

# ASFALTO

## y pavimentación

Número 55 · Volumen XIV · Cuarto trimestre · 2024

número **55**





**VIATOP<sup>®</sup>** *plus RC*

Das Pellet.

.....

con un rejuvenecedor  
sostenible para mezclas con  
mayores tasas de fresado



Número 55 · Volumen XIV  
Cuarto trimestre · 2024

#### ASFALTO Y PAVIMENTACIÓN

##### Director

Juan José Potti

##### Comité de Redacción

María del Mar Colás,  
Andrés Costa, Jesús Felipo,  
Jacinto Luis García Santiago,  
Lucía Miranda, José Luis Peña,  
Ángel Sampredo, José Antonio Soto,  
Javier Loma, Marisol Barral

##### Secretario

Andrés Pérez de Lema

##### Coordinador

Francisco Muriel

##### Secretaría

Lies Ober

##### Editorial Prensa Técnica, S. L.

Castiello de Jaca, 29 3º Puerta 2  
28050 Madrid  
Tel. 91 287 71 95  
Fax 91 287 71 94  
Directo 629 877 460  
www.asfaltopavimentacion.com  
asfalto@asfaltopavimentacion.com

##### Suscripción anual (4 números)

España: 10 €  
Extranjero: 12 €

ISSN: 2174-2189  
Depósito Legal: M21967-2011

Prohibida la reproducción, total o parcial,  
de los contenidos aparecidos en esta  
publicación sin previa autorización  
por escrito.

Las opiniones vertidas en esta revista  
son de responsabilidad exclusiva  
de sus autores, sin que Editorial Prensa  
Técnica, S. L. los comparta  
necesariamente.

# Sumario

Número 55 · Volumen XIV · Cuarto trimestre · 2024

## Editorial

El papel de las carreteras en la gestión  
de desastres naturales

05

## Tribuna

Juan José Potti

07

## Tribuna

Ricardo Bardasano

09

## Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

11

Jossue Torres Sotelo - Jonathan De Santiago Marquez -  
Pedro Limón Covarrubias - Alondra Vanessa López  
Candelario - Itzel Aceves Becerra

## Secciones fijas

Ensayos, Normativa

23

## Diseño de mezclas bituminosas auto-sensorizadas

Freddy Richard Apaza Apaza - Federico Gulisano -  
Damaris Cubilla - Rafael Jurado-Piña - Gustavo Boada -  
Parra - Juan Gallego

29

## Secciones fijas

Mirando al Pasado, Calendario, Noticias del Sector,  
Resumen XIX Jornada Nacional de ASEFMA, Aleas,  
Lecturas Recomendadas, I+D, Digitalización del Sector,  
Afirmaciones Asfálticas

41

# We did it!

Ya es posible satisfacer los  
requerimientos del MITMA  
para las fibras:

¡INNOCELL® FG3000 cumple!



Ravago Chemicals primera empresa en obtener el Documento de Idoneidad Técnica (DIT) de sus fibras INNOCELL® FG3000, siguiendo las directrices que se establecen en el artículo 544 del anexo de la OC 3/2019.

# El papel de las carreteras en la gestión de desastres naturales

Quinto Salustio es el autor de una frase lapidaria: "Siempre es tarde cuando se llora". Acabamos de sufrir una de las mayores catástrofes acaecidas en España, como consecuencia de un Desastre Natural, que está afectando, especialmente, a las provincias de Valencia y Albacete. Esta tragedia ha puesto en evidencia una serie de circunstancias que pueden disminuir o acrecentar los efectos devastadores que hemos visto a través de los medios audiovisuales, redes sociales etc. y que han supuesto pérdidas de vidas humanas, destrucción de viviendas, negocios que nunca volverán a funcionar, servicios públicos que tardarán en restablecerse, y un sinnúmero de calamidades que, desgraciadamente, irán saliendo.

Visto lo visto, podemos afirmar que estamos ante uno de las mayores tragedias que es capaz de sufrir un país. Por supuesto no vamos a entrar en si se podía haber evitado o minimizado el desastre o de quién es la culpa, pero sí vamos a entrar en el papel que han podido tener una red de carreteras adecuada en la gestión de esta DANA.

Nadie puede negar que las carreteras sean unas infraestructuras fundamentales para el buen funcionamiento, en el día a día, de la sociedad y especialmente en el protagonismo que asumen ante desastres naturales de cualquier tipo, bien sean inundaciones, incendios, terremotos etc. El colapso que puede producirse por culpa de una red de carreteras insuficiente o mal conservada, ante una inundación como la sufrida en estas zonas, afecta tan negativamente a las ayudas que se puedan enviar como a la evacuación de afectados, y hace que el número de fallecidos y la destrucción de viviendas y enseres se dispare exponencialmente.

La primera enseñanza, ante lo acaecido, podría ser la necesidad de actualizar los planes de mantenimiento ante las emergencias; se debe asegurar que las carreteras sean capaces de soportar lluvias torrenciales y acontecimientos extremos como los ocurridos para lo cual, es muy importante invertir en sistemas de drenajes adecuados, refuerzos de puentes y, en fin, en una conservación preventiva de la red viaria.

La segunda enseñanza, para cuando se haya producido la catástrofe, es que la gestión de emergencias funcione adecuadamente, por lo que ha de contar con el apoyo de una red de carreteras adecuada por la que se reciban las ayudas o bien puedan salir los heridos a los hospitales cercanos. Se debe disponer de rutas alternativas bien señalizadas, con la capacidad de realizar intervenciones rápidas ante bloqueos previsibles y esto nos llevaría a una buena coordinación entre las diferentes administraciones, los servicios de emergencia y ciudadanía, con la implantación de tecnologías avanzadas para la monitorización, en tiempo real, del estado de las carreteras. No hay que olvidar tampoco que la destrucción de puentes y caminos vecinales, en zonas de difícil acceso, puede obstaculizar gravemente las operaciones de rescate.

Y cuando algo de todo esto falle, es fundamental la reacción y ayuda inmediata de sectores especializados, como ha ocurrido en este caso con el sector de Fabricantes de Mezclas Asfálticas, porque si alguien sabe de cómo se deben tratar las carreteras son las empresas que se dedican a proyectarlas, construirlas, y conservarlas. La respuesta del sector, fue inmediata, ofreciendo maquinaria, personal, y medios de transporte para conseguir, lo antes posible, la normalización de las zonas afectadas.

Cuanto antes puedan estar operativas las vías de

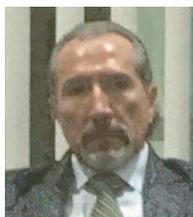
comunicación antes tendremos la posibilidad de que los equipos de rescate, ambulancias, transporte de alimentos y medicinas puedan llegar rápidamente a los damnificados; ante estos desastres cada minuto cuenta para salvar o no una vida. Si las carreteras se encuentran en buenas condiciones la respuesta al problema fluirá de una manera mucho más rápida, por lo que estas deben ser resilientes ante fenómenos meteorológicos extremos y poder garantizar la accesibilidad durante las emergencias. Si las carreteras están construidas con materiales de calidad y se conservan adecuadamente, la capacidad de resistir el daño se incrementa y así, en momentos de crisis, poder seguir siendo operativas.

Para conseguir esa vuelta a la normalidad, nadie mejor que las empresas constructoras que tienen medios materiales y humanos y saben cómo reconstruir los desperfectos ocasionados por la DANA en las vías de comunicación.

Como conclusión ante este desastre sería deseable que, los responsables políticos vean la importancia de contar con una red de carreteras en buen estado para, ante situaciones como la vivida en esas zonas, los posibles daños sean mínimos. La rapidez en la distribución de ayudas, la evacuación de damnificados y la reducción de los costos operativos dependen directamente de la calidad y el mantenimiento de las infraestructuras viales. En tiempos de emergencia las carreteras, no solo son un medio de transporte, sino una herramienta crucial para salvar vidas y minimizar el sufrimiento de las personas afectadas. Es imperativo que las autoridades, tanto a nivel local como nacional, prioricen inversiones y la planificación de medidas preventivas para garantizar que, cuando llegue el momento de actuar, la red de carreteras esté lista para enfrentarse a cualquier desafío.

Si se planifican y construyen adecuadamente, no solo las carreteras y puentes, sino también una red de presas de laminación en los múltiples barrancos para que “domestiquen” las crecidas torrenciales, dejaremos de utilizar la frase con la que iniciábamos este Editorial.

# Durabilidad y criterios de fallo



**José José Potti**  
 Presidente Ejecutivo de Asefma  
 y Presidente de EAPA

 @jjpotti

Una de las preocupaciones más importantes en la Ingeniería de Pavimentos es sin lugar a dudas el establecimiento de los criterios de fallo de una determinada estructura del firme. Matthew W. Witczak, una de las figuras más importantes y responsable del desarrollo de la Guía AASHTO 2002 para el diseño de pavimentos asfálticos nuevos y rehabilitados, afirmaba que: *“La Ingeniería de Pavimentos es el arte de usar materiales que no entendemos totalmente, en formas que no podemos analizar con precisión, para que soporten cargas que no sabemos predecir, de modo que nadie sospeche de nuestra ignorancia”*.

Hace apenas unos días el Director General de Carreteras del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, D. Juan Pedro Fernández Palomino, ha firmado la orden circular 03/2024 sobre *“Cálculo de la huella de carbono (etapas de A1 a A5) de la construcción o rehabilitación de firmes”*.

