



## **ENSAYOS PRESTACIONALES PARA LA VALORACIÓN DE PROPIEDADES AVANZADAS EN LAS MEZCLAS BITUMINOSAS.**

Autores.

- Javier Loma Lozano. [javierloma@padecasa.com](mailto:javierloma@padecasa.com) 638080273
- Aleas. Grupo de trabajo de ensayos prestacionales.

### **RESUMEN.**

Las normas de ensayo describen la metodología a seguir para la realización de los ensayos de laboratorio, indicando cuales son los equipos necesarios, las condiciones de preparación de las muestras, el procedimiento operativo, etc..., y deben ser reproducidas por todos los laboratorios. En la actualidad, una gran parte de los ensayos de caracterización de mezclas bituminosas están recogidas en la serie de normas europeas EN 12697, que han sustituido a las normas NLT que desde el año 1958 venían siendo redactadas por el CEDEX.

Los ensayos que se emplean son, salvo ligeros cambios en alguno de los procedimientos, una continuación de los utilizados desde hace años: ensayos de composición (%ligante y gran.), determinación volumétrica (huecos) y los ensayos de resistencia frente a la acción del agua y a las deformaciones plásticas (sensibilidad al agua y rodadura).

La introducción de nuevas normas de ensayo con procedimientos empleados en otros países de la Unión Europea sumado a la evolución de otro tipo de ensayos desarrollados a partir de estudios y proyectos de investigación (pe. Fenix o UGR-FACT), abren un nuevo camino para el diseño y la formulación de mezclas bituminosas a partir del conocimiento de otras propiedades importantes que permiten garantizar el comportamiento real de los materiales.

En Aleas se creó un grupo de trabajo específico con el objetivo de ampliar el conocimiento y las posibilidades de este tipo de ensayos. Más de 15 personas de diferentes entidades están trabajando en mostrar cual es la finalidad y utilidad de estos procedimientos, experiencias y normativa internacional actual, conocer cuál es el equipamiento necesario y se ha realizado un anillo con varios laboratorios de las entidades participantes empleando el ensayo Fenix de la norma NTL-383/20 para 3 tipos de mezclas: AC16, AC16 con RA y BBTM11B.

En esta comunicación se muestran los primeros resultados y los avances obtenidos en el grupo de trabajo.

## INTRODUCCIÓN.

ALEAS es la Asociación de Laboratorios de Entidades asociadas a ASEFMA, constituida en noviembre de 2012 y formada por los técnicos de los departamentos técnicos y los laboratorios de empresas fabricantes de mezclas bituminosas, empresas suministradoras de ligantes, laboratorios privados, organismos oficiales y universidades públicas y privadas del sector. En el año 2021 ha iniciado una nueva etapa en la agrupación con la formación de 5 grupos para desarrollar diferentes trabajos: ensayos para mezclas a menor temperatura, ensayos para mezclas con material fresado, diseño de mezclas bituminosas, toma de muestras y ensayos prestacionales.

La posibilidad de poder utilizar diferente normativa de ensayo con distintos métodos a los empleados habitualmente para determinar alguna característica de un material en muchas ocasiones no se realiza. El excesivo coste del equipamiento necesario para su ejecución, el desconocimiento del funcionamiento de una metodología nueva, la difusa interpretación de los resultados o mismamente por no formar parte de las especificaciones requeridas por los clientes.

En trabajo desarrollado en el grupo ha pretendido dar respuesta a muchas de estas cuestiones con el objetivo de mostrar las posibilidades que se pueden obtener empleando este tipo de ensayos como complemento a los procedimientos de ensayo tradicionales.

## VISIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS PRESTACIONALES FRENTE A LOS ENSAYOS TRADICIONALES.

Como cualquier otro material de construcción, las mezclas bituminosas, como consecuencia de su empleo en una estructura resistente (en este caso, los firmes de carreteras) deben dar respuesta a las necesidades funcionales de la estructura. Estas necesidades funcionales y la respuesta del material (sus **prestaciones funcionales**) se relacionan tanto con el uso que se va a dar a la estructura, como del propio proceso constructivo y, lógicamente, con su durabilidad y seguridad. Así en los firmes de carreteras tenemos unas necesidades del usuario (seguridad, comodidad, ruido, visibilidad, ...) que se refieren básicamente a las características superficiales, otras referidas al propietario de la estructura (sociedad y, por delegación, administraciones de carreteras) que suelen ser relativas a sus características mecánico-resistentes y a la durabilidad de éstas, y, por última, unas exigencias constructivas, referidas esencialmente a la trabajabilidad y facilidad de puesta en obra.

Para poder construir y conservar firmes de carretera debemos asegurarnos que los materiales (mezclas bituminosas en este caso) con los que proyectamos y construimos respondan adecuadamente a esas prestaciones funcionales y, siempre que sea posible, necesitamos asegurarnos de ello previamente a la propia construcción, y para ello, necesitamos que las especificaciones recojan cómo comprobar que la respuesta de los materiales a las prestaciones funcionales sean las correctas. Necesitamos expresarlas, a ser posible cuantitativamente, en términos técnicos que resulten medibles. Así, dentro del término "**propiedades técnicas**" recogemos aquellas características de los materiales que aseguran el cumplimiento de las prestaciones funcionales y que son susceptibles de ser medidas mediante ensayos normalizados. Estas propiedades pueden especificarse mediante valores máximos o mínimos, mediante rangos de validez, o, de forma más abierta, mediante clases o niveles de los parámetros medidos (resultados de los ensayos). Por poner un ejemplo, la resistencia a la deformación plástica sería una propiedad técnica de una mezcla bituminosa relativa a prestaciones funcionales de seguridad y durabilidad de un firme de carreteras.

En la evaluación de las propiedades técnicas se puede recurrir a ensayos que caractericen una determinada propiedad de forma directa (midiendo específicamente la propiedad que queremos controlar), sometiendo al material a unas condiciones de carga y en unas condiciones de entorno que reflejen fielmente las que soporta en el firme. Este tipo de ensayos los denominamos **prestacionales o fundamentales**. Si, además, el material a ensayar lo obtenemos directamente de la obra (en el proceso de construcción) o del firme (cuando está en servicio) o previamente acondicionado para ser representativo de la situación real que queramos analizar, el dato obtenido será realmente representativo de la prestación funcional que queremos analizar. Un ejemplo típico de ensayo prestacional o fundamental sería el ensayo de deformación triaxial para caracterizar la resistencia a la deformación plástica.

Es importante señalar que, pese a su innegable interés, no siempre es posible realizar ensayos prestacionales o fundamentales con carácter previo a la ejecución de la obra. Así por ejemplo, la regularidad del firme, una importantísima prestación funcional relacionada con la comodidad, la seguridad y la durabilidad, no es posible medirla ni valorarla antes de realizar las obras.

