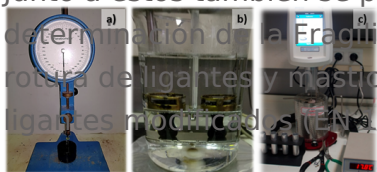


## Ensayos de ligantes y másticos

### Ensayos de caracterización básica de ligantes

El Laboratorio de Ingeniería de la construcción cuenta con los medios necesarios para la realización de todos los ensayos de caracterización básica de ligantes bituminosos. Entre los más comunes se incluyen los ensayos de penetración a 25°C (UNE EN-1426), determinación del punto de reblandecimiento (UNE EN-1427) y viscosidad dinámica (UNE EN 13302) a distintas temperaturas (135, 150, 165 y 180°C)

Junto a estos también se poseen los medios necesarios para realizar la determinación de la Fragilidad Frass (EN 12593), la capacidad de deformación en rotura de ligantes y másticos bituminosos (EN 13589) y la recuperación elástica de ligantes modificados (EN 13398).



### Determinación del contenido de ligante (EN 12697-39) y recuperación del mismo

El laboratorio cuenta con un horno de ignición que permite establecer el contenido de ligante de una mezcla bituminosa según la norma (EN 12697-39). De igual modo, también se cuenta con una extractora centrífuga que permite la recuperación de dicho ligante tras su separación de los agentes disolventes empleando un equipo de destilación por evaporación. El ligante recuperado (de una mezcla bituminosa, partículas de RAP, etc.) puede ser posteriormente ensayado para definir sus propiedades mecánicas.

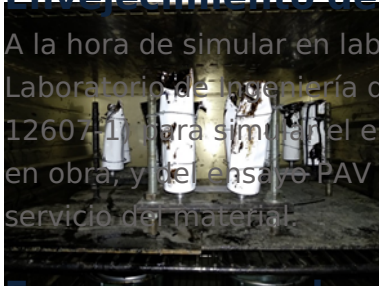


### Ensayo de estabilidad al almacenamiento (UNE EN-13999)

Uno de los elementos clave a la hora de determinar la viabilidad del empleo de un polímero como modificador del betún es la evaluación de la estabilidad al almacenamiento del betún resultante. Este ensayo permite evaluar la posible separación de fases entre betún y polímero tras someter al ligante a un acondicionamiento a 180°C durante 72 horas.

## **Envejecimiento de ligantes bituminosos**

A la hora de simular en laboratorio el proceso de envejecimiento de ligantes, el Laboratorio de Ingeniería de la construcción cuenta con el ensayo RTFOT (UNE EN-12607-1) para simular el envejecimiento durante la fabricación, transporte y puesta en obra, y el ensayo PAV (UNE EN 14769) para el envejecimiento durante la vida de servicio del material.



## **Ensayos para el estudio del comportamiento reológico de ligantes**



### **Barridos de frecuencias y temperaturas**

Mediante el empleo del reómetro dinámico de corte (DSR) es posible realizar barridos de frecuencia (entre 0 y 20 Hz) y temperaturas (desde 10 a 80°C). A partir de los resultados de estos barridos, y es posible analizar la evolución de las propiedades del ligante estableciendo comparaciones de la rigidez del material y comportamiento viscoelástico para una frecuencia (isocronas) o temperatura (isotermas) fijas. Por otra parte, para evaluar la simplicidad termorreológica del material, los datos de ángulo de fase y módulo complejo ( $G^*$ ) se pueden representar a través de diagramas de Black.

Sumado a esto, la posibilidad de la construcción de curvas maestras de módulo a partir de los datos anteriores permite analizar diversos parámetros reológicos que establezcan el comportamiento del ligante frente a cambios relativos a las condiciones ambientales como la susceptibilidad térmica o la resistencia al envejecimiento.

## **Ensayo Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) (UNE EN 16659)**

El ensayo de Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) (UNE EN 16659) analiza el comportamiento no lineal de los ligantes bituminosos como medio para predecir su respuesta frente a las deformaciones plásticas y su recuperación elástica a distintas temperaturas y condiciones de acondicionamiento (antes y después del envejecimiento).

Como parámetros de análisis se calcula, en primer lugar, el porcentaje promedio de recuperación elástica del ligante. Este es la diferencia entre la recuperación elástica al final de un periodo de recuperación y la deformación pico tras la carga constante y proporciona información acerca del modo en el que el polímero está trabajando en el ligante.

Por otra parte, el parámetro Jnr (non recoverable creep compliance) es una medida de la deformación permanente del material tras los sucesivos ciclos de carga y recuperación. Dicho parámetro aporta importante información acerca del grado de resistencia de la mezcla que incorpore el ligante analizado frente a las deformaciones permanentes mediante un ensayo cíclico más cercano al carácter cíclico de la aplicación de las cargas del tráfico.

## Metodología de análisis MSCRT LabIC.UGR

Esta metodología desarrollada en el Laboratorio de Ingeniería de la Construcción (LabIC.UGR) permite obtener una valoración cuantitativa de la recuperación elástica del material en lugar de en términos relativos y evaluar las deformaciones permanentes de una manera más similar a los ensayos a nivel de mezclas (considerando el número de ciclos de aplicación de carga).

Los parámetros obtenidos para las distintas condiciones de ensayo permiten establecer índices que evalúan la susceptibilidad al paso del tráfico del ligante (L-index) así como su susceptibilidad térmica (T-index) y, al envejecimiento (A-index) mostrando una buena correlación con los ensayos a nivel de mezclas. Una explicación más detallada de los distintos índices se puede encontrar en el artículo de Moreno-Navarro et al. (2019).

## Magneto reología

Este tipo de ensayo permite combinar la reología convencional con la evaluación de la acción de campos magnéticos. Así, es posible determinar las propiedades visco-elásticas de ligantes y másticos bituminosos a medias y altas temperaturas bajo la influencia de diferentes intensidades de campos. Esta técnica es muy útil para estudiar y desarrollar nuevos materiales inteligentes capaces de modificar su respuesta bajo la acción de campos magnéticos.



## Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)

El microscopio de fuerza atómica (AFM) trabaja en base a las fuerzas de Van der Waals entre los diferentes átomos del ligante escaneando su superficie y mostrando su morfología a un nivel de resolución atómico. El análisis tanto de la topografía como de las fases de las distintas estructuras permite evaluar los cambios químicos producidos en el material tras la adición de algún aditivo/modificador o tras el envejecimiento, permitiendo establecer la relación de los mismos con la variación de sus propiedades mecánicas.



## Ensayo Bending Beam Rheometer (BBR) (UNE EN 14771).



El ensayo de BBR permite medir la resistencia del material a la flexión a bajas temperaturas. Para ello, se aplica una carga normalizada constante, registrando la evolución del valor de deflexión el cual se incrementa a lo largo del ensayo. Este ensayo aporta información acerca del módulo de rigidez del material a la temperatura de ensayo, así como la relación entre la tensión y la deformación.

## Análisis S.A.R.A



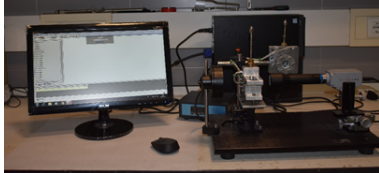
El Laboratorio de Ingeniería de la Construcción cuenta con un equipo que permite establecer la separación y cuantificación de las distintas fracciones elementales del betún: Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos.



## Análisis de adhesividad árido-ligante

El Laboratorio de Ingeniería de la Construcción cuenta con un goniómetro con sistema de control por video que permite el análisis de la evolución de la interacción entre el ligante bituminoso y los áridos con el tiempo. El empleo del mismo permite analizar la influencia de distintos tipos de ligantes, aditivos y tipologías de árido posibilitando una mejor comprensión de la adhesividad entre los elementos de la mezcla bituminosa.

## Ensayos para la caracterización del comportamiento mecánico de morteros bituminosos



El Laboratorio de Ingeniería de la Construcción (LabIC.UGR) cuenta con un equipo de DMA (Dynamic Mechanical Analyzer) que permite la evaluación mecánica de morteros bituminosos y materiales poliméricos. De este modo, es posible estudiar la interacción entre distintos tipos de ligante con la fracción más fina de los áridos de la mezcla y la influencia del empleo de distintos tipos de fíller y aditivos.

El ensayo de probetas prismáticas de estos materiales a través de un ensayo de fatiga en tres puntos permite establecer diferencias relativas a la capacidad portante del material, su comportamiento viscoelástico y la resistencia a la fatiga como tal. De igual modo es posible realizar barridos de frecuencias o amplitudes de deformación para analizar la respuesta del material.

La evaluación de estos materiales puede extenderse a la consideración del efecto de la humedad sobre los mismos estableciendo un proceso de acondicionamiento similar al de sensibilidad al agua a nivel de mezclas, así como su durabilidad con procesos de acondicionamiento que evalúen el efecto combinado de la humedad y el envejecimiento sobre los mismos.