Del conjunto de impactos ambientales, en esta Orden Circular se tiene en cuenta, como primer paso, el cálculo de la huella de carbono a partir de la medida de los “Gases de efecto invernadero”. El objetivo es que el dimensionamiento de la construcción o rehabilitación de un firme se haga, además de siguiendo los distintos criterios básicos recogidos en la correspondiente normativa, con criterios ambientales.

Por tanto, además de la justificación técnico-económica de la solución adoptada en fase de proyecto, el cálculo de la huella de carbono debería ser un parámetro adicional a considerar, como primer paso; si bien la decisión del proyectista debe soportarse además en un análisis global de la **durabilidad** estimada de las dis-

tintas alternativas (bien sea apoyándose en los resultados del sistema de gestión de firmes implantado, en la consideración de escenarios de conservación o en la experiencia).

En definitiva, la **durabilidad** de las distintas alternativas estimada por el proyectista sigue siendo un criterio clave en la elección de la solución y permite interpretar de forma equilibrada los resultados de huella de carbono a la puesta en servicio de la obra obtenidos con los criterios recogidos en esta Orden Circular, entre tanto sea posible completar el análisis del ciclo de vida con las restantes fases.

Ahora bien, llegado a este punto, es evidente que más allá de las preocupaciones técnicas y de los criterios de diseño tanto de las estructuras proyectadas como de las mezclas diseñadas basados en la minoración de los criterios de fallo al proyectista tenemos que darle datos relativamente simples para poder estimar esa **“durabilidad teórica”** y facilitarles esa información.

No se trata tanto de disponer de la última versión de la guía AASHTO para el diseño de firmes, ni tan siquiera de los últimos conocimientos acerca del criterio de fallo de los materiales que conforman la estructura que estamos considerando sino de pura estadística.

Dicho de otro modo, lo que tenemos que facilitar a los proyectistas no se trata tanto en profundizar en las razones por las cuales la genética influye en la esperanza de vida, sino de tener a mano y actualizado el dato estadístico, como hacen las compañías de seguros, de la esperanza de vida.

Es preciso investigar en alargar esa esperanza de vida o **durabilidad** y para ello debemos recurrir a las

## Durabilidad y criterios de fallo

mejores herramientas sobre criterios de diseño y a los criterios de formulación más adecuados, pero al proyectista tenemos que facilitarle simplemente la información más sencilla y actualizada.

Ese exactamente ha sido mi mensaje y mi petición en la última reunión del Comité Ejecutivo de EAPA. Necesitamos actualizar “la esperanza de vida” o **durabilidad** de los tipos de mezclas bituminosas existentes en la actualidad y no solo dar el valor medio, sino el rango de dispersión de cada unos de los tipos de mezclas existentes en la actualidad desde todos los países europeos. El último documento actualizado por EAPA fue del año 2006, y de eso ya hace más de 18 años y han sido muchos los avances que se han producido en nuevos materiales bituminosos, en tecnología de extendido y compactación, en digitalización del proceso de pavimentación y en criterios de control. Es preciso disponer de datos estadísticos simples y actualizados para nuestros proyectistas avalados por una entidad como EAPA.

“Necesitamos actualizar “la esperanza de vida” o durabilidad de los tipos de mezclas bituminosas existentes en la actualidad y no solo dar el valor medio, sino el rango de dispersión de cada unos de los tipos de mezclas existentes en la actualidad desde todos los países europeos”

#95

### AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“La renovación periódica del pavimento asfáltico permite mantener una rodadura suave, durable y de la misma calidad que un firme nuevo”

#INGENIERÍA

# ¿Te gusta conducir? Exige buenas carreteras.



Hace años, BMW lanzó un anuncio que planteaba una simple pregunta: “¿Te gusta conducir?”. Aquella cuña publicitaria evoca una época en la que la experiencia de conducir era sinónimo de libertad y placer. Hoy, la realidad nos presenta un escenario muy distinto: carreteras en condiciones deplorables se han convertido en un auténtico territorio de obstáculos. Conducir se ha transformado en una constante gymkana: esquivamos baches, cambiamos de carril para evitar zonas irregulares y tratamos de descifrar las marcas viales, apenas visibles por el desgaste especialmente en la noche o bajo condiciones meteorológicas adversas.

Pero la deficiente conservación de las carreteras tiene también repercusiones que trascienden la incomodidad al volante. El mal estado del firme no es solo una molestia: **tiene graves repercusiones económicas, ambientales y, sobre todo, en la seguridad vial.** Esto exige una urgente reconsideración de nuestra actitud como sociedad.

El impacto económico es significativo y multifacético. El aumento de visitas a los talleres mecánicos para reparar daños causados por **el mal estado del firme genera un incremento en los costes de mantenimiento** de los vehículos. Los neumáticos, por ejemplo, sufren un desgaste prematuro provocado por las irregularidades del pavimento, y las piezas de los sistemas de suspensión y dirección requieren ser reemplazados más a menudo. A esto se suma la pérdida de valor de los vehículos por los desperfectos sufridos. En definitiva, el mal estado de las carreteras genera un coste

económico oculto pero sustancial que recae directamente sobre los ciudadanos.

En cuanto al impacto ambiental, está demostrado que **un firme en mal estado incrementa el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero** de los vehículos. Además, el desgaste mecánico genera un impacto adicional que aumenta la huella ambiental a través del consumo de recursos, la generación de residuos y las emisiones contaminantes asociadas a las reparaciones. Es este un aspecto que muchas veces olvidamos al hablar de sostenibilidad, centrando la conversación solo en las emisiones directas del transporte.

El riesgo más preocupante del deterioro del firme (en general, de la carretera) es su impacto en la seguridad. **Un firme en mal estado puede causar accidentes** directamente (por pérdida de control o averías mecánicas), pero también indirectamente, al forzar maniobras evasivas que aumentan el riesgo de colisión o de salida de vía. Resulta paradójico que, a pesar de ser esta una realidad innegable, algunas instituciones minimicen la importancia de este problema, llegando incluso a ignorar el papel fundamental que juegan las infraestructuras en la siniestralidad. **La carga de la responsabilidad al conductor bajo el argumento de la "velocidad inadecuada al estado de la vía" es una simplificación reduccionista**, que exime de toda culpa a las Administraciones competentes. Tal postura no solo es injusta, sino que desvía la atención e impide la adopción de medidas eficaces para mejorar la seguridad vial, a través de la adecuada conservación y man-

## ¿Te gusta conducir? Exige buenas carreteras.

tenimiento de las carreteras. Esta es sin duda una obligación ineludible de las Administraciones, que deben velar por la seguridad de los usuarios.

La planificación (si puede llamarse así) de las obras de conservación también resulta cuestionable. Con demasiada frecuencia, **las rehabilitaciones llegan tarde y se limitan a parches superficiales** que apenas prolongan la vida útil de la vía a corto plazo. Estas intervenciones, insuficientes y con poca o nula visión a largo plazo, son un despilfarro de recursos públicos. Reparar de manera cíclica sin una estrategia integral es una gestión completamente ineficiente. En un contexto de austeridad y de creciente exigencia de responsabilidad en la gestión de fondos públicos, la pregunta sobre si estas prácticas rozan la mala administración, o incluso la malversación, es inevitable.

Pero, más allá de las cuestiones técnicas y económicas, en las que seguramente todo el sector estemos de acuerdo, **el silencio social ante el deterioro de nuestras infraestructuras es quizás el aspecto más preocupante**, dando la sensación de que hemos asumido el deterioro de las infraestructuras como una realidad inevitable. En el pasado, hace no tantos años, un bache o un blandón en el firme generaban quejas e indignación ciudadanas, llegando incluso a la movilización en pro de su reparación. Hoy, este deterioro es una constante que hemos llegado a normalizar; poco levantamos la voz ante un sistema vial que necesita urgentemente atención y cuidado. Esta complacencia **envía un mensaje de conformidad** hacia aquellos responsables políticos que tienen el poder de cambiar la situación, quienes priorizan otras áreas relegando el mantenimiento vial a un segundo plano, un error del que seguimos sin aprender.

La necesidad de un cambio es urgente. **Unas carreteras en buen estado no son un lujo, sino un derecho fundamental que afecta directamente a la seguridad, la economía y la sostenibilidad.** Los ciudadanos debemos exigir a las Administraciones competentes la asignación de los recursos necesarios para el mantenimiento y la renovación de las infraestructuras viales, y asegurar que estos recursos se inviertan de manera **eficiente y transparente**. Esto es, con planes de mante-

nimiento a largo plazo que eviten las soluciones “parche” y prioricen la inversión en infraestructuras duraderas, seguras y respetuosas con el medio ambiente.

Insistir en estas cuestiones se convierte en **un deber cívico para salvaguardar nuestra propia seguridad y también para preservar el bienestar de las futuras generaciones.** Solo reclamando activamente unas infraestructuras de calidad podremos acabar con la situación actual y evitar que el mantenimiento de las carreteras se convierta en una sucesión de intervenciones cosméticas que enmascaran los problemas estructurales y que suponen gasto económico, accidentes y una elevada huella ambiental. Y, además, conseguiremos que conducir **deje de ser una obligación tediosa para volver a ser una experiencia que podamos disfrutar plenamente.**

Es hora de que la vergüenza cambie de bando: que la responsabilidad de la seguridad vial recaiga también, como debe ser, sobre quienes tienen el poder y la obligación de garantizar unas carreteras en buen estado. Los ciudadanos debemos exigirlo con firmeza, porque **nuestra seguridad no puede depender de nuestra capacidad de adaptarnos a la precariedad vial.**

# Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

Jossue Torres Sotelo

jtorres@apcl.mx

Jonathan De Santiago Marquez

Jdsm\_0103@hotmail.com

Pedro Limón Covarrubias

pedro.limon@academicos.udg.mx

Alondra Vanessa López Candelario

alopez@apcl.mx

Itzel Aceves Becerra

itzelaceves.01@gmail.com

La necesidad de someter los pavimentos flexibles a cantidades elevadas de tránsito que sobrepasan los niveles requeridos de proyecto como también la exposición a las condiciones climatológicas adversas generan que en la carpeta asfáltica presente fallos como: fisuras, grietas por fatigamiento, baches, estos se consideran como los principales mecanismos de falla en los pavimentos asfálticos haciendo esto el recurrente mantenimiento de la carpeta asfáltica y provocando así que no cumpla con la vida útil de proyecto

En este artículo se evaluó el comportamiento del valor de Jnr de 8 asfaltos (7 asfaltos PG 76 – 16 y 1 asfalto PG 64 – 22), mediante el análisis de dos tipos de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas. El primero, mediante el ensayo (SCB) se determinó el agrietamiento (energía de fractura e índice de flexibilidad) por el método de la universidad de Illinois y la rueda cargada de Hamburgo (HWT) que determina la deformación permanente de dichas mezclas asfálticas. El segundo mediante Ideal Cracking (IDEAL CT) siendo este un nuevo método para la medición del agrietamiento en mezclas asfálticas y la rueda cargada de Hamburgo (HWT).

De los resultados obtenidos, se analizó el efecto de los ligantes asfálticos en el valor de Jnr y en los ensayos mecánicos se compararon las roderas, los ensayos de agrietamiento (SCB e Ideal CT). Otro objetivo fue la correlación del valor de Jnr, respuesta elástica (RE) y recuperación elástica por torsión con las pruebas de desempeño, en rueda cargada de Hamburgo, índice de flexibilidad e ideal cracking.

**Palabras Clave:** Ideal Cracking, Asfalto modificado, BMD, Jnr

The need to subject flexible pavements to high amounts of traffic that exceed the required project levels, as well as exposure to adverse weather conditions, causes failures in the asphalt layer such as: fissures, fatigue cracks, potholes, these are considered as the main failure mechanisms in asphalt pavements, resulting in recurring maintenance of the asphalt layer and thus causing it to not meet the useful life of the project.

In this article, the behavior of the Jnr value of 8 asphalts (7 asphalts PG 76 - 16 and 1 asphalt PG 64 - 22) was evaluated by analyzing two types of balanced design (BMD) of asphalt mixtures. The first, through the (SCB) test, the cracking (fracture energy and flexibility index) was determined by the method of the University of Illinois and the Hamburg loaded wheel (HWT) that determines the permanent deformation of said asphalt mixtures. The second is through Ideal Cracking (IDEAL CT), this being a new method for measuring cracking in asphalt mixtures and the Hamburg loaded wheel (HWT).

From the results obtained, the effect of asphalt binders on the Jnr value was analyzed and in the mechanical tests the ruts and cracking tests (SCB and Ideal CT) were compared. Another objective was the correlation of the Jnr value, elastic response (RE) and elastic recovery due to torsion with the performance tests, in a loaded Hamburg wheel, flexibility index and ideal cracking.

**Keywords:** Ideal Cracking, Modified Asphalt, BMD, Jnr

# Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos asfálticos sufren diferentes fallos en los cuales son principalmente la deformación y el agrietamiento. Esto conlleva que con el paso del tiempo el pavimento se vaya deteriorando y sufra un cambio en la carpeta asfáltica, se comience a fracturar y que tenga un daño que no se logre reparar con un tratamiento superficial, sino que la única opción es su reconstrucción nuevamente.

El agrietamiento es un mecanismo de falla en el cual un pavimento tiende a deteriorarse, provocando pequeñas grietas que mediante cargas de tránsito elevadas (excedidas en algunos de los casos) y algunos factores como son el clima provocan que los pavimentos comiencen a tener fisuras superficiales que con el paso del tiempo se vayan al interior del pavimento provocando su desgaste.

Algunas de las causas se deben a estos deterioros en los pavimentos es a: inadecuado proyecto, mal diseño de mezclas asfáltica, calidad de los materiales no sea la adecuada o el proceso constructivo del mismo hace que presente estos tipos de fallos.

En la actualidad la mayoría de los diseños de mezclas asfáltica se aplican con un asfalto modificado del cual se tiene comprobado que les mejoran las propiedades mecánicas a la mezcla asfáltica, la resistencia aumenta, disminuye su deformación permanente, su elasticidad es mayor y a largo plazo presentan un mejor desempeño mecánico, es por ello que es de suma importancia la aplicación correcta en la selección del asfalto para el diseño de un pavimento que cumpla al desempeño mecánico en deformación permanente y en agrietamiento.

## 2. OBJETIVO

Evaluar el valor de Jnr de diferentes asfaltos modificados y observar su desempeño mediante ensayos mecánicos y de desempeño como son: SCB índice de flexibilidad (FI) e ideal cracking (IDEAL CT) y rueda cargada de Hamburgo con diferentes contenidos de asfalto y proponer unos diseños balanceados en la cual la mezcla cumpla en agrietamiento como en rodera.

## 3. PLAN EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo el estudio se desarrolló un plan de trabajo de 3 fases, la cual consistió en la primera fase la modificación de los asfaltos para este caso se trabajaron con 2 polímeros muy usados en el ámbito los cuales fueron el SBS y el RET. También se trabajó con el ácido polifosfórico que funciona como un modificador del asfalto que ayuda a cambiar sus propiedades reológicas, y para concluir con la selección de los asfaltos se agregó uno último el cual fue un asfalto oxidado mediante inyección de aire que funciona como un promotor de endurecimiento, todos los asfaltos se modificaron PG 76 – 16 a excepción del sin modificar PG 64 - 22 esta fase concluyó con las pruebas en calidad del asfalto las cuales fueron: Recuperación elástica por torsión, Jnr y respuesta elástica (%RE)

La segunda fase consistió en la fabricación de los especímenes para los diferentes ensayos de desempeño propuestos a analizar. En la fabricación de los especímenes de SCB y rueda cargada de Hamburgo se propuso que se trabajaran 3 contenidos de asfalto los cuales fueron: el % óptimo, % óptimo + 0.5% y % óptimo – 0.5%, con la finalidad de observar el comportamiento en las mezclas asfálticas en cuestión del contenido de asfalto, para los ensayos de ideal Cracking se trabajó únicamente con el óptimo de asfalto.

La tercera fase de experimentación fue el cálculo y análisis de resultados obtenidos, en el cual se obtuvieron las energías de fractura e índice de flexibilidad de las mezclas SCB y también se determinó la deformación permanente en rueda cargada de Hamburgo haciendo ahí el primer diseño balanceado que es Índice de flexibilidad vs Deformación en la rodera. El segundo caso de diseño balanceado fue con IDEAL CT vs Deformación de la rodera únicamente con el óptimo de asfalto en las mezclas asfálticas fabricadas, como se observa en la figura 1.

## 4. METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN

### 4.1 Calidad de los cementos asfálticos

Existe una norma mexicana para los análisis de los cementos asfálticos la cual determina la calidad de estos

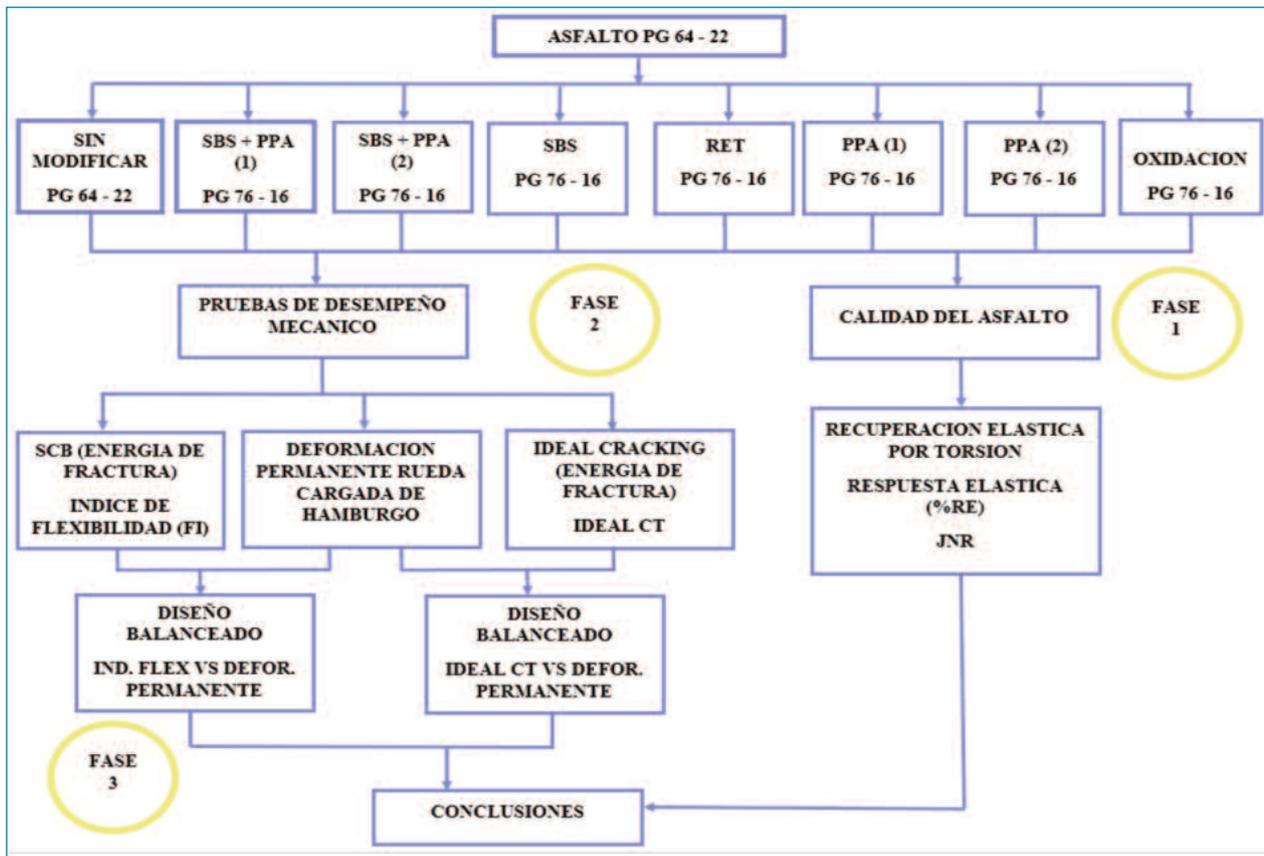


Figura 1. Plan experimental

mismos.

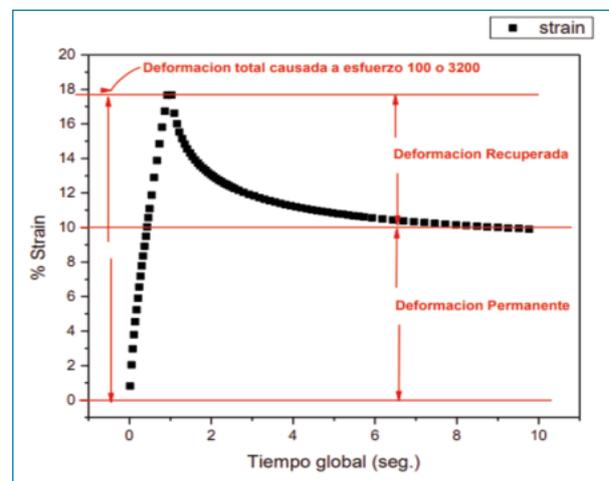
El grado PG del asfalto se obtiene mediante la reología del cemento asfáltico, caracterizando su temperatura de falla del mismo.

Para el análisis de los cementos asfálticos tomamos en consideración el grado PG, Jnr, recuperación elástica por torsión y % de respuesta elástica.

#### 4.2 Deformación no recuperable (Jnr)

Para predecir el desempeño del asfalto en un pavimento y que este cumpla con la vida útil diseñada existe un parámetro efectivo y probado. Jnr es la deformación no recuperable (deformación permanente) generada al aplicar una unidad de esfuerzo. Donde a menor Jnr, menor será la deformación permanente al aplicar una carga. [1]. Esta prueba o valor se obtiene mediante el uso del reómetro de corte, mediante el MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery). El Jnr su valor se caracteri-

za por una letra, la cual, esta letra se considera con base al nivel de tráfico que sería el diseño del pavimento asfáltico.



Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

**TABLA 2.- Requisitos de calidad para cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) y nivel de ajuste**

GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Temperatura máxima del pavimento <sup>[1]</sup> , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento <sup>[1]</sup> , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
<b>Cemento asfáltico original</b>								
Punto de inflamación Cleveland <sup>[2]</sup> , °C, mín.	230							
Viscosidad rotacional 135°C <sup>[2]</sup> , Pa·s, máx.	3							
Punto de reblandecimiento <sup>[2]</sup> , °C, mín.	48				55			
Separación, diferencia anillo y esfera <sup>[2]</sup> , °C, máx.	-				2			
Recuperación elástica por torsión 25°C <sup>[2]</sup> , %, mín.	-				35			
Módulo reológico de corte dinámico <sup>[2]</sup> (G*/sen δ) <sup>[2]</sup> , kPa, mín.	1,0							
- Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
<b>Después de envejecimiento en horno RTFO <sup>[2]</sup></b>								
Pérdida por calentamiento <sup>[2]</sup> , %, máx.	1,0							
Recuperación elástica en ductilómetro <sup>[5]</sup> , 25°C, %, mín.	-				75			
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) <sup>[2]</sup> , kPa, mín.	2,2							
- Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
Traffic Normal "S", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup> - Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [4]</sup> ; kPa-1, máx.	4,0							
- Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
- Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [6]</sup> ; %, mín.	-				25			
Traffic Alto "H", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup> - Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [4]</sup> ; kPa-1, máx.	2,0							
- Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
- Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [6]</sup> ; %, mín.	-				25			
Traffic Muy Alto "V", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup> - Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [4]</sup> ; kPa-1, máx.	1,0							
- Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
- Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [6]</sup> ; %, mín.	-				30			
Traffic Extremadamente Alto "E", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup> - Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [4]</sup> ; kPa-1, máx.	0,5							
- Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
- Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [6]</sup> ; %, mín.	-				40			

Figura 2. Requisitos de calidad cementos asfálticos

Temperatura	Intensidad de tráfico (en ejes equivalentes)	Grado	"J <sub>nr,3200</sub> "	RE <sub>3200</sub> (%)
Seleccionada de acuerdo al mapa de regiones geográficas (zonas por clima)		No cumple	> 4	
	< 3 millones	Estándar (S)	2 a 4	≥0
	> 3 < 10 millones	Pesado (H)	1 a 2	≥25
	> 10 < 30 millones	Muy pesado (V)	0,5 a 1	≥30
	> 30 millones	Extremo (E)	≥ 0,5	≥40

### 4.3 Rueda cargada de Hamburgo

La rueda cargada de Hamburgo nos permite evaluar la susceptibilidad a la deformación permanente y al daño inducido por humedad en mezclas asfálticas en caliente, usando especímenes bajo la acción de una rueda oscilante en el equipo de rueda de Hamburgo [2]. El ensayo se realizó de acuerdo a la norma AASHTO T324 (2016), los especímenes de mezcla asfáltica previamente acondicionados y sumergidos en agua dentro del equipo a  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ , con 7% de vacíos  $\pm 1$  [2].



Figura 3. Rueda de Hamburgo

### 4.4 Ensayo SCB

El ensayo SCB se implementó para estudiar la resistencia al agrietamiento y la fractura de mezclas asfálticas en Estados Unidos. El ensayo SCB es un procedimiento rápido, preciso y confiable el cual nos permite conocer la carga máxima y el desplazamiento a la carga máxima que podrá ser capaz de resistir una mezcla asfáltica en la capa del pavimento (carpeta asfáltica) antes de llegar a la falla [3]. Se utilizó el nuevo método de prueba AASHTO TP124 *Standard Método of Test for Determining the Fracture Potential of Asphalt Mixtures Using the Flexibility Index Test (FIT)*.

### 4.5 Índice de Flexibilidad (FI)

El índice de flexibilidad es un resultado que refleja la fragilidad que contienen las mezclas asfálticas, que se obtiene partiendo de la curva carga – desplazamiento en



Figura 4. Ensayo SCB

este caso del ensayo SCB [4].

En este artículo se utilizó el software desarrollado por la universidad de Illinois (I-FIT), en el cual mediante este software se capturaron los datos de la geometría de los especímenes analizados en el ensayo SCB y el registro de los datos de carga y desplazamiento que nos proporciona el ensayo semicircular Bending [5].

### 4.6 Diseño balanceado (BMD)

El Diseño Balanceado de Mezclas Asfálticas, es una nueva forma de diseño de mezcla asfáltica en el cual se evalúa el Índice de flexibilidad (SCB e ideal CT) vs la deformación permanente (en este caso rueda cargada de Hamburgo). La grafica de la Figura 5 está dividida en cuatro cuadrantes, en los cuales se identifica qué características tiene la mezcla asfáltica analizada y si esta puede o no ofrecer una adecuada serviciabilidad.

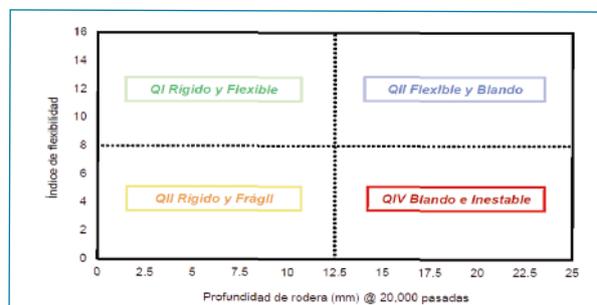


Figura 5. Gráfica para evaluar las características de las mezclas asfálticas [6]

A continuación, se describe cada uno de los cuadrantes

# Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

tes de la siguiente manera:

- **Rígido y flexible:** Mezclas asfálticas con bajo potencial de agrietamiento y alta resistencia frente a las deformaciones plásticas.
- **Flexible y blando:** mezclas asfálticas con suficiente capacidad para soportar el agrietamiento, pero potencialmente susceptibles a la formación de rodadas.
- **Rígido y frágil:** mezclas asfálticas sumamente resistentes a la deformación permanente, pero al mismo tiempo, bastante frágiles al agrietamiento
- **Blando e inestable:** mezclas asfálticas extremadamente deformables y vulnerables al agrietamiento con insuficiente capacidad para soportar las repeticiones de carga a cualquier temperatura.

tos y la facilidad de ejecución. Este análisis se realiza en base a la normativa ASTM D 8225, se recomienda un valor mínimo de IDEAL CT de 70 [7].

## 5.RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1 Calidad de asfaltos analizados

Como se observa en la tabla 1 todos los cementos asfálticos cumplen con el PG 76 a excepción del cemento asfáltico original el cual es nuestro punto de partida y el cual se usará a un PG 64 – 22. Los cementos asfálticos (asf. oxidado y el PG 64 – 22) no cumplen con el valor mínimo de recuperación elástica por torsión la cual es 35%. De igual manera los únicos cementos asfálticos que cumple con la respuesta elástica (%RE) por reóme-

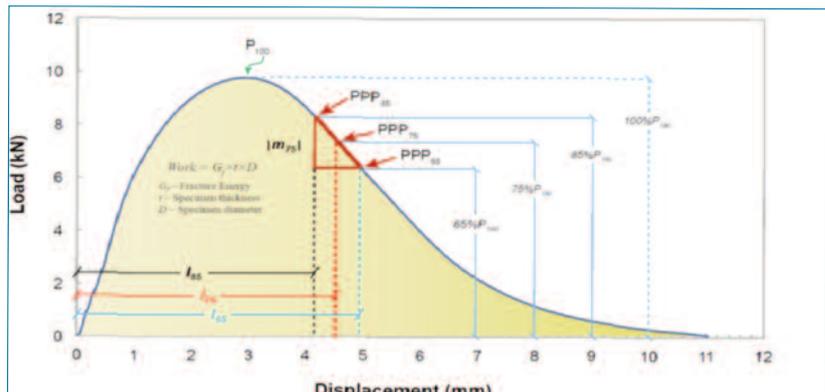


Figura 6. A) ensayo ideal cracking b) curva carga – desplazamiento

Tabla 1. Tabla 1. Análisis de asfaltos

Asfaltos modificados	Temperatura de falla °C	G*/Senδ] (kPa)	Rec. elástica por torsión (%)	Resp. elas. (%RE)	Valor de Jnr a 3.2 Kpa
PG64-22	68.9	1.48	8.8	1.23	2.857
SBS+PPA(1)	86.7	1.85	55.5	49.11	0.263
SBS+PPA(2)	80.6	1.72	48.3	13.2	1.535
PPA (1)	80.3	1.55	13.3	15.79	1.31
PPA (2)	76.8	1.36	12.7	73.75	0.124
RET + PPA	81.7	1.81	45	75.59	0.173
SBS	81.6	1.45	50	21.67	1.39
Asf.oxidado	77.6	1.45	11.6	3.79	1.713

### 4.7 Ideal Cracking

El ideal cracking es un ensayo en el cual se puede medir el agrietamiento de las mezclas asfálticas, ha tenido buena aceptación ya que no es un ensayo muy cos-

tro son los modificados SBS + PPA (1), PPA (2) y RET siendo su valor mínimo.

### 5.2 Energía de fractura SCB asfaltos analizados

Como se observa en la figura 6, las mezclas fabricadas con los 3 contenidos de cemento asfáltico mostraron resultados muy similares en la energía de fractura, mostrando así que en las mezclas asfálticas el ensayo SCB no se ve reflejado un cambio muy significativo el aumento o disminución del contenido de asfalto. El asfalto oxidado y el asfalto PPA (2) fueron los que obtuvieron de las mayores energías de fractura esto gracias a la rigidez del asfalto, el SBS + PPA (1) fue el que obtuvo la mayor energía de fractura.

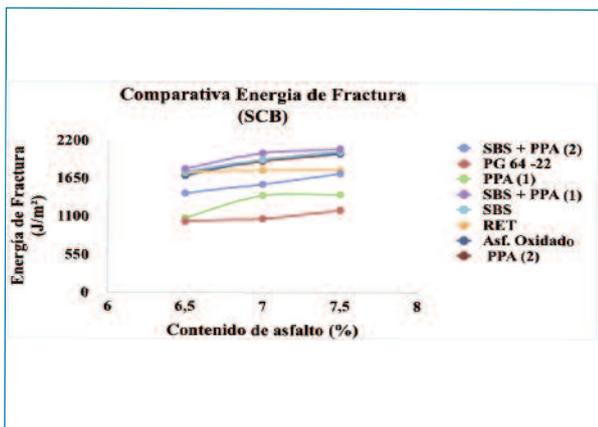


Figura 7. Resultados de energía de fractura SCB de los diferentes asfaltos

### 5.3 Índice de flexibilidad SCB asfaltos analizados

Como se muestra en la figura 7, en las mezclas asfálticas cuando su contenido de asfalto aumenta su valor de índice de flexibilidad es mayor, siendo muy pocos los asfaltos modificados que llegan a cumplir con su valor mínimo de 8 de índice de flexibilidad, los cuales fueron el asfalto modificado con SBS, SBS + PPA (1) y SBS + PPA (2). Mencionando que el uso de SBS en la modificación de asfalto mejora eficazmente su elasticidad.

### 5.4 Rueda cargada de Hamburgo de asfaltos analizados

Como se analiza en la figura 8, en algunas mezclas asfálticas que contienen el 0.5% más que el óptimo de

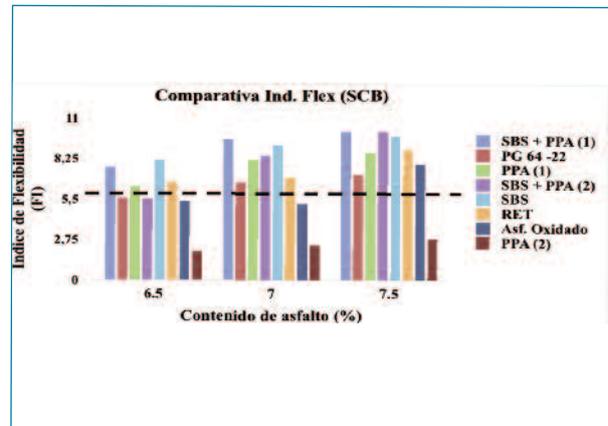


Figura 8. Resultados de índice de flexibilidad de los diferentes asfaltos analizados

asfalto presentan mayor deformación, esto nos da a entender que no siempre es mejor que las mezclas asfálticas se dosifique un poco más del asfalto requerido, también se logra apreciar que los asfaltos que tuvieron un mejor comportamiento en la recuperación elástica por torsión son los que mostraron una deformación más constante en sus contenidos encontrando así una correlación entre estos ensayos (Rueda cargada de Hamburgo y recuperación elástica por torsión) logrando así no pasar de una deformación máxima de 6mm.

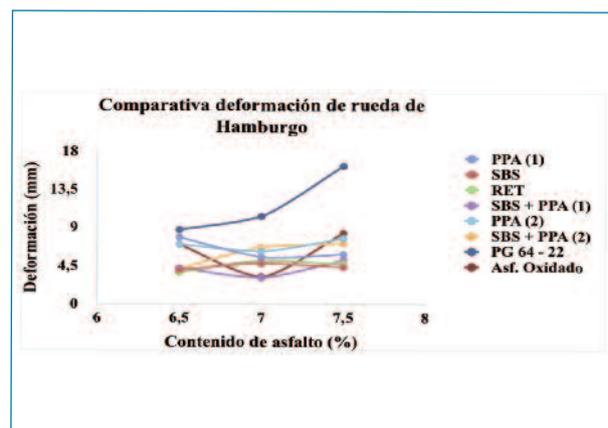


Figura 9. Resultados de deformación permanente HWT de los diferentes asfaltos

### 5.5 Ideal cracking comparativas curva carga – desplazamiento de asfaltos analizados al % óptimo de asfalto

Como se logra apreciar en la figura 9, el asfalto modi-

## Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

ficado con RET fue el que mostró la carga más alta, sin embargo, una vez que llega a su resistencia máxima y falla, la grieta se propaga rápidamente. Por otro lado, el asfalto modificado con SBS + PPA, aunque no haya obtenido la carga mas alta muestra una mayor resistencia a la fractura observándose en su curva que conserva el valor pico más tiempo y su caída es mas lenta siendo mas resistente a la propagación de la grieta.

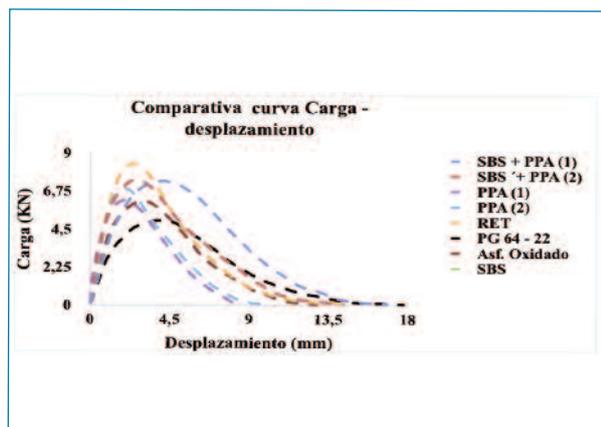


Figura 10. Resultados de carga – desplazamiento de asfaltos analizados

### 5.6 Ideal CT de asfaltos analizados con el 7.0% de asfalto

Como se observa en la figura 10, los asfaltos modificados con SBS + PPA fueron los que obtuvieron un mayor valor de IDEAL CT, por otro lado, los asfaltos modificados con PPA fueron los que obtuvieron los valores más bajos siendo estos menores de 70 que es el valor mínimo de IDEAL CT.

### 5.7 Diseño Balanceado Índice de flexibilidad vs Rodera (6.5%)

Como se muestra en la figura 11, todas las mezclas analizadas con los diferentes asfaltos cumplen en rodiera, pero únicamente el asfalto modificado con SBS es el que cumple en deformación e índice de flexibilidad.

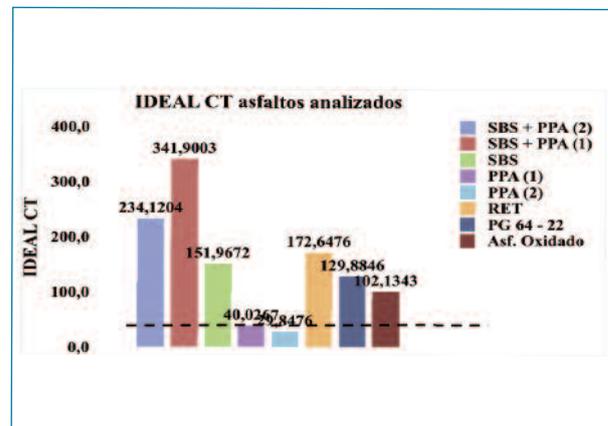


Figura 11. IDEAL CT de asfaltos analizados

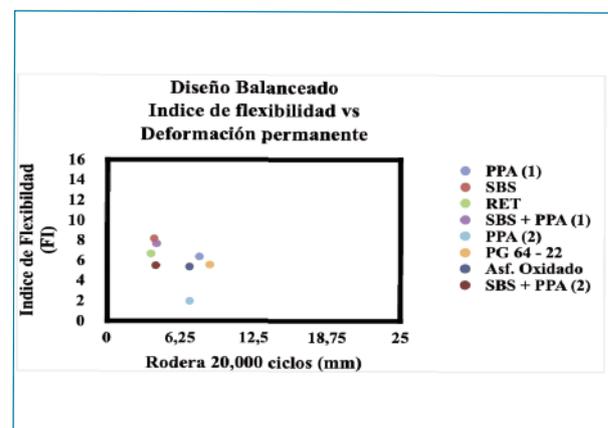


Figura 12. Diseño balanceado índice Flexibilidad vs rodera al 6.5% de asfalto

### 5.8 Diseño Balanceado Índice de flexibilidad vs Rodera % Optimo de asfalto (7.0%)

Como se observa en la figura 12, todos los asfaltos cumplen con la deformación permanente permitida en rodiera, pero no todos cumplen con el índice de flexibilidad, únicamente 4 asfaltos son los que cumplieron los cuales fueron: SBS + PPA (1), SBS + PPA (2), PPA (1) y SBS.

### 5.9 Diseño Balanceado Índice de flexibilidad vs Rodera (7.5%)

Como se logra apreciar en la figura 13, el único asfalto que no cumple tanto en índice de flexibilidad como en deformación permanente es el PG 64 – 22.

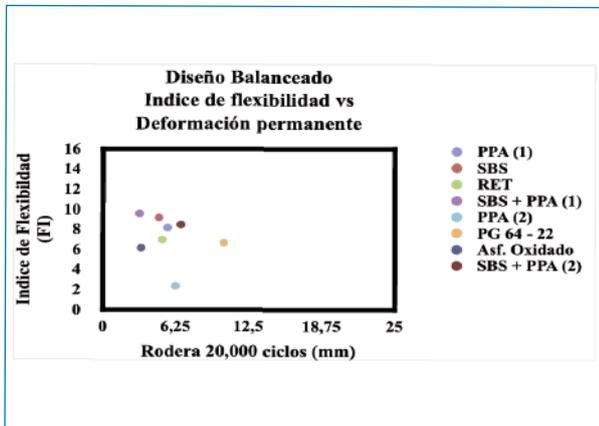


Figura 13. Diseño Balanceado Índice de flexibilidad vs Rodera 7.0% de asfalto

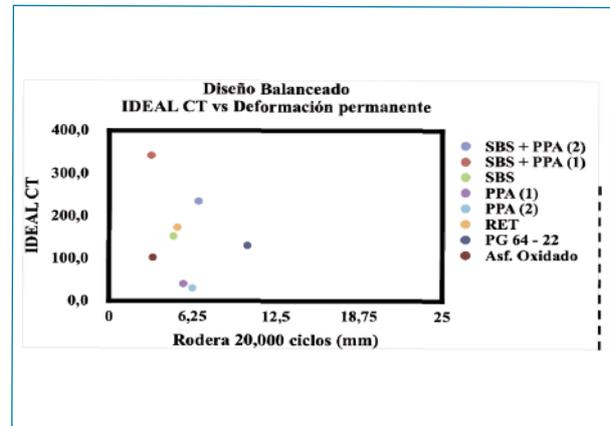


Figura 15. Diseño balanceado IDEAL CT vs rodera al 7.0 % de asfalto

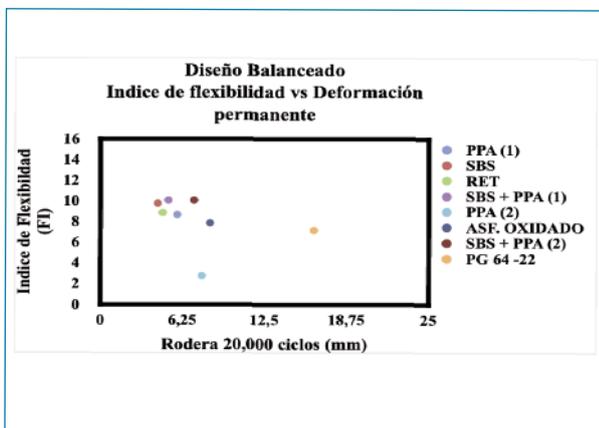


Figura 14. Diseño balanceado índice de Flexibilidad vs rodera al 7.5% de asfalto

### 5.10 Diseño Balanceado IDEAL CT vs Rodera % óptimo de asfalto (7.0%)

Como se muestra en la figura 14, todos los asfaltos

cumplieron con deformación permanente al % óptimo de asfalto y en valor de IDEAL CT (70 mínimo) los únicos que no cumplieron fueron los modificados con PPA siendo estos los que no cumplen con los resultados requeridos para un diseño balanceado propuesto IDEAL CT vs rodera.

## 6. CORRELACIONES

### 6.1 Correlaciones Recuperación elástica por torsión vs ensayos de desempeño mecánico

Como se observa en la figura 15, el modelo lineal propuesto para correlacionar la recuperación elástica por torsión (%) vs los ensayos de desempeño mecánico no se obtuvo un valor de R2 tan favorable, únicamente hay

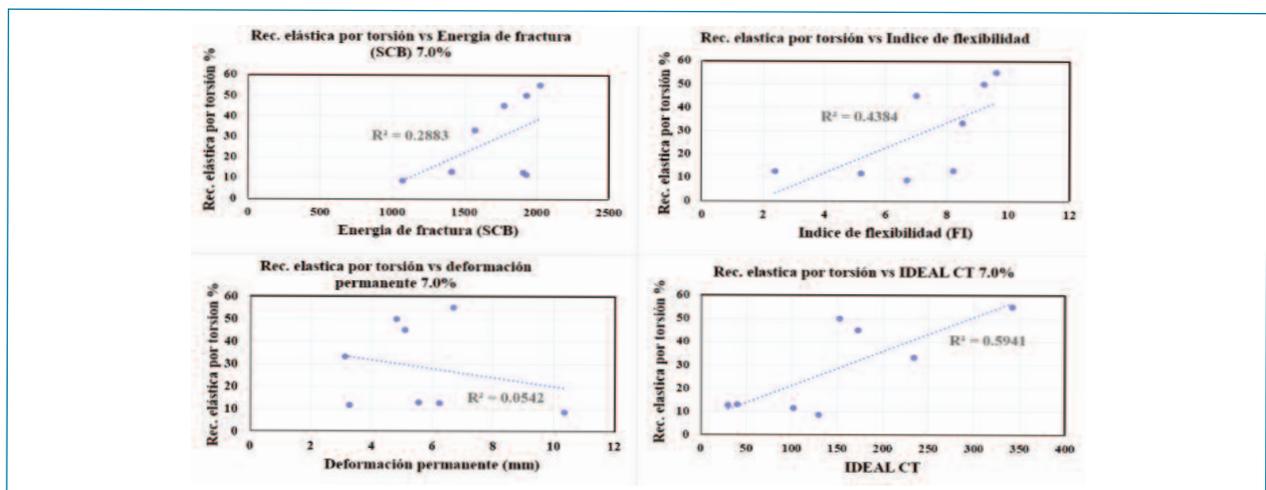


Figura 16. Correlaciones recuperación elástica por torsión vs ensayos de desempeño

# Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

una correlación mayor al 0.5 de R2 en el IDEAL CT.

## 6.2 Correlaciones valor Jnr vs ensayos de desempeño mecánico

Como se observa en la figura 16, el modelo lineal propuesto para correlacionar el valor de Jnr vs los ensayos de desempeño mecánico, en los ensayos para medir el agrietamiento en índice de flexibilidad, rueda cargada de Hamburgo e IDEAL CT su valor de R2 no es considerable ya que fue muy bajo.

propuesto para correlacionar el Respuesta Elástica (%RE) vs los ensayos de desempeño mecánico, no muestra un valor de R2 aceptable, es muy bajo en todos los ensayos propuestos anteriormente analizados.

## 7. CONCLUSIONES

1. La energía de fractura obtenida por SCB de los asfaltos modificados no muestra mucha diferencia entre ellos mismos, los valores son muy similares entre sí, por otra parte, la dosificación de un contenido mayor o me-

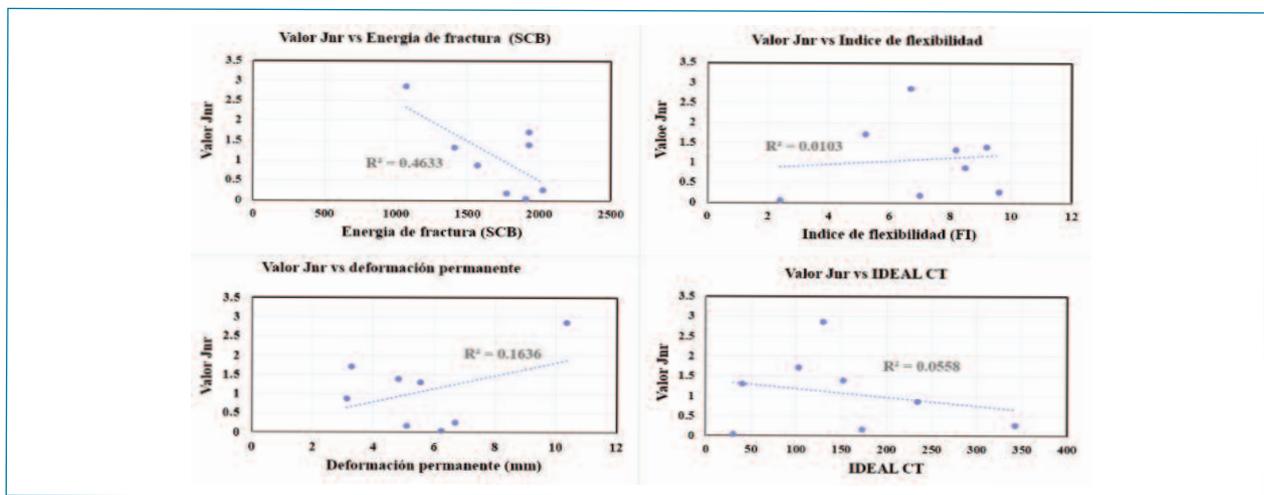


Figura 17. correlaciones valor Jnr vs ensayos de desempeño

## 6.3 correlaciones Respuesta elástica (%RE) vs ensayos de desempeño mecánico

Como se observa en la figura 17, el modelo lineal

nor en el asfalto respecto al óptimo (7.0%) no muestra un incremento considerable.

2. No todos los asfaltos cumplen con el valor mínimo de índice de flexibilidad al porcentaje óptimo de as-

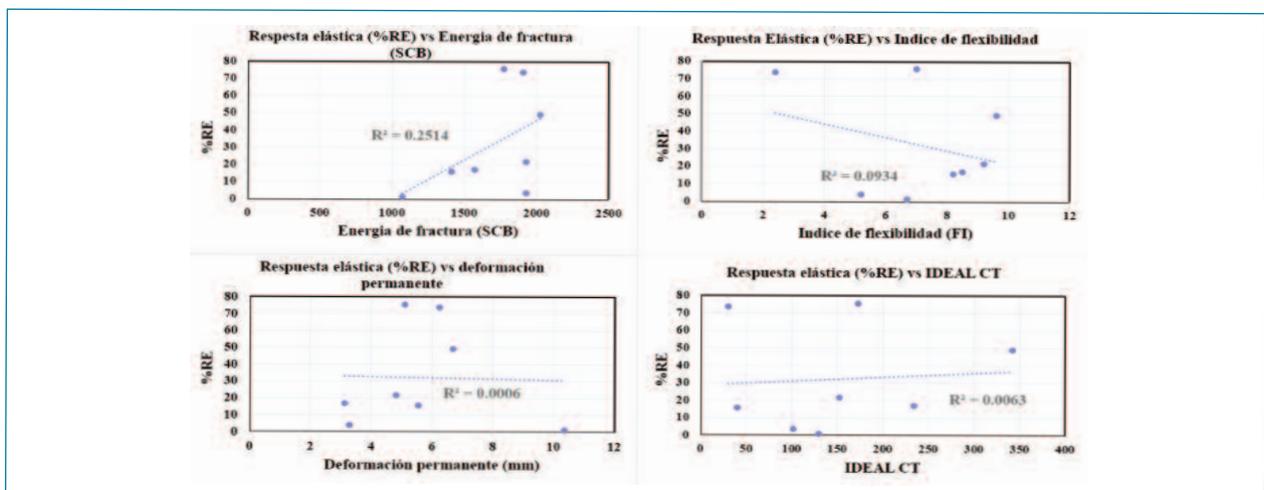


Figura 18. Correlaciones respuesta elástica (%RE) vs ensayos de desempeño

falto (7.0%) únicamente 3 cumplen, mostrando así que en cuestión de agrietamiento algunos asfaltos modificados son más efectivos que otros, sin embargo, cuando a las mezclas asfálticas se les dosifica un porcentaje mayor al óptimo de asfalto su valor de índice incrementa.

3. La deformación en rueda cargada de Hamburgo de las mezclas asfálticas analizadas a los diferentes contenidos de cemento asfáltico muestra un comportamiento similar a excepción del asfalto PG 64-22 el cual tuvo la deformación más crítica. Observando que cuando hay un incremento de cemento asfáltico en las mezclas su deformación aumenta.

4. En los resultados obtenidos la mayoría de los asfaltos analizados cumplen con el valor mínimo de IDEAL CT al óptimo de asfalto (7.0%) siendo 6 de los 8 analizados, esto muestra que en comparativa con el SCB en índice de flexibilidad este método de IDEAL CT es más tolerante en cuestión de rangos mínimos de agrietamiento.

5. En los 3 casos de diseño balanceado se observa un cambio en el incremento del índice de flexibilidad, únicamente los asfaltos que no cumplen con el mínimo de índice (8) son el PPA (2) y el asfalto oxidado, por otra parte, en deformación permanente en único que no cumple es el PG 64 – 22 al 7.5%

6. En el caso del diseño balanceado ideal CT vs rodadura los únicos asfaltos que no cumplen con el valor propuesto de ideal CT (70) es el PPA (1) y PPA (2), cabe mencionar que a los asfaltos mejor le fueron son los modificados con SBS + PPA.

7. La prueba de recuperación elástica por torsión fue la que obtuvo los resultados favorables con el parámetro de índice de flexibilidad y con el ensayo de agrietamiento de IDEAL CT el más alto ya que el valor de R2 es mayor a 0.6.

8. Aunque el valor de Jnr es un ensayo que no se correlaciona con la deformación en la rodadura en los asfaltos analizados se obtuvo un resultado favorable en el ensayo de SCB siendo este de R2 mayor a 0.5.

9. La prueba de recuperación elástica por torsión es la que se recomienda para en futuras investigaciones ser comparada con los diferentes ensayos de agrietamiento o de deformación permanente que existen para su estudio.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sandoval Navarro, I. & Cremades Ibáñez, I. (2013), "Evolución del grado PG en la caracterización de Asfalto", Publicado en 8vo Congreso Mexicano del Asfalto, México.
- [2] Ayala Y. (2021) Comportamiento mecánico de materiales asfálticos a deformación permanente, Chihuahua, México.
- [3] Paredes L., Reyes J., & Camacho F. (2013) Comportamiento de mezclas asfálticas densas a partir del ensayo de viga semicircular simplemente apoyada. Bogotá, Colombia.
- [4] Al-Qadi, I. L., Ozer, H., Lambros, J., El Khatib, A., Singhvi, P., Khan, T., . . . Doll, B. (2015, Diciembre 15). IDEALS. Illinois Digital Environment for Access to Learning and Scholarship
- [5] Illinois Center for Transportation. (2017). Illinois Center for Transportation: <https://apps.ict.illinois.edu/software/>
- [6] Ochoa Ambriz, L. A. (2019). Influencia de la compactación en el desempeño mecánico de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con pavimento asfáltico recuperado (RAP). Tesis de maestría (Primera ed.). Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- [7] Zhou, F. (2019, enero). Development of an IDEAL Cracking Test for Asphalt Mix Design, Quality Control and Quality Assurance. NCHRP IDEA Program, 1–40.

# — RODILLOS AMMANN, POTENCIA, EFICIENCIA Y DURABILIDAD EN CUALQUIER TERRENO

Los rodillos Ammann, distribuidos por Ascendum, ofrecen la solución perfecta para todo tipo de compactación.

Con tecnología de vanguardia y un diseño robusto, estos equipos garantizan máxima eficiencia en terrenos exigentes. Ya sea para obras de construcción o proyectos de infraestructura, los rodillos Ammann destacan por su fiabilidad, durabilidad y óptimo rendimiento.

Confía en la experiencia de Ascendum para llevar tu productividad al siguiente nivel con equipos líderes en el mercado.

*Ascendum y Ammann, la simbiosis perfecta para maximizar el rendimiento de tus operaciones.*

[www.ascendum.es](http://www.ascendum.es)



# Pr-EN 12697-54 (2019) Curado de probetas para ensayo de mezclas con emulsión bituminosa

Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en frío

Javier Loma, javierloma@padecasa.com

Padecasa

## 1. OBJETO Y PRINCIPIO DEL ENSAYO

Método empleado para el diseño y la caracterización de mezclas bituminosas recicladas en frío con emulsión en base al ensayo de sensibilidad al agua, evaluando el efecto que tiene el agua sobre la cohesión de la mezcla.

## 2. MÉTODO OPERATIVO

Se deben preparar 8 probetas cilíndricas, con la misma edad de fabricación, con diámetros de  $80 \pm 2$  mm,  $100 \pm 3$  mm,  $120 \pm 3$  mm,  $150 \pm 3$  mm o  $160 \pm 3$  mm. La relación diámetro probeta para el tamaño máximo árido es la siguiente:

Diámetro probetas	Tamaño máximo del árido
80 mm	11 mm
100 mm	22 mm
120 mm	31,5 mm
150 y 160 mm	40 mm

**Compactación.** Las probetas se compactan mediante un sistema de compactación estática, según norma UNE-EN 12697-56, con aplicación de carga constante para alcanzar un esfuerzo de 7,6 MPa durante  $300 \pm 5$  s, La esbeltez de la probeta debe ser 1.

**Curado.** Las probetas se desmoldan el mismo día y se introducen en una estufa de aire forzado a  $40 \pm 1$  °C

durante 72 horas. Se sacan y se dejan enfriar durante un tiempo mínimo de 2 horas y se determina su densidad. No deben pasar más de 5 días entre el final del curado y el acondicionamiento.

**Acondicionamiento.** Se divide en dos bloques de probetas:



Imagen 1. Mezclado en laboratorio.

- Probetas secas. Se introducen en la cámara durante 72 horas, en aire, a una temperatura de  $25 \pm 1$  °C.
- Probetas húmedas. Se introducen en agua y se aplica el vacío para obtener una presión absoluta ( $47 \pm 3$  kPa) durante  $60 \pm 5$  min. Durante la inmersión el nivel del agua estará 20 mm por encima de las probetas. Se miden las probetas mediante la norma UNE EN 12697-29, calculando su volumen registrando en el informe cuando sea una diferencia superior al 2 %. Las probetas se introducen en la cubeta de agua durante 3 días (72 horas) a  $25 \pm 1$  °C.

Se toma el peso de la probeta sumergida y su peso superficie seca saturada, sss, para el cálculo de la den-

# Pr-EN 12697-54 (2019) Curado de probetas para ensayo de mezclas con emulsión bituminosa

idad aparente.

Rotura. Se realiza a compresión y se mide la fuerza del lote en húmedo  $F_w$  y del lote en seco  $F_D$  con una resolución de 0,2 kN.

Cálculos. Relación de la resistencia a compresión  $i/C$ :

$$\frac{i}{C} = 100 \times \frac{C_w}{C_d}$$

$C_w$  Promedio de la resistencia a compresión del lote en húmedo, en MPa

$C_d$  Promedio de la resistencia a compresión del lote en seco, en MPa



Imagen 2. Rotura a compresión simple.

## 3. EQUIPAMIENTO

Prensa de ensayo para rotura compresión simple capaz de aplicar la carga requerida para una velocidad de deformación de  $50 \pm 2$  mm/min. Los platos de carga deben ser de acero, planos y con superficies endurecidas.

Sistema de vacío capaz de generar una presión residual de  $47 \pm 3$  kPa y que pueda mantener el vacío durante  $120 \pm 10$  min.

Cámara climática para mantener las probetas a una temperatura de  $25 \pm 1$  °C.

Estufa de aire reforzado capaz de mantener una temperatura constante de  $40 \pm 1$  °C.

Equipo de compactación de probetas descrito en la

UNE EN 12697-56.

## 4. PUNTOS CRÍTICOS

En este documento faltan por definir las condiciones de preparación de la mezcla, antes de compactar, muy importante para las mezclas con emulsiones (tiempos, curado, etc...).

La norma aporta valores de precisión del método de ensayo para mezclas en caliente (UNE EN 12697-12) con una metodología similar pero no se ha establecido para mezclas fabricados con emulsión.

Para la preparación de las probetas según la norma UNE-EN 12697-12 y esta norma UNE 41215 no se emplean los mismos sistemas de compactación por lo que pueden aportar valores diferentes.

## 5. CONCLUSIONES

Este procedimiento utilizado en esta norma es similar al empleado durante muchos años denominado ensayo de inmersión-compresión de la normativa NLT 162.

Es un ensayo sencillo que permite evaluar la cohesión de las mezclas fabricadas con emulsión, dato de gran importancia para asegurar su comportamiento.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- UNE EN 12697-6. Determinación de la densidad aparente de probetas bituminosas.
- UNE EN 12697-29. Determinación de las dimensiones de las probetas bituminosas.
- UNE EN 12697-56. Preparación de probetas mediante compactación estática.

*La determinación de la sensibilidad al agua mediante un procedimiento de rotura a compresión simple para mezclas recicladas en frío, permite evaluar la cohesión de la mezcla frente a la acción del agua mediante una metodología sencilla y con un equipamiento habitual en los laboratorios.*

# Últimas actualizaciones en legislación, normativa y otras disposiciones

En esta sección se lista la actualización de la legislación y otras disposiciones, las normas EN que se han publicado, así como las nuevas normas que se han incluido para su revisión y que se encuentran en proyecto, para diferentes materiales relacionados con las mezclas bituminosas (áridos, ligantes bituminosos y mezclas).

En esta entrega se recoge el listado de normas desde el 9 de septiembre hasta el 25 de noviembre de 2024.

## BETUNES Y LIGANTES BITUMINOSOS (COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 51/SC1)

### NORMATIVA EN PROYECTO

- **PNE- prEN 1426 (Última publicación año 2015). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la penetración con aguja
- **PNE- prEN 1427 (Última publicación año 2015). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento. Método del anillo y bola
- **PNE- prEN 12594 (Última publicación año 2015). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Betunes y ligantes bituminosos. Preparación de las muestras de ensayo
- **PNE- prEN 12597 (Última publicación año 2015). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Betunes y ligantes bituminosos. Terminología
- **PNE- prEN 12607-1 (Última publicación año 2015). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la resistencia al endurecimiento por efecto del calor y del aire. Parte 1: Método RTFOT (película fina y rotatoria)
- **PNE- prEN 15626 (Última publicación año 2016). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la adhesividad de los ligantes bituminosos fluidificados y fluidificados
- **PNE- prEN 16659 (Última publicación año 2016). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Betunes y ligantes bituminosos. Ensayo de fluencia-recuperación bajo múltiples esfuerzos repetidos (ensayo MSCR).
- **PNE- FprCEN/TR 18114 (Norma nueva). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Betunes y ligantes bituminosos. Sostenibilidad. Revisión sobre cómo abordar la información ambiental

## MEZCLAS BITUMINOSAS (COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 41/SC2)

### NORMATIVA APROBADA

- **UNE-EN 15466-1 (Publicada en septiembre de 2024).** Productos de imprimación para productos de sellado de juntas aplicados en frío y en caliente. Parte 1: Determinación de la homogeneidad.
- **UNE-EN 15466-2 (Publicada en septiembre de 2024).** Productos de imprimación para productos de sellado de juntas aplicados en frío y en caliente. Parte 2: Determinación de la resistencia contra el álcali.
- **UNE EN 15466-3 (Publicada en septiembre de 2024).** Productos de imprimación para productos de sellado de juntas aplicados en frío y en caliente. Parte 3: Determinación del contenido de sólidos y del comportamiento frente a la evaporación de sustancias volátiles.

### MEZCLAS BITUMINOSAS (COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 41/SC2)

#### NORMATIVA EN PROYECTO

- **PNE-EN ISO 11819-1 (última publicación año 2002). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Acústica. Medición de la influencia de las superficies de carretera sobre el ruido del tráfico. Parte 1: Método estadístico del paso de vehículos
- **PNE-prEN 12272-1 (última publicación año 2002). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Tratamientos superficiales. Métodos de ensayo. Parte 1: Índice y regularidad de la dispersión del ligante y de las gravillas.
- **PNE-prEN 12697-2 (última publicación año 2015). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la distribución granulométrica
- **PNE-prEN 12697-3 (última publicación año 2020). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 3: Recuperación de betún. Evaporador rotatorio
- **PNE-EN 12697-4 (última publicación año 2015). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 4: Recuperación de betún: Columna de fraccionamiento
- **PNE-prEN 12697-16 (última publicación año 2017). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 16: Abrasión por neumáticos claveteados
- **PNE-EN 12697-22 (última publicación año 2020). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 22: Deformación en pista
- **PNE-EN 12697-26 (última publicación año 2018). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 26: Rigidez
- **PNE-EN 12697-31 (última publicación año 2020). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Métodos