Por otro lado, los ensayos prestacionales o fundamentales se relacionan de manera directa con el comportamiento de los firmes. Suelen ser ensayos que requieren equipos de elevado coste y los procedimientos de ensayo suele ser también largos y costosos. Por ello, en numerosas ocasiones nos vemos a recurrir a ensayos que miden de forma más sencilla otros parámetros no relacionados científicamente con el comportamiento de las mezclas, pero que la experiencia ha mostrado que tienen una relación clara con la propiedad medida. Son los que se denominan **ensayos empíricos**. Los ensayos empíricos se relacionan con el comportamiento, pero sin que exista una relación estricta y directa entre los parámetros medidos y las prestaciones funcionales. Un ejemplo típico sería el ensayo de deformación Marshall.

A medio camino entre ambos, estarían los **ensayos de simulación**, donde medimos directamente propiedades, pero en condiciones que no son exactamente las reales. Tal es el caso del ensayo de deformación plástica en pista de laboratorio. Es habitual que estos ensayos se engloben entre los empíricos.

Finalmente, se dispone de otro tipo de ensayos que no permiten determinar características de comportamiento de las mezclas sino únicamente su **composición**. No obstante, la experiencia acumulada permite, en ocasiones, ligar determinadas características de la composición con las prestaciones funcionales. Por ejemplo, aunque habría más, el contenido en huecos y de ligante, son dos parámetros de composición de la mezcla que pueden darnos una orientación valiosa sobre la resistencia de ésta a la deformación permanente.

De esta forma, para una propiedad tan importante de las mezclas como su resistencia a la deformación se dispone de toda una batería de ensayos:

- Prestacional: ensayo triaxial
- Simulación: ensayo en pista de laboratorio
- Empírico: deformación Marshall
- Composición: contenido de huecos, contenido de ligante...

## **ENSAYOS PRESTACIONALES, TIPOS Y NORMATIVA A SEGUIR.**

La identificación de las diferentes propiedades asociadas a las mezclas bituminosas y los ensayos que se pueden emplear para su determinación es uno de los trabajos realizados en el grupo.

En muchos de los casos, para una misma propiedad se pueden utilizar distintos ensayos y dentro de cada uno de ellos, diferentes procedimientos. Las propiedades asociadas a las mezclas bituminosas e identificadas en este trabajo han sido las siguientes:

Rigidez, adaptabilidad al soporte, resistencia a la fatiga, resistencia a las deformaciones plásticas, resistencia a la acción del agua, resistencia a los esfuerzos tangenciales, resistencia a la desintegración, resistencia a la fisuración a bajas temperaturas, resistencia a la fisuración por envejecimiento, resistencia a la fisuración mecánica (descendente), resistencia a la fisuración por reflexión, resistencia al escurrimiento, permeabilidad, trabajabilidad, macrorugosidad, microrugosidad, propiedades acústicas, propiedades ópticas, resistencia al deslizamiento, resistencia al envejecimiento, resistencia a los combustibles y resistencia al hielo.

En esta tabla se presentan, a modo de ejemplo, los ensayos que están asociados a tres de estas propiedades como son la rigidez, la resistencia a la fatiga y la resistencia a las deformaciones plásticas.

Propiedad	Norma	Título
Módulo de Rigidez	UNE EN 12697-26.	Rigidez A. Ensayo flexión 2 puntos probetas trapezoidales (2PB-TR) o prismáticas (2PB-PR) B. Flexión en 3 puntos sobre probetas prismáticas (3PB-PR) y 4 puntos sobre probetas prismáticas (4PB-PR) C. Tracción indirecta sobre probetas cilíndricas (IT-CY) D. Tracción compresión directa sobre probetas cilíndricas (DTC-CY) E. Tracción directa sobre probetas cilíndricas (DT-CY) o prismáticas (DT-PR)
	NLT 383/20	Ensayo Fenix
	NLT 360	Determinación del módulo resiliente mediante el ensayo de compresión diametral (método similar al IT-CY -anexo C- de la norma UNE EN)
	NLT 349	Módulo dinámico a compresión simple sobre probetas cilíndricas.
Resistencia a la fatiga	UNE EN 12697-26.	Resistencia a la fatiga. A. Ensayo de flexión en 2 puntos sobre probetas trapezoidales (2PB-TR). B. Ensayo de flexión en dos puntos sobre probetas prismáticas (2PB-PR). C. Ensayo de flexión en tres puntos sobre probetas prismáticas (3PB-PR). D. Ensayo de flexión en 4 puntos sobre probetas prismáticas (4PB-PR). E. Ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas (IT-CY). F. Ensayo de tracción indirecta cíclico sobre probetas cilíndricas (CIT-CY)
	NLT 350	Ensayo de fatiga en flexotracción dinámica de mezclas bituminosas (similar al 3PB-PR de la UNE EN)
	Ensayo Ebade	
	PN 41210	Resistencia estructural y a la fisuración por fatiga UGR-FACT.
Resistencia a las deformaciones plásticas	UNE EN 12697-22	Ensayo de rodadura. Dispositivo tamaño grande, extragrande y pequeño (A o B y agua-aire)
	UNE EN 12697-25.	Ensayo de compresión cíclico
	UNE EN 12697-34	Ensayo Marshall
	UNE EN 12697-8	Determinación de contenido de huecos.
	UNE EN 12697-20	Ensayo de indentación (para másticos y asfalto fundido)

NLT 159	Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall
NLT 160	Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas de árido fino empleando el aparato Hubbard Field
NLT 168	Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas.
NLT 173.	Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio.
NLT 381	Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas empleando la máquina giratoria.
NLT 379	Ensayo de indentación (para másticos y asfalto fundido)

Tabla1. Propiedades de las mezclas y metodología de ensayo.

Una de las causas del poco desarrollo de muchos de los ensayos fundamentales en nuestro país es la reducida aplicación que tienen en el dimensionamiento de los firmes.

Como información adicional de los recursos disponibles en Aleas para realizar gran parte de estos ensayos, se ha recogido información sobre el equipamiento de los laboratorios de las entidades que son miembros de Aleas, como se muestra en el siguiente gráfico con el equipamiento disponible para 18 de estos laboratorios.

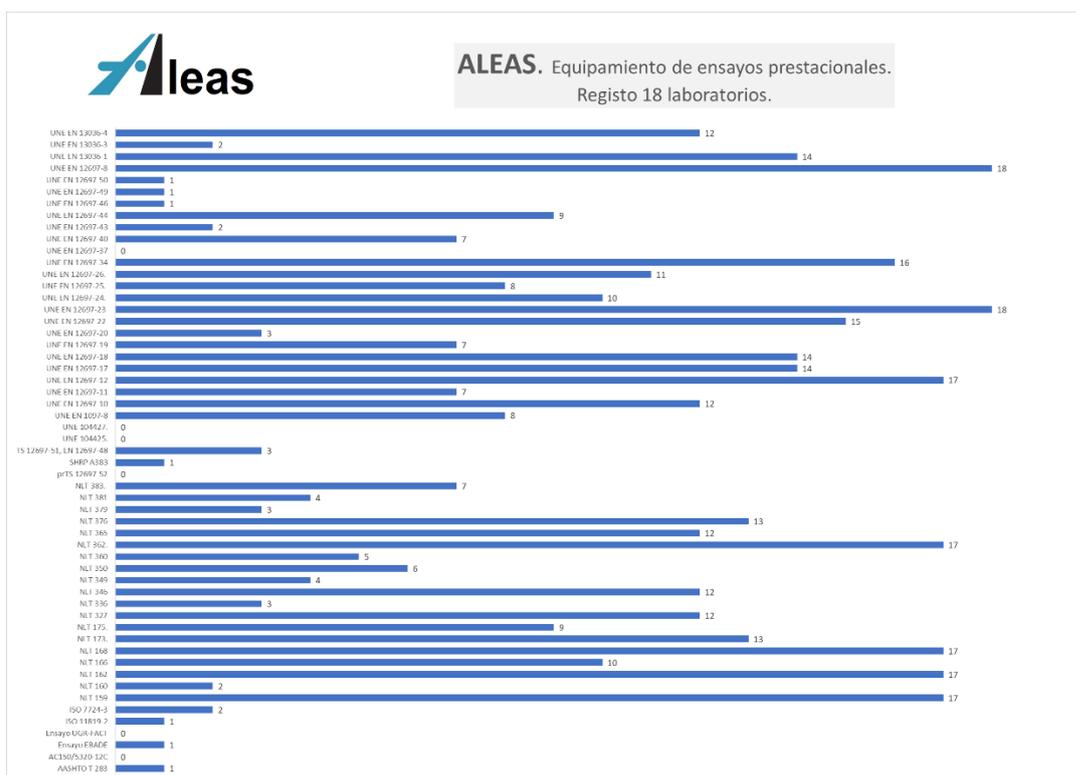


Gráfico 1: Recursos (normativa de ensayo/número) de equipos disponibles en Aleas.

Algunos de estos ensayos requieren equipos de alta precisión y coste, pero en otros muchos casos no es necesario disponer de equipamiento diferente al que tenemos habitualmente en los laboratorios. Se ha realizado una recopilación del principal equipamiento necesario para la ejecución de los principales ensayos determinando un coste aproximado, con el siguiente resultado:

1. Ensayo según norma **NLT 383/20 (Ensayo FENIX)**. Prensa multiensayo con capacidad de ensayar probetas a tracción directa a velocidad uniforme de 1 mm/min con

capacidad de al menos 15 kN y una exactitud del 1% a partir de 200 N, con un sistema que permita medir desplazamientos con resolución de 0,001 mm. Debe contar con cámara termostática con capacidad de mantener la temperatura establecida para el ensayo con una variación máxima de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  en un rango de temperaturas comprendido entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+60^{\circ}\text{C}$ . También requiere una sierra de corte y los útiles de ensayo (Juego de placas de ensayo, acoplamiento a prensa).  
Coste aproximado de la prensa 25.000 € más 2.000 € de la sierra de corte y accesorios.



Imagen 1: Prensa de ensayo Fenix.

2. Ensayo según norma **UNE EN 12697-44 (Propagación de la fisuración mediante un ensayo a flexión de una probeta semicircular)**. Prensa multiensayo con capacidad de al menos 50 kN y exactitud de medida de  $\pm 0,2$  kN, con capacidad de mantener una velocidad de ensayo constante de 5 mm/min. Debe contar con sensor de deformación capaz de medir con exactitud de  $\pm 0,01$  mm y registro de datos tanto de cargas como deformaciones. Cámara de acondicionamiento y Máquina de corte y disco.  
Coste aproximado de la prensa 10.000 € más la cámara climática en 1.000 € y la sierra y disco por 7.000 €.
3. Ensayo según norma **UNE EN 12697-24 (Resistencia a la fatiga) ANEXO E** - Ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas. Máquina dinámica capaz de aplicar pulsos de carga repetidos tipo Haversine con capacidad mínima 15 kN y precisión 0,25%, con sensor para medir desplazamientos con precisión  $\pm 2$   $\mu\text{m}$  y rango  $\pm 2$  mm. y un sistema de medición y registro con frecuencia mínima de 500 Hz. Cámara termostática con un rango de temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ . Precisión de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Bastidor de carga y dispositivo de posicionamiento.  
Coste estimado del conjunto 70.000 € - 90.000 €.
4. Ensayo según norma **UNE EN 12697-24 (Resistencia a la fatiga) ANEXO D** - Ensayo de flexión en cuatro puntos sobre probetas prismáticas. Máquina dinámica capaz de aplicar pulsos de sinusoidales con frecuencias en el rango de 0,1 a 60 Hz con precisión 0,1 Hz. Célula de carga con rango mínimo de  $\pm 2$  kN y sensor para medir desplazamientos con rango  $\pm 1$  mm y clase 0,2. Dispositivo de sujeción de probeta según norma, cámara termostática con precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y sistema de medición y registro.  
Coste estimado del conjunto 70.000 € - 90.000 €.



Imagen 2: Ensayo de fatiga a 4 puntos.

5. Ensayo según norma **UNE EN 12697-26 (Rigidez). ANEXO C**-Ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas. Máquina dinámica capaz de aplicar pulsos de carga repetidos tipo Haversine según especificaciones de la norma con capacidad mínima de 10 kN y 2% de precisión y sensor para medir desplazamientos con precisión superior a 0,5  $\mu\text{m}$  y rango  $\pm 50 \mu\text{m}$ . Sistema de medición y registro con frecuencia mínima de 500 Hz. Cámara termostática con un rango de temperaturas entre -10°C y 30°C. Precisión de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  y bastidor de carga.  
Coste estimado del conjunto 70.000 € - 90.000 €

*Nota: Dadas las características comunes en los Ensayos de Rigidez y fatiga UNE EN 12697-24 (Anexos D y E) y UNE EN 12697-26, se suelen adquirir estos equipos en un único conjunto que permite realizar cualquiera de los tres tipos de ensayo, aunque no de forma simultánea. Si se precisa realizar ensayos de forma simultánea hay múltiples opciones en el mercado que incrementan los valores estimados en este documento. Coste estimado del conjunto 100.000€-120.000€*

6. Ensayo de acondicionamiento de probetas asfálticas en atmósfera controlada mediante el envejecimiento por flujo forzado de ozono como agente oxidante según norma **UNE EN 12697-52 (procedimiento B.2)**. Cámara climatizada con ventilación forzada capaz de mantener el acondicionamiento de temperatura con precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Agitador magnético calefactado con regulación de temperatura hasta 100 °C con precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Célula triaxial para acondicionamiento de muestra y generador de ozono.  
Coste estimado del conjunto 40.000 €
7. Ensayo según norma **UNE EN 12697-43 (Resistencia a los combustibles)**. Dispositivo para el ensayo de cepillado.  
Coste estimado 10.000 €.

*Nota: Para realizar el ensayo se debe haber preparado la probeta mediante alguno de los tipos de compactación recogidos en las normas EN 12697-30, EN 12697-31 o EN 12697-33 y cuyo valor no está recogido en la estimación, así como tampoco el valor de la cámara ventilada de acondicionamiento para mantener la probeta a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ .*

8. Ensayo según norma **UNE EN 12697-49 (Determinación del rozamiento tras el pulido)**. Unidad de pulido, sistema de sujeción de la probeta, unidad de medición del rozamiento, placa de control de vidrio y equipo de chorro de arena.  
Coste estimado del conjunto 280.000 € - 310.000 €.



*Imagen 3: Equipo Wehner and Schulze.*

9. Método de ensayo para la evaluación del comportamiento mecánico a fisuración por fatiga de materiales bituminosos **PN 41210 (UGR-FACT)**. El dispositivo comercialmente disponible está compuesto por una base, dos apoyos donde la probeta es fijada y un cabezal de aplicación de carga, 4 LVDT's (2 en cada cara de la probeta), dos verticales situados en la zona de máximo desplazamiento vertical (zona superior), y dos horizontales. Máquina universal de ensayos con control servohidráulico capaz de ejecutar funciones tipo seno-verso con frecuencias hasta 5Hz y capacidad de carga de, al menos, 5 kN equipada con célula de carga  $\pm 0,002$  kN, sobre una gama de medición de al menos  $\pm 2,5$  kN. La máquina deberá contar con un sistema electrónico de servocontrol y medida capaz de realizar los ensayos, capturar los datos y presentar los resultados relativos. Equipamiento necesario para la preparación previa al ensayo de las muestras y cámara termostática capaz de regular y mantener temperaturas entre 0 y 30°C.

Coste estimado del dispositivo de ensayo con los 4 captadores: 22.000€ - 25.000 € y el coste estimado de la máquina de ensayo 45.000 € - 50.000 €. Coste estimado del dispositivo de preparación de probetas es de 1.600 € y para la cámara termostática: 10.000€-13.000€. Total, todo el equipamiento entre 80.000 €-90.000 €.

### **OBSERVATORIO INTERNACIONAL**

Consideramos importante conocer cuál es la implantación en otros países de los ensayos prestacionales dentro de la normativa oficial de cada país. Por ello se ha recogido información de varios países con la normativa y metodología utilizada en cada uno y en qué grado son utilizados para el diseño de las mezclas o también en el control de calidad, los criterios seguidos y las especificaciones fijadas en sus pliegos de condiciones.

Experiencia francesa. El método francés para el diseño y la construcción de un firme bituminoso se basa en 2 requisitos:

- Especificación de las características de los productos bituminosos de la serie de normas sobre productos NF EN 13108 determinada por ensayos de tipo en laboratorio (según NF EN 13108-20).
- La conformidad de los parámetros de fabricación y de ejecución durante la fase de construcción según los criterios de aceptación normalizados (NF P 98-150-1: Ejecución de capas base de carreteras, capas intermedias y capas de rodadura).

Por lo tanto, el método francés no recomienda ninguna prueba mecánica de la mezcla bituminosa una vez que se ha aplicado. La metodología supone que, si la mezcla bituminosa fabricada para la obra se ajusta al diseño de la mezcla de laboratorio y cumple con las especificaciones de puesta en obra, entonces esta mezcla tendrá las prestaciones mecánicas determinadas en el laboratorio.

- A) Ensayos prestacionales a nivel de la formulación. La prueba de formulación (= ensayos de tipo) de la mezcla bituminosa aplicada en Francia están definidos por la norma NF EN 13108-20 y especificada en cuanto a su contenido de ensayos por la NF P 98-150-1. Se caracteriza por un enfoque basado al máximo en la prestación mecánica de la mezcla bituminosa. La prueba de formulación de la mezcla se lleva a cabo con materiales preparados en el laboratorio. Se centra en los umbrales de prestación e impone especificaciones a los componentes, especialmente a los áridos. Se utiliza el ensayo de compactibilidad con compactadora giratoria, el ensayo de sensibilidad al agua, la resistencia a la rodera, el módulo de rigidez y la resistencia a la fatiga, según el enfoque adoptado (empírico o fundamental). Se lleva a cabo una secuencia de ensayos de laboratorio para describir el comportamiento de una mezcla bituminosa que se elige en función del nivel de prueba (de 1 a 4) requerido por el cliente y, eventualmente, de las pruebas adicionales. El nivel depende, generalmente, del tipo de mezcla, de la posición de la capa de mezcla en el pavimento, de su espesor, del tráfico previsto, de los esfuerzos particulares (rampas, cruces, temperatura ambiente), del objetivo que se persigue con la aplicación de esta capa y de la naturaleza de las capas inferiores y del tamaño de la obra.

Nivel de prueba		Método de ensayo	Observaciones
4	3	1 Preparación de la muestra mediante compactador giratorio NF EN 12697-31	Especificación de % huecos en función de nº de giros.
		2 Determinación de sensibilidad al agua de probetas de mezcla bituminosa NF EN 12697-12, mét. B	Conservación 7 días en aire y agua a 18°C. Rotura por compresión diametral
	3 Deformación en pista NF EN 12697-22, Dispositivo de tamaño grande	Ensayo realizado a 60°C en aire y medición a 3.000, 10.000 o 30.000 ciclos	
	4 Rigidez NF EN 12697-26, Anexo E o Anexo D	Módulo complejo a 15°C, 10 Hz o por ensayo de tracción indirecta 15°C, 0,02s.	
	5 Resistencia a la fatiga NF EN 12697-24, Anexo A	Ensayo de fatiga por flexión en 2 puntos (10°C, 25 Hz)	

Tabla 2. Niveles prueba metodología francesa.

- B) Ensayos prestacionales al nivel de la obra. Comprobación en fabricación que las características de la mezcla fabricada son conformes con las definidas al final del estudio de formulación y compatibles con la puesta en obra de los materiales.  
 Normativa NF EN 13108-21 – Control de producción en fabrica.  
 Comprobación de puesta en obra de la mezcla. Controles puntuales definidos en la normativa NF P 98-150-1 - Ejecución de capas base de carreteras, capas intermedias y capas de rodadura. Pueden referirse al control de los métodos de compactación y/o mediciones directas (% de huecos), espesor de las capas, pendientes y perfiles transversales, perfil longitudinal – nivelación, comprobación de hundimientos “flache” o la adherencia. Para las mezclas bituminosas drenantes tipo PA, las mediciones de la macrotextura no son significativas y este ensayo esta reemplazado por una medición de la drenabilidad in situ (según anexo C de la NF P 98-150-1).

Experiencia en el Reino Unido e Irlanda. En Reino Unido e Irlanda se realizan algunos ensayos prestacionales sobre mezclas bituminosas, como son:

- Medida del módulo de rigidez a tracción indirecta (BS EN 12697-26). Existen requisitos mínimos para diferentes tipos de mezclas (AC, SMA, EME2), y también se exigen unos mínimos para mezclas que contengan más de un 25% de RAP. El ensayo se realiza a 20°C. Los valores no se utilizan para el diseño del firme. Se permite el diseño mediante cálculo analítico en algunas ocasiones y en esos casos se toman valores de módulo y leyes de fatiga estándar. No se aplican los valores obtenidos en el ensayo.
- Resistencia a la fatiga (BS-EN 12697-24). Se utiliza el método A, ensayo a flexión en 2 puntos sobre probetas trapezoidales. Las condiciones son 10°C y 25 Hz. Se pide para mezclas de alto módulo, EME2, y para mezclas BBA (beton bituminoux aeronautique).
- Resistencia a las deformaciones plásticas (BS-EN 12697-22). Para mezclas de alto módulo se pide la norma europea, con el dispositivo grande, para AC SMA, el dispositivo pequeño y el método B, en aire.
- Adherencia entre capas. Se emplean varios métodos:
  - o Torque bond test. Ensayo in situ, que se debe realizar entre 28 y 56 días del extendido.
  - o Ensayo de cizallamiento Leutner modificado. Se trata del mismo ensayo que el del a norma NLT 382 dispositivo A. Se realiza sobre testigos.
- Macrotextura (BS-EN 13036-1). Se exige medir la macrotextura en rodadura antes de la apertura al tráfico, y anualmente durante 2 años. Durante esos 2 años se deben cumplir los requisitos mínimos. El método es el círculo de arena.
- Propiedades acústicas. Se debe medir según la norma ISO 11819-1 entre 12 y 24 meses después de la apertura al tráfico. Se trata del statistical pass by method. La temperatura del pavimento debe estar entre 5 y 50°C, y la del aire, entre 5 y 30°C.

Experiencia en USA.

Los diferentes ensayos prestacionales que utilizan en USA (cada estado tiene su propia normativa), aunque no son requisitos de diseño son los siguientes:

- Módulo dinámico:
  - o Unconfined Dynamic Modulus Test. ASTM D 3497
  - o Confined Dynamic Modulus Test
  - o Shear dynamic modulus test. ASHTO TP 7: *Determining the Permanent Deformation and Fatigue Cracking Characteristics of Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Simple Shear Test (SST) Device, Procedure E – Frequency Sweep Test at Constant Height*
- Resistencia a fatiga:

- Flexural test. AASHTO TP 8: *Determining the Fatigue Life of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending*. (Es como el ensayo de flexión en 4 puntos sobre probeta prismática)
- Resistencia a tracción:
  - Tracción indirecta. AASHTO TP 9: *Determining the Creep Compliance and Strength of Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Indirect Tensile Test Device*
  - Thermal cracking test. AASHTO TP 10: *Method for Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength*. Determina la resistencia a la tracción y la temperatura en la fractura de una muestra de HMA midiendo la carga de tracción, en una muestra que se enfría a una velocidad constante mientras se restringe la contracción.
- Módulo resiliente.

A modo de ejemplo, Requisitos en TEJAS: Estabilidad: siempre se ha medido mediante Hveem stabilometer (compresión axial). Ahora se hace el Hamburg Wheel tracking test al 93% de densidad. Resistencia a tracción indirecta. Para la mezcla Permeable friction course (PFC) y Thin Bonded Wearing Course, ensayo Cántabro. Para PFC se hace compactadas al 78-82% y para TBWC al 92%.

#### Experiencia en Australia

- Módulo resiliente: *Resilient modulus testing shall be completed on dense graded asphalt and stone mastic asphalt mixes and the test results reported as part of the mix design submission, unless otherwise advised by the Asphalt Mix Design Registrar. Triplicate test specimens shall be prepared in accordance with AS/NZS 2891.2.2 (to  $5.0 \pm 1.0\%$  air voids) and tested in accordance with AS/NZS 2891.13.1 at a temperature of  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . No exige valor, solo que se declare.*
- Drenaje de ligante. *For open graded asphalt and stone mastic asphalt, a sample of production mix shall be prepared and tested in accordance with AG:PT/T235. Testing shall be completed at the maximum production temperature to be adopted for the mix. The asphalt binder drain-off shall be  $\leq 0.3\%$ . The results must be reported as part of the mix design submission.*

#### Requisitos EME2.

Property		Test method	Unit	Limit	Value
Air voids in specimens compacted by gyratory compactor at 100 cycles		AS/NZS 2891.2.2 <sup>(1)</sup>	%	Maximum (mensuration)	6.0 <sup>(2)</sup>
Water sensitivity		AGPT/T232 <sup>(3)</sup>	%	Minimum	80
Wheel tracking	At 60 °C and 30 000 cycles (60 000 passes)	AGPT/T231 <sup>(4,5)</sup>	mm	Maximum	4.0
	At 60 °C and 5 000 cycles (10 000 passes)	AGPT/T231 <sup>(4,5)</sup>	mm	Maximum	2.0
Minimum stiffness modulus at $50 \pm 3 \mu\epsilon$ at 15 °C and 10Hz		AGPT/T274 <sup>(4)</sup>	MPa	Minimum	14 000
Fatigue resistance at 20 °C, 10Hz and $10^6$ cycles		AGPT/T274 <sup>(4)</sup>	$\mu\epsilon$	Minimum	150
Resilient modulus at 25°C, 0.04s rise time		AS 2891.13.1	MPa	N/A	report

*Tabla 3. EME2 laboratory performance criteria.*

#### Experiencia en ALEMANIA.

En Alemania existen catálogos de firmas al igual que en España y, las especificaciones que se exigen dependen del tipo de mezcla y condiciones de contorno: Tráfico, posición en la capa, etc.. En general, los ensayos dinámicos no tienen especificaciones establecidas, pero se

emplean para el diseño analítico que se utiliza en ciertos casos, como por ejemplo en los proyectos público-privados. Los ensayos prestacionales más habituales en Alemania son:

- Medida del módulo de rigidez a tracción indirecta (DIN EN 12697-26) anexo C+ DIN EN 12697-23 (especificado por TP Asphalt-StB Parte 23). Se busca determinar el impacto del agua en la mezcla, por lo que se caracterizan la rigidez aplicando un ensayo de tracción indirecta. La determinación de la tracción indirecta se realiza a 15 °C y a una velocidad de rotura de 50 mm/min. Las probetas en húmedo se sumergen 72 h.
- Medida del módulo de rigidez a tracción indirecta (DIN EN 12697-26) anexo F. Evaluación de la rigidez en función de la temperatura. Caracterizan la rigidez bajo condiciones de carga cíclica utilizando el ensayo de tracción indirecta cíclica sobre probetas de laboratorio. El ensayo se hace a las 4 temperaturas especificadas en la norma (-10, 0, 10 y 20 °C) y a un barrido de frecuencias que va desde 0,1 Hz a 10 Hz. Se emplea como base para el diseño empírico mecanicista.
- Resistencia a la fatiga (DIN EN 12697-24). Se busca determinar la función de fatiga de una mezcla mediante el ensayo de tracción indirecta cíclico sobre probetas cilíndricas. En ensayo se realiza a 20 °C y 10 Hz. Se emplea como base para el diseño empírico mecanicista.
- Resistencia a las deformaciones plásticas mediante el ensayo de rodadura (DIN EN 12697-22). Se busca determinar la susceptibilidad de una mezcla a deformarse cuando es sometida a una carga. Se emplea el dispositivo pequeño, a 60 °C en aire, y 10.000 ciclos.
- Resistencia a las deformaciones plásticas mediante el ensayo de compresión cíclico (DIN EN 12697-25, procedimiento B). Se busca determinar la deformación plástica permanente de una mezcla mediante ensayos de compresión cíclica con confinamiento. Se fabrican probetas mediante el compactador de plata, y se extraen testigos de 100mm de diámetro y 60 mm de altura. El ensayo se realiza a 50 °C y se aplican 10.000 ciclos de carga.
- Resistencia a la acción del agua mediante tracción indirecta (DIN EN 12697-12). Se realiza a 15 °C y a una velocidad de rotura de 50 mm/min. Las probetas en húmedo se sumergen 72 h en un baño.
- Resistencia a la acción del agua mediante la afinidad entre árido y ligante (DIN EN 12697-11). Se emplea una gravilla 5/8 u 8/11 con el ligante y se realiza una inspección visual de la envuelta tras 6 y 24 h de rotación.
- Resistencia a la desintegración mediante la pérdida de partículas (DIN EN 12697-17). Sólo aplica a mezclas porosas.
- Resistencia a la fisuración a bajas temperaturas (DIN EN 12697-46/A). Determina la fisuración y propiedades a baja temperatura TSRST. EN una muestra prismática, aplica a una velocidad de 10 K/h un barrido de temperaturas desde 20 °C hasta -45 °C, obteniéndose una curva de tensión criogénica que, en combinación con la tracción directa (a 4 temperaturas y también establecida en esta norma), hace que se obtenga la reserva de resistencia a la tracción a bajas temperaturas.
- Resistencia al escurrimiento de ligante mediante el método Schellenberg (DIN EN 12697-18). Se emplea en mezclas porosas y tipo SMA EL ensayo se realiza 25 K por encima de la temperatura habitual de mezcla.
- Trabajabilidad mediante compactibilidad (DIN EN 12697-10, Parte 10 A - cambio en la densidad o Parte 10 B - cambio espesor de la muestra). Se evalúa la compactibilidad Marshall con densidad o espesor controlado.

#### **ANILLO INTERLABORATORIO DE ENSAYOS. ENSAYO FENIX.**

Los anillos de ensayo de laboratorio aportan seguridad y confianza en la realización de los ensayos en los diferentes laboratorios, permitiendo identificar posibles errores sistemáticos. Otra de las ventajas es poder comparar los resultados obtenidos con las especificaciones y en algún caso, proponer modificaciones o requerimientos técnicos en la normativa de mezclas bituminosas.

Entre los objetivos marcados inicialmente en el grupo de trabajo está la realización de un anillo de ensayos interlaboratorio con uno de los procedimientos descritos en el documento. El ensayo elegido es el Fenix, de reciente publicación en la norma NLT 383/20 y en la Nota Técnica del Ministerio NT 01/2022.

En el anillo han participado 6 laboratorios todos miembros de Aleas, que disponen del equipamiento requerido por la norma de ensayo.

Se han ensayado 3 tipos de mezclas diferentes tomadas en una misma planta de fabricación de mezclas bituminosas, dos del tipo AC 16D con ligante B50/70, una primera incorporando un 20% de material reutilizado y otra sin material RA, y una tercera mezcla del tipo BBTM11B, todas las mezclas con diferentes propiedades para diferenciar su comportamiento en los resultados finales.

Imagen 4: *Probeta durante el ensayo Fenix.*



Previamente se ha establecido un protocolo de trabajo para el control de los equipos y los parámetros del ensayo (temperaturas, tiempos, edad de las probetas, etc...), la preparación y la ejecución de los ensayos realizados en todos los laboratorios con las mismas condiciones de trabajo:

- De cada tipo de mezcla se han fabricado en un mismo laboratorio 6 probetas con la mezcla recién fabricada de la planta y acondicionada para simular el tiempo de transporte a la obra y de cada una se han fabricado en los distintos laboratorios otras 6 probetas de ese mismo material con la muestra recalentada, para evaluar con ello la diferencia en su comportamiento y propiedades.
- Las condiciones de fabricación de temperaturas de trabajo para la compactación de las probetas han sido definidas en el protocolo de trabajo: para las muestras acondicionadas 170°C durante 30-45 minutos y para las mezclas recalentadas 75 minutos a 120°C y posteriormente 60 minutos a 170 °C.
- Todas las probetas se fabrican con el equipo de impacto, UNE EN 12697-30, aplicando 75 golpes por cada cara y determinando la densidad por SSD para las mezclas AC y 50 golpes por cada cara de la probeta para las mezclas BBTM11B determinando su densidad por el procedimiento geométrico.
- Las probetas se ensayan, tanto para el corte de la probeta como el ensayo en el equipo, a una edad entre 30 y 60 días después de su fabricación de las probetas. El ensayo se realiza a 3 temperaturas: -5°C, 5°C y 20°C.

Análisis de los resultados de la mezcla AC 16D con y sin RA, con la mezcla recién fabricada.

- La mezcla con RA a 20°C es menos dúctil que la que no lleva RA. El comportamiento a temperaturas más bajas también es peor en la mezcla con RA, tiene menos ductilidad y menor resistencia a la tracción, por lo que muestra una menor resistencia a la fisuración. La mezcla con RA a 5°C tiene un comportamiento similar al de la mezcla sin RA a -5°C. La mezcla sin RA tiene un comportamiento más tenaz a todas las temperaturas de ensayo.
- Respecto a los requisitos recomendados indicados en la NT01/2022, ninguna de las dos mezclas cumpliría el valor de DT a 5°C, que debería ser mayor de 0.25 mm, aunque la mezcla sin reciclado queda cerca. En cuanto al parámetro DTxRT, que debería ser superior a 0.20 MPa·mm para una mezcla AC con B50/70, a 5°C, sólo lo cumpliría la mezcla sin RAP.
- Los coeficientes de variación de la reproducibilidad aumentan de forma general en la mezcla que incluye RAP.

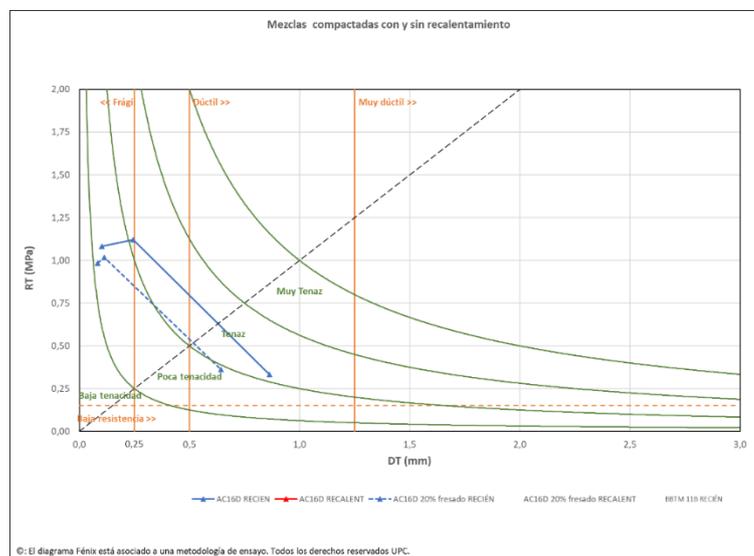


Gráfico 2: Fenix mezcla AC16D, con y sin recalentamiento..

Análisis resultados mezcla AC16D con y sin RA. Con la mezcla recalentada.

El tipo de comportamiento es similar al de la mezcla AC16D recién fabricada, es decir, el añadir RA a la mezcla implica una reducción de la ductilidad y un pequeño incremento de la resistencia a tracción. En el caso de la mezcla recalentada, las diferencias entre el material con RA y sin él son menores que en la mezcla que no ha sufrido recalentamiento.

- No se cumplirían los requisitos de DT de la NT01/2022 y tampoco los de DTxRT.

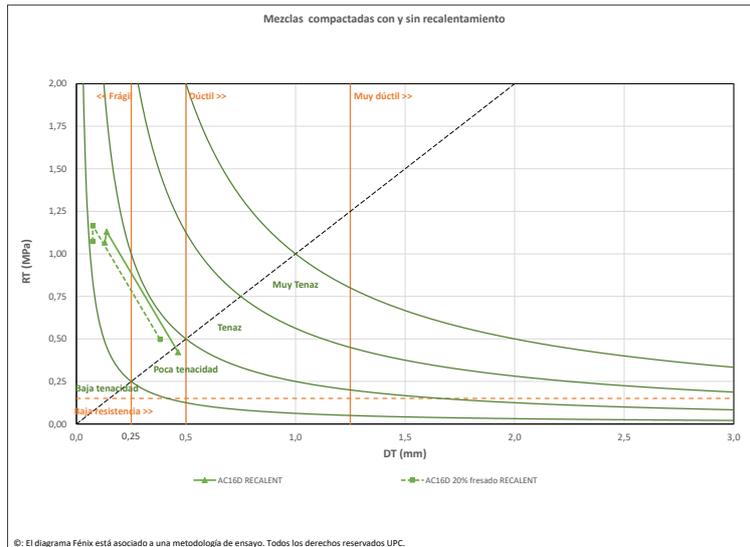


Gráfico 3: Fenix mezcla AC16D R20, con y sin recalentamiento..

### Análisis resultados mezcla AC 16D. Influencia del recalentamiento.

El recalentamiento de la mezcla tiene una gran influencia en los parámetros obtenidos en el ensayo Fénix. Implica lo siguiente:

- En una misma mezcla, el recalentar hace disminuir la ductilidad y tenacidad, y aumenta ligeramente la resistencia a tracción.
- La mayor diferencia en resultados se obtiene al realizar el ensayo a 20°C. A temperaturas menores, la influencia del recalentamiento es menor.
- Las diferencias observadas implican que mezclas que en un principio podrían cumplir los requisitos de la NT01/2022, si se ensayan produciendo un recalentamiento en la mezcla, pasan a no cumplir dichos requisitos.

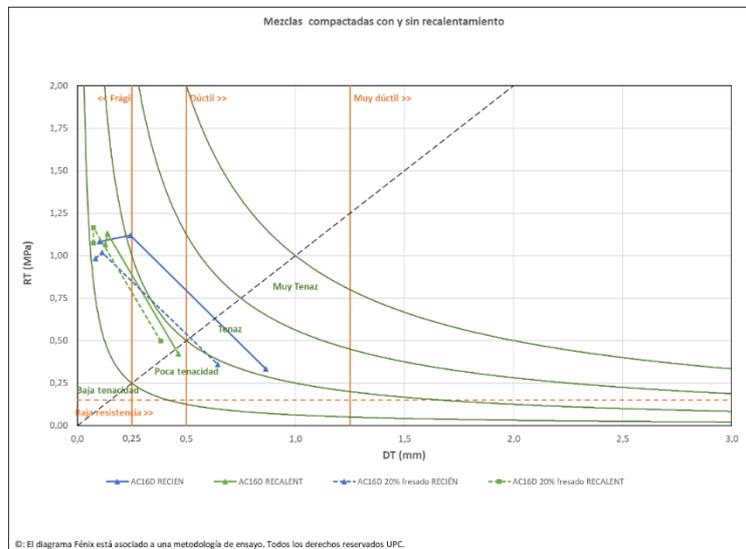


Gráfico 4: Fenix mezcla AC16D, con y sin RA con probetas fabricadas con la mezcla recién y con recalentamiento.

### Análisis de los resultados de la mezcla BBTM.

Se aprecia gran diferencia en los resultados entre la mezcla recién fabricada y la mezcla recalentada, disminuyendo la ductilidad y tenacidad para una misma temperatura de ensayo en la mezcla recalentada, y aumentando ligeramente la resistencia a tracción.

- Las diferencias son mayores a 20 y 5°C. a -5°C se aprecian pocos cambios.
- En cuanto a los requisitos recomendados en la NT01/2022, ambas mezclas cumplirían con el parámetro DT (>0.5 mm) a 5°C, aunque la mezcla recalentada estaría al límite. El parámetro DTxRT a 5°C lo cumplen ambas mezclas.

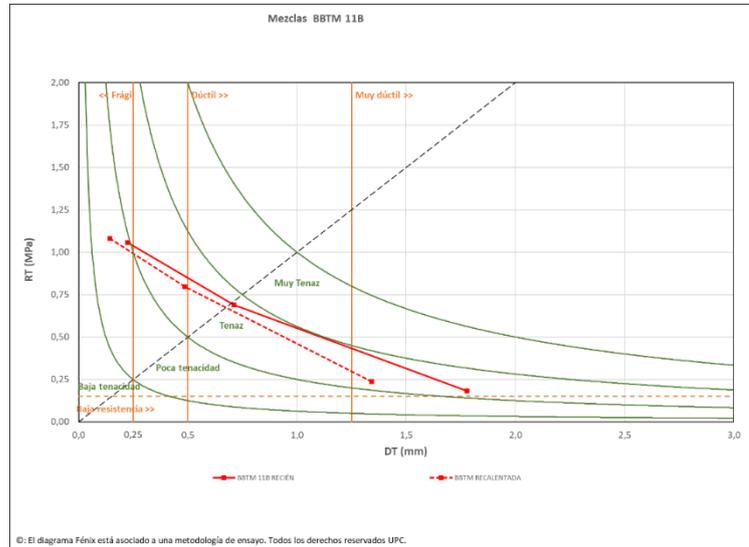


Gráfico 5: Fenix mezcla AC16D, con y sin RA con probetas fabricadas con la mezcla recién y con recalentamiento.

Comparativos resultados obtenidos en los ensayos para todas las mezclas.

Los resultados obtenidos por los 6 laboratorios participantes en el trabajo de anillo realizado son los siguientes:

Temperatura		-5°C		5°C		20°C	
Mezcla	Dato	Recién	Recal.	Recién	Recal.	Recién	Recal.
AC16 D	DT	0,102	0,129	0,244	0,138	0,864	0,464
	RT	1,083	1,067	1,120	1,131	0,333	0,422
	DTXRT	0,110	0,138	0,273	0,156	0,288	0,196
AC16 D 20% RA	DT	0,083	0,074	0,114	0,075	0,644	0,382
	RT	0,983	1,074	1,018	1,165	0,361	0,498
	DTXRT	0,082	0,079	0,116	0,087	0,232	0,190
BBTM 11B	DT	0,224	0,144	0,712	0,486	1,778	1,342
	RT	1,056	1,080	0,690	0,796	0,182	0,237
	DTXRT	0,237	0,156	0,491	0,387	0,324	0,318

Tabla 4. Todos resultados ensayo Fenix.

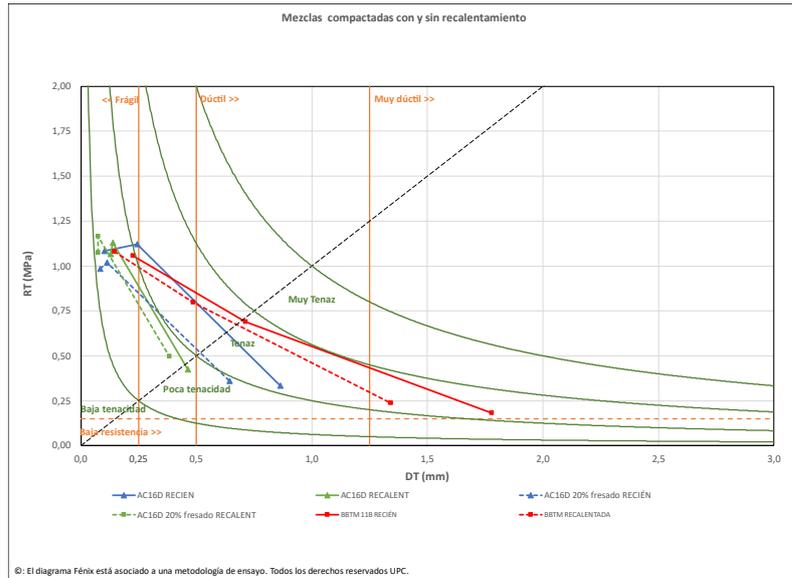


Gráfico 6: Fenix todas las mezclas ensayadas: AC16D, AC16D R20 y BBTM11B.

## CONCLUSIONES.

En la comunicación se han mostrado los resultados obtenidos de los trabajos realizados durante algo más de año y medio por un numeroso grupo técnicos de laboratorios y departamentos técnicos de distintas entidades de Aleas.

Para la caracterización de los materiales hay distinta tipología de ensayo, con varios métodos posibles que nos aportan información importante sobre las propiedades a medir. En la comunicación se muestra el equipamiento necesario para la realización de algunos ensayos, incluida una estimación del coste de los principales equipos, las propiedades que son importantes de las mezclas bituminosas y los ensayos que podemos emplear para la determinación de cada propiedad. Se han mostrado los recursos disponibles en 18 laboratorios miembros Aleas para un importante número de ensayos prestacionales.

Este tipo de ensayos son muy utilizados en todo el mundo como puede apreciarse en la información sobre la normativa internacional de varios países.

El anillo interlaboratorio realizado con el ensayo Fenix ha servido para realizar un trabajo comparativo de anillo con 3 tipos de mezclas diferentes en 7 laboratorios, comprobando la variación de las propiedades de ductilidad y tenacidad de los materiales ensayados. Para cada una de las mezclas se han sometido a un proceso de envejecimiento con un recalentamiento de la mezcla provocando que aparezcan valores distintos y por lo tanto la diferencia en sus propiedades dúctiles y tenaces, frente a la mezcla original.

Los resultados obtenidos en el anillo indican que debe prestarse una especial atención a la calibración y estado de los equipos utilizados, así como para la correcta ejecución de todas las fases del ensayo.

Mostrar el agradecimiento a todos los participantes que han intervenido en el desarrollo de este grupo de trabajo de ensayos prestacionales en Aleas.

# Entidades de Aleas.



**GOBIERNO DE ESPAÑA**  
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

**asefma**  
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**Arabako Foru Aldundia**  
Diputacióon Foral de Alava  
www.araba.eus

**cemosa**  
ingenieros y control

**kaol**  
Kao Mining & Beauty

**ADECASA**

**ORSA**

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**Ciesm+Intevia**  
INGENIEROS - LABORIOS - INVESTIGACIÓN - FORMACIÓN

**PROBISA**

**chm**

**COLLOSA**

**campezo**  
Comercialización y Servicios

**Junta de Andalucía**

**sorigué**

**MA**

**Consell de Mallorca**

**REPSOL**

**Becsa**

**UC**  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

**EIFFAGE**

**Región de Murcia**

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

**Comunidad de Madrid**

**Junta de Castilla y León**

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH**

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE GRANADA**

**UAX**  
UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO

**LOS SECRAMOS**

**PAVASAL**

**PABASA**

**POLITÈCNICA**

**Tecno:impulso**