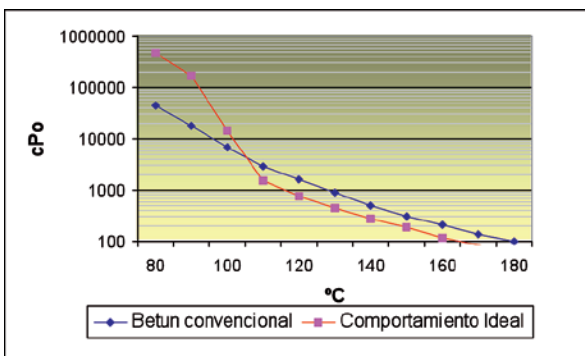


Fig 1. Efecto del empleo de ceras sobre la viscosidad del betún

2. Aditivos basados en la formulación de **tensoactivos** que ayudan al buen recubrimiento de los áridos reduciendo la tensión superficial árido/betún, disminuyendo el ángulo de contacto entre el betún y el árido (Figura 2). Este grupo de aditivos químicos pueden también actuar como "lubricantes" mejorando la trabajabilidad de la mezcla [4].



Fig 2. Mejora del ángulo de contacto mediante empleo de tensoactivos

3. Procesos que aumentan la superficie específica del ligante mediante la formación de espuma de betún. Para conseguir esta espuma se puede incorporar agua y aire a presión, arena húmeda ó aditivos tipo Zeolita.

En este trabajo se han analizado la reología de másticos que emplean ceras y tensoactivos como técnicas semialientes.

El realizar estudios reológicos sobre másticos da una valiosa información acerca de la trabajabilidad y propiedades mecánicas, que tendrán la mezclas bituminosas fabricadas con éstos [5]. Se conoce que las características de los ligantes, los filleres y la relación filler/betún, tienen una influencia significativa sobre la trabajabilidad de la mezcla [6]. Usualmente se emplea la viscosidad del ligante como método para determinar la temperatura de fabricación de las mezclas asfálticas. Pero este método no tiene validez cuando estudiamos ligantes especiales que emplean aditivos, que sin modificar la reología de éste, cambian su comportamiento químico. Por ello se considera necesario realizar estudios reológicos sobre másticos donde se van a poder reflejar los efectos que estos aditivos especiales tienen sobre la interfaz árido-betún.

## EQUIPOS EMPLEADOS

### DSR (Dynamic Shear Rheometer)

La Reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de los materiales. Estudia la relación existente entre las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo y la deformación que éstas producen.

El estudio reológico del betún es importante, porque a pesar de que representa una parte relativamente pequeña en una mezcla asfáltica, condiciona en gran medida la mayoría de las propiedades mecánicas y reológicas de las mismas y es el responsable del complejo comportamiento de ella. En este trabajo, como se ha comentado anteriormente, además de estudiar la reología de los betunes se va a estudiar la reología de los másticos fabricados con estos, lo cual nos acercará aún más a las propiedades de la mezcla asfáltica final.

Según diversos autores [7] los ensayos empíricos, combinados con medidas de viscosidad, fallan a la hora de caracterizar las prestaciones de los betunes. Las tradicionales medidas como índice de penetración o punto de reblandecimiento no pueden describir perfectamente las propiedades visco-elásticas necesarias para relacionar las propiedades físicas del ligante y su comportamiento en servicio. Los ensa-

ayos de viscosidad, aún siendo uno de los ensayos empíricos fundamentales para la determinación del comportamiento reológico de betunes, no informa sobre el comportamiento de éste con el tiempo. Los principales parámetros visco-elásticos que se obtienen de un equipo DSR son el módulo complejo  $|G^*|$ , y el ángulo de fase,  $\delta$ .  $|G^*|$  se define como la proporción existente entre la máxima deformación y el máximo esfuerzo y es una medida de la resistencia total del betún a la deformación cuando el betún es sometido a esfuerzos de cizalla. El ángulo de desfase,  $\delta$ , es una medida del grado de viscoelasticidad del material. En la figura 3 se muestra la fotografía de un reómetro.

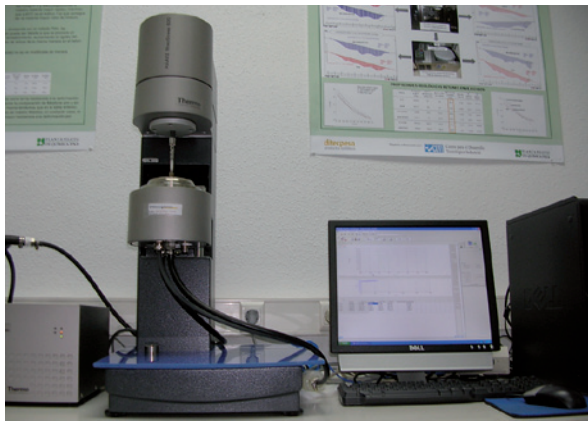


Fig 1. Efecto del empleo de ceras sobre la viscosidad del betún

### MATERIALES EMPLEADOS

A continuación se describen los ligantes y aditivos/modificadores empleados:

- B 50/70: se trata de un ligante convencional. Este ligante se ha tomado como referencia y sobre él se han adicionado los distintos aditivos que se describen a continuación.
- Cera F-T: se trata de una cera comercial que se obtiene por síntesis a partir de gas natural y agua (Síntesis Fischer-Tropsch).
- Aditivo 1: se trata de una cera diseñada y desarrollada en la actividad 7 del Proyecto Fenix con unas prestaciones superiores a las comerciales.
- Tensoactivo 1: se trata un tensoactivo comercial empleado en la fabricación de mezclas semicalientes.

- Tensoactivo 2: se trata otro tensoactivo comercial empleado en la fabricación de mezclas semicalientes.

Las características del árido empleado cuya naturaleza es **caliza** se describen a continuación:

UNE-EN 933-1. Granulometría: ver tabla 1 y figura 4.

Tabla 1. Granulometría del filler empleado

Tamices (mm)	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Peso (Grs.)	10,1	230,3	485,5	619,2	707,9	747,8	784,9
Tolerancia	100-80	96-62	84-40	60-18	30-6	18-0	15-0
% Pasa	98,9	74,6	46,4	31,6	21,8	17,4	13,3

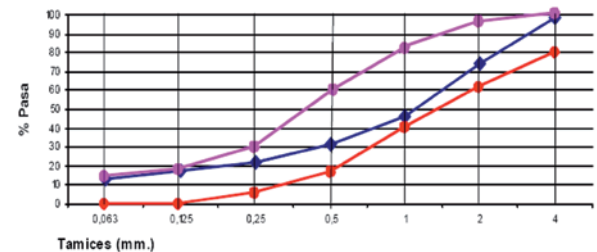


Fig 4. Curva granulométrica del filler empleado

EN 1097-6. Determinación las densidades, coeficiente de absorción y contenido de agua en el árido fino: ver tabla 2.

Tabla 2. Densidades y absorción de agua del filler.

<b>Densidad aparente( Da):</b>	<b>2,839</b>
<b>Densidad real (Dr):</b>	<b>2,813</b>
<b>Densidad real saturada (Dss):</b>	<b>2,822</b>
<b>Absorción de agua:</b>	<b>0,33</b>

UNE-EN 933-8. Determinación del Equivalente de Arena: 72

Este árido es **tamizado** por el tamiz con luz: 0,063 mm, obteniendo el **filler** que se ha empleado para la fabricación de los másticos ensayados.

Lo ideal hubiera sido evaluar la superficie específica que tiene este filler, por ejemplo evaluando la distribución de tamaños de éste. Ya que la proporción realmente importante entre el filler y el betún que forma

un mástico, no es su proporción en peso, sino su relación: [superficie específica del filler / masa de betún] (el espesor de la película de betún sobre el filler depende de esta relación). Este estudio es vital cuando se quiere comparar másticos fabricados con distintos tipos de filleres, y se llevará a cabo en futuros trabajos.

## METODOLOGÍA DEL ENSAYO

La formulación empleada para todos los másticos estudiados ha sido de un 70% Filler + un 30% de ligante (proporción en peso):

1. Betún 50/70.
2. Betún 50/70 + Cera F-T.
3. Betún 50/70 + Aditivo 1.
4. Betún 50/70 + Tensioactivo 1.
5. Betún 50/70 + Tensioactivo 2.
6. Mástico 70% Filler + 30% Betún 50/70.
7. Mástico 70% Filler + 30% Betún con Tensioactivo 1.
8. Mástico 70% Filler + 30% Betún con Tensioactivo 2.
9. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Cera F-T.
10. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Cera F-T + Tensioactivo 1.
11. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Cera F-T + Tensioactivo 2.
12. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Aditivo 1.
13. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Aditivo 1 + Tensioactivo 1.
14. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Aditivo 1 + Tensioactivo 2.

La fabricación de estos másticos se ha realizado de la siguiente manera:

En un cazo metálico se pesan 70 g del Filler a emplear (70%) y se guardó en una estufa a 165°C. Por otro lado, en otro cazo con betún caliente se adiciona la cantidad deseada de Cera F-T o Aditivo 1 y/o tensioactivo 1 o 2. La mezcla se mantiene a 140°C durante media hora a 2000 rpm con un agitador de hélice hasta conseguir total dispersión del aditivo y homogenización de la mezcla. De esta mezcla, 30 g (30%) se vierten sobre el filler ya caliente y se agita sobre placa calefactora con una varilla de vidrio o

espátula hasta conseguir un mástico homogéneo. Esta mezcla se vierte sobre las tarrinas de aluminio previamente etiquetadas.

Para el estudio por reología, la metodología seguida en la preparación de las muestras es la que se indica a continuación:

Las tarrinas de aluminio que contienen las mezclas anteriormente preparadas, se meten en la estufa a 165°C. El contenido en caliente se vierte sobre papel antiadherente, como por ejemplo papel Krafft en el cual se han colocado unas guías de un grosor de 2 mm para contener la muestra. Una vez vertido el mástico caliente sobre dicho papel, se coloca otro papel encima y unas planchas metálicas formando un "bocadillo" y se presiona con tres gatos de carpintero durante un mínimo de 2 horas a temperatura ambiente.

Pasado este tiempo, el mástico queda como una lámina de color negro de 2 mm de espesor. Para el ensayo en el reómetro se emplean muestras que son troqueladas con un troquelador de 25 mm de diámetro. El disco obtenido, se dispone en el equipo a temperatura ambiente. Posteriormente, se lleva la temperatura hasta un valor en el cual el plato superior del equipo es capaz de presionar la muestra hasta un espesor o gap de 1.05 mm. Se retira el exceso de muestra que sobresale de los platos una vez alcanzado 1.05 mm de gap con una espátula caliente. Se lleva la temperatura a la temperatura de ensayo y se ajusta el gap a 1.00 mm, observándose siempre una protuberancia en la periferia de la geometría. Una vez ajustado el gap y la temperatura de ensayo y habiendo retirado el exceso de muestra, se procede a realizar la medida. Se aconseja atemperar la muestra durante al menos 10 minutos a la temperatura de ensayo antes de realizar la medida reológica.

## RESULTADOS

### Estudios sobre ligantes

A continuación se exponen los ensayos realizados para mezclas de betún con los aditivos empleados o con lo tensioactivos.

En la figura 6, se muestra una comparativa de un barrido de temperatura a una frecuencia fija de 1 rad/s para las mezclas de betún con cera F-T, con el Aditivo 1 y con los Tensioactivos 1 y 2; observando que la mezcla de betún con los tensioactivos provoca una pequeña bajada en los valores del módulo complejo,  $[G^*]$ , y un aumento del ángulo de fase,  $\delta$ , indicando una menor rigidez que el betún base de referencia. En el barrido para las mezclas con la cera F-T y el aditivo 1, el efecto es el contrario, un aumento de módulo, indicativo de una mayor rigidez de la mezcla y valores de  $\delta$  menores, indicativo de una mayor elasticidad.

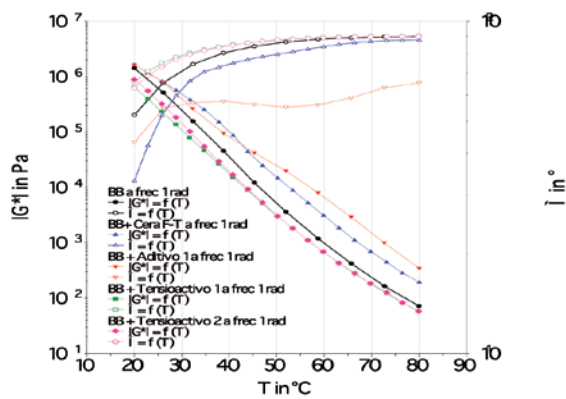


Figura 6. Barrido de Temperatura a frecuencia de 1 rad/s.

Para un barrido de temperatura a una frecuencia fija de 10 rad/s (figura 7), la disminución de los valores de  $[G^*]$  en el caso de mezclas con tensioactivos no es tan marcada como a 1 rad/s, ya que los valores de módulo son muy similares a un betún base de referencia. Si embargo se sigue poniendo de manifiesto que los betunes modificados con ceras presentan un comportamiento más rígido y elástico que el betún base de partida (BB).

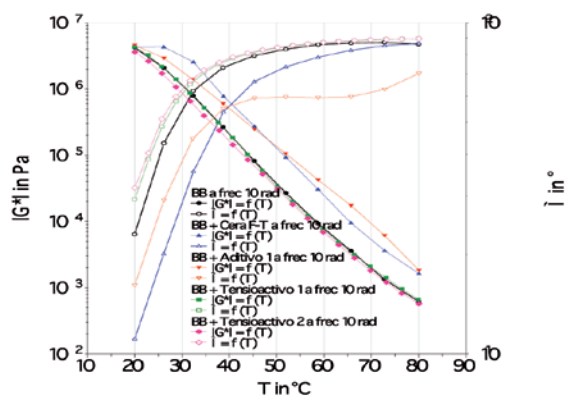


Figura 7. Barrido de Temperatura a frecuencia de 10 rad/s

En la figura 8, las mezclas que contienen los tensioactivos provocan una disminución de la rigidez a lo largo del barrido de frecuencia y a la temperatura de 50°C, mientras que las mezclas que contienen la cera F-T o el Aditivo 1, el efecto es contrario. Como ocurría en los barridos de temperatura a una frecuencia fija.

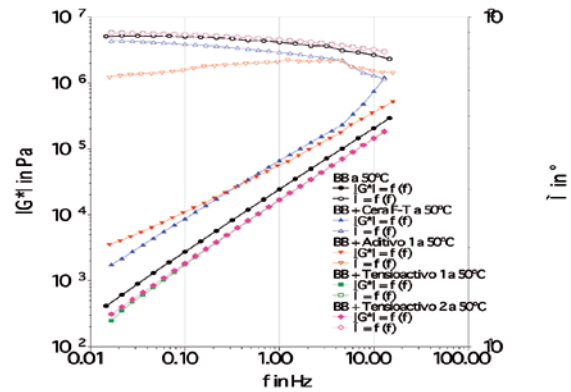


Figura 8. Barrido de Frecuencia a Temperatura 50°C.

En el caso del barrido a 70°C (figura 9), los valores de módulo para las mezclas con tensioactivos son muy similares a los de el betún base de partida, en el rango de frecuencia medido. Para las mezclas que contienen las ceras, los valores de módulo complejo son mayores, indicando un aumento de la rigidez del material, siendo los mayores valores a bajas frecuencias para el betún con el Aditivo 1, el cual posee la mayor elasticidad.

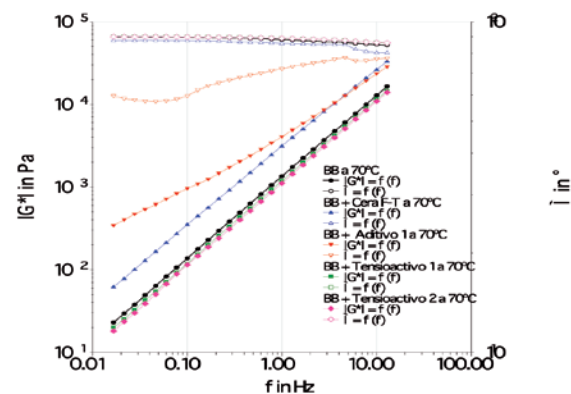


Figura 9. Barrido de Frecuencia a Temperatura 70°C.

Si observamos la curva de viscosidad, figura 10, donde se representa la viscosidad del betún base de partida (B35/50) y la de los betunes que contiene ceras, el efecto que se obtiene en la viscosidad con la adición de la Cera F-T es menos pronunciado que el conseguido con la adición del Aditivo 1. Para este



último aditivo se aprecia una caída muy brusca de la viscosidad a partir de los 95°C.

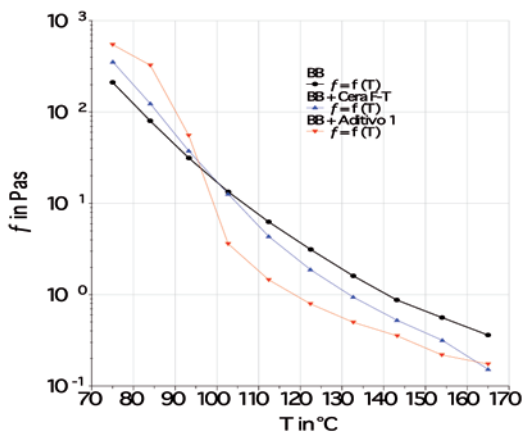


Figura 10. Barrido de Viscosidad con la Temperatura a una velocidad de cizalla 1s<sup>-1</sup>.

La adición de los tensioactivos 1 o 2 al betún no afecta a la viscosidad del betún de partida como puede observarse en la figura 11.

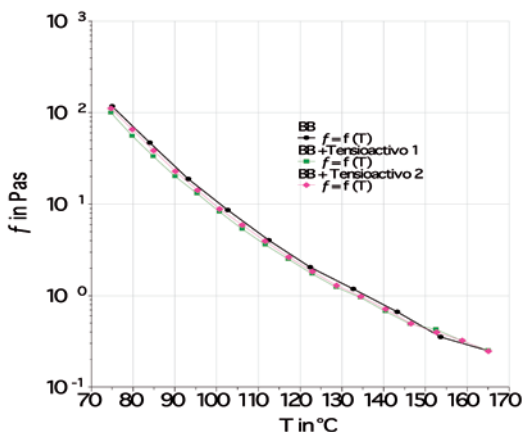


Figura 11. Barrido de Viscosidad con la Temperatura a una velocidad de cizalla 1s<sup>-1</sup>.

Si nos fijamos en la tabla 3, podemos concluir que el empleo de ceras, nos proporciona mayores valores de las temperaturas calculadas EVT 1 y 2, mientras que en el caso de los tensioactivos, estos valores apenas varían, y por tanto, el efecto de huella por rodera se da a menores temperaturas. Para el caso de los valores de Temperatura SHRP, los mayores valores vienen dados, de nuevo, con el empleo de las ceras. Es decir los betunes que contienen ceras presentan un mejor comportamiento frente a las deformaciones plásticas pudiendo ser aplicados sobre firmes que van a soportar mayores temperaturas.

### Estudios sobre másticos

A continuación se expone los ensayos reológicos realizados para másticos fabricados con los ligantes estudiados en el punto anterior.

Si analizamos el barrido de temperatura a una frecuencia de 1rad/s (figura 12), observamos que los másticos que contienen cera tienen un mayor módulo complejo [G\*] y un menor ángulo δ. Esto quiere decir que se trata de un material más rígido y elástico que el mástico de referencia que esta fabricado con betún B50/70. Sin embargo para los másticos que contiene tensioactivos el valor del módulo complejo [G\*] disminuye y el ángulo δ aumenta si lo comparamos con el mástico de referencia. Luego estos másticos van a ser menos rígidos y elásticos que el mástico que no contiene aditivos.

Tabla 3. Parámetros reológicos – efectos de rodera

Cera	[G*]/sen δ a 60°C (Pa)	max T <sup>a</sup> , [G*]/sen δ = 1kPa(°C)	EVT 1 (°C) 0,1 rad/s	EVT 2 (°C) 0,00063 rad/s	S25-60 x10-2	G* (25°C) x105	G* (60°C) x102
BB	7016	71,3	52,8	53,2	-7,41	2,14	7,23
BB + Aditivo 1	29068	82,1	73,6	80,7	-6,13	7,92	79,34
BB + Cera F-T	26295	81	65	65,9	-7,36	9,54	37,72
BB + Tensioactivo 1	7863	73	56	56,6	-7,43	2,3	6,81
BB + Tensioactivo 2	8413	73,2	55,3	55,6	-7,84	3,18	6,87



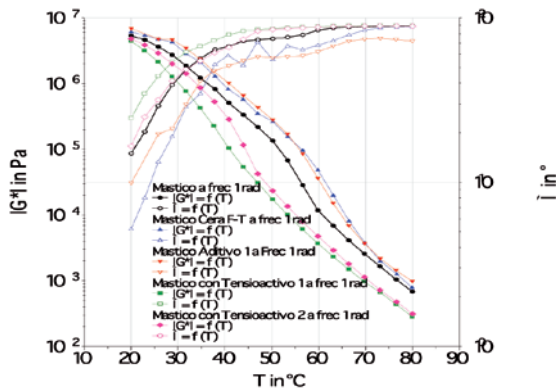


Figura 12. Comparativa de un Barrido de Temperatura a una frecuencia de 1 rad/s para los Másticos.

Si comparamos estos resultados con los obtenidos anteriormente con los ligantes (figura 6) guardan una correlación con lo que obtenemos en los másticos. Si bien es cierto, que en el caso de los másticos, se acentúa la bajada del valor del módulo complejo para los casos en los que se emplean tensioactivos.

En el barrido de frecuencia a 50°C (figura 13), el mástico que contiene el tensioactivo 1 proporciona los menores valores de módulo en todo el rango, mientras que para el caso del tensioactivo 2 los valores de módulo son muy similares al mástico de referencia. Para el aditivo 1, se observan los mayores valores de módulo y menores valores de ángulo, lo que indica una mayor rigidez y elasticidad.

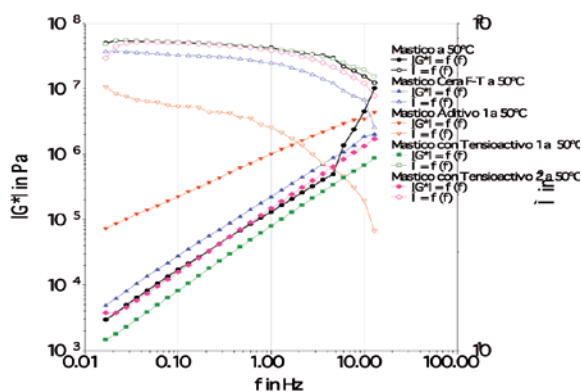


Figura 13. Comparativa de un Barrido de Frecuencia a una Temperatura de 50°C de Mástico con las ceras y tensioactivos empleados.

Si nuevamente estos resultados los comparamos con lo que obteníamos en los estudios de los ligantes (figura 8), podemos observar como el aditivo 1 rigidiza más el mástico de lo que lo hacía

al betún. El tensioactivo 2 se comporta en el mástico también algo más rígido que lo que ocurría cuando estudiábamos el ligante que contenía este tensioactivo, obteniendo valores próximos a los del mástico de referencia.

La figura 14 muestra las curvas de viscosidad para estos másticos. Podemos observar como todos los másticos que contienen tanto ceras como tensioactivos reducen la viscosidad en todo el rango de temperatura cuando lo comparamos con el mástico de referencia. Podemos concluir que la adición de estas sustancias, pese a tratarse de compuesto con naturalezas distintas y tecnologías diferenciadas, consiguen reducir la viscosidad del mástico a temperaturas de fabricación y compactación del aglomerado, y por lo tanto, reducir las temperaturas de empleo de estos.

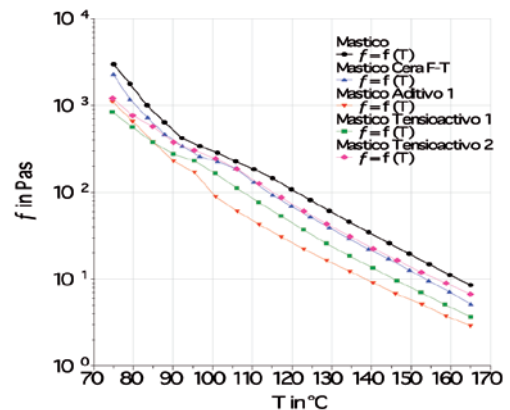


Figura 14. Comparativa de un Barrido de Viscosidad con la Temperatura a una velocidad de cizalla de 1 s-1 para los Másticos con las ceras y tensioactivos empleados.

En estos másticos podemos comparar la eficacia de las distintas técnicas semicalientes (ceras vs tensioactivos), cosa que no podíamos hacer cuando analizábamos los ligantes de partida. De hecho, podemos afirmar que el compuesto que reduce en mayor medida la viscosidad del mástico es la cera: aditivo 1, desarrollada en el proyecto Fenix; superando al resto de sustancias comerciales estudiadas.

Si nos fijamos en los parámetros reológicos que afectan a los efectos de rodera en la tabla 4, podemos observar que el uso de los tensioactivos, provocan menores valores en las temperaturas de equiviscosidad EVT 1 y 2. Esto no ocurría cuando

Tabla 4. Efectos en los factores de huella por rodadura en los másticos.

Mezcla	[G*]/send a 60°C (Pa)	max T <sup>a</sup> , [G*]/send = 1kPa (°C)	EVT 1 (°C) 0,1 rad/s	EVT 2 (°C) 0,00063 rad/s	S25-60 x10 <sup>-2</sup>	G* (25°C) x10 <sup>5</sup>	G* (60°C) x10 <sup>2</sup>
<b>Mástico</b>	80511	87,2	71,9	74,4	-7,32	36,33	117,3
<b>Mástico + Aditivo 1</b>	122382	89,2	75,12	80,47	-6,23	47,57	361,6
<b>Mástico + Cera F-T</b>	242909	89,3	80,9	84,9	-5,85	47,44	481,9
<b>Mástico + Tensioactivo 1</b>	43272	80,8	65	66,5	-8,12	21,24	36,75
<b>Mástico + Tensioactivo 2</b>	48707	81	66,5	68,3	-8,08	22,71	40,13

analizábamos estos mismos parámetros en los ligantes (tabla 3). Es decir estos tensioactivos hacen que el mástico sea más susceptible a deformaciones plásticas. Todo lo contrario ocurre al añadir las ceras (cera F-T y aditivo 1) ya que se obtienen valores de EVT mayores que para el mástico de referencia, es decir pueden ser empleados en carreteras que van a soportar una mayor temperatura.

Además, el uso de la Cera F-T y del Aditivo 1, originan menores valores de la pendiente S25-60 (en valor absoluto), lo que indica una menor susceptibilidad térmica que el mástico de referencia y bastante menor que los másticos que contienen tensioactivos que son los más susceptibles térmicamente hablando. Esto quiere decir que sus módulos complejos cambian en mayor medida cuando la temperatura a la que se encuentran varía.

### Estudios sobre másticos – Combinación de tecnologías

En esta parte del trabajo se ha tratado de evaluar si la combinación de la tecnologías tiene un efecto positivo sobre el mástico y permite reducir aún más las temperaturas de trabajo durante la fabricación y puesta en obra del aglomerado.

Para ello se han estudiado másticos comparando un mástico que emplea Cera F-T con el mismo mástico que también contiene los tensioactivos 1 ó 2. De la misma forma, se realiza la comparativa de un mástico que emplea el Aditivo 1 con el mismo mástico que también contiene los tensioactivos 1 ó 2.

En estos casos sólo vamos a reflejar los resultados obtenidos cuando analizamos las curvas de la viscosidad frente a la temperatura.

### Mástico que emplea la cera F-T + tensioactivos

Los másticos estudiados en esta parte del trabajo son:

1. Mástico 70% Filler + 30% Betún
2. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Cera F-T
3. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Cera F-T + Tensioactivo 1
4. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Cera F-T + Tensioactivo 2

Los estudios de viscosidad para estos másticos están representados en la figura 15:

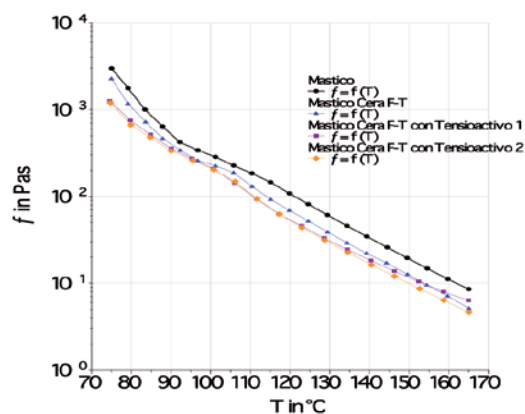


Figura 15. Comparativa de un Barrido de Viscosidad con la Temperatura a una velocidad cizalla de 1 s<sup>-1</sup> para másticos que combinan la cera F-T con tensioactivos.

En esta figura se observa que todos los másticos modificados con la Cera F-T y con o sin tensoactivos poseen menores valores de viscosidad con respecto al mástico de referencia. Además la combinación de la cera con los distintos tensoactivos disminuye algo la viscosidad del mástico. Luego parece que la combinación de tecnologías puede reducir las temperaturas de trabajo de estas mezclas aunque no de una manera significativa.

**Mástico que emplea la cera aditivo 1 + tensoactivos**

Los másticos comparados en esta parte del trabajo son:

1. Mástico 70% Filler + 30% Betún.
2. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Aditivo 1.
3. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Aditivo 1 + Tensoactivo 1.
4. Mástico 70% Filler + 30% Betún modificado con Aditivo 1 + Tensoactivo 2.

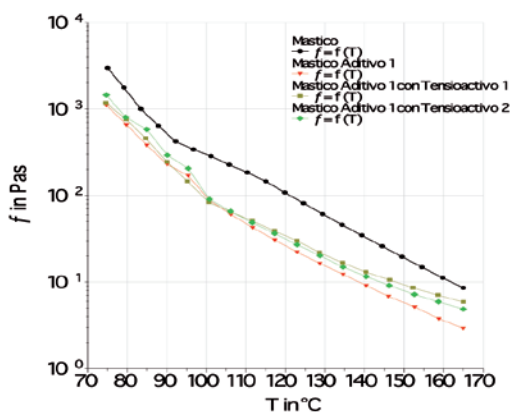


Figura 16. Comparativa de un Barrido de Viscosidad con la Temperatura a una velocidad cizalla de 1 s-1 para másticos que combinan la cera Aditivo 1 con tensoactivos.

En este caso la combinación de esta cera con los distintos tensoactivos no mejora (disminuye) la viscosidad del mástico que solo contiene la cera. No tendría sentido, a la vista de estos resultados, combinar esta cera con estos tensoactivos para conseguir reducir las temperaturas de trabajo del aglomerado.

**CONCLUSIONES**

- Los resultados obtenidos para los estudios reológicos realizados sobre los betunes modificados con ceras (Cera F-T y aditivo 1), se correlacionan con los resultados que luego se han obtenido para los másticos fabricados con ellos. Esto es debido a que las ceras modifican la reología del betún, y por ende, este modifica la del mástico correspondiente.
- Por el contrario cuando estudiamos la reología de los másticos fabricados con tensoactivos, estos resultados no se correlacionan con lo que se obtenían con los ligantes de referencia. Esto es debido a que los tensoactivos no modifican la reología del betún, sino su química, lo que va a afectar a la interfaz áridi-betún, y por lo tanto a la reología de sus mástico.
- Para todas la tecnologías semicalientes estudiadas (ceras y tensoactivos) se ha puesto de manifiesto su capacidad para reducir la viscosidad del mástico y por lo tanto las temperaturas de fabricación de los aglomerados fabricados con estos.
- El estudio reológico de másticos es una herramienta útil para analizar el efecto que distintos aditivos químicos tendrán sobre las mezclas asfálticas.
- El estudio reológico de másticos permite comparar las propiedades de las mezclas que emplean distintas tecnologías semicalientes.
- A la vista de los resultados, la cera: aditivo 1, desarrollada en la actividad 7 el Proyecto Fenix, es la que tecnología que permite reducir en una mayor medida las temperaturas de fabricación del aglomerado, debido a que es la que más reduce la viscosidad del mástico.
- Las ceras (cera F-T y aditivo 1) aumentan la rigidez y elasticidad de los másticos. Se obtienen mayores valores de  $[G^*]$  y menores valores del ángulo  $\delta$ . Permitiendo utilizar estos materiales en carreteras que van a soportar una mayor temperatura ambiental. Además de lugar a mezclas con una susceptibilidad térmica menor.

- Por el contrario los tensoactivos disminuyen la rigidez y elasticidad de los másticos. Se obtienen menores valores de  $[G^*]$  y mayores valores del ángulo  $\delta$ . Luego pueden dar lugar a mezclas más susceptibles a deformaciones plásticas.
- La combinación de tecnologías semicalientes (ceras + tensoactivos) solo es efectiva cuando añadimos un tensoactivo a la cera F-T, aunque su efecto no es significativo.

## REFERENCIAS

- [1] Warm-Mix Asphalt: European Practice.
- [2] Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas. S. Gil, J.I. Amor, J. Felipo, A. Costa, C. Cortés, A. Páez, F. Valor, J.J. Potti. IV Jornada Nacional de Asefma 2009
- [3] Estudio mediante las técnicas DSR y DSC/MDSC de ligantes modificados con ceras sometidos a envejecimiento RTFOT y PAV. S. Gil, F.J. Suárez, J.J. García, J.M. Martínez, M.P. Matía, A. Torrejón, J.L. Novella. V Jornada de Asefma 2010.
- [4] Estudio del ángulo de contacto de betunes y su efecto sobre distintas propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. S. Gil, J.A. González, E. Sánchez. V Jornada de Asefma 2010.
- [5] Test method for mineral filler used in HMA. A.F. Faheem, H.U. Bahia. 2010.
- [6] Influencia de las características del betún y los másticos en la determinación de las temperaturas de fabricación y trabajo de las mezclas bituminosas. A. Costa, J. Loma, E. Moreno. XV Cila 2009
- [7] Lu, X; Isacson, U; Construction and Building Materials; 2002, 16, 15-22

## AGRADECIMIENTOS

La realización del Proyecto Fénix ([www.proyectofenix.es](http://www.proyectofenix.es)) ha sido posible gracias a la contribución financiera del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) dentro del marco del programa Ingenio 2010 y, más concretamente, a través del Programa CENIT. Las empresas y centros de investigación que participan en el Proyecto desean mostrar su gratitud por dicha contribución.

Los autores quieren agradecer a todas las organizaciones y empresas participantes del Proyecto Fénix: Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos (CIESM), Centro Zaragoza, Construcciones y Obras Llorente (Collosa), Ditecpepa, Asfaltos y Construcciones Elsan, Intrame, Pavasal, Repsol YPF, Sacyr, Serviá Cantó, Sorigué, CARTIF, CEDEX, CIDAUT, CSIC (IIQAB), GIASA, Intromac, Labein, Universidad de Alcalá, Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Castilla La Mancha, Universidad de Huelva, Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad Politécnica de Madrid, y a sus numerosos colaboradores cuya capacidad de trabajo y eficacia están permitiendo el desarrollo de este Proyecto en un ambiente de cooperación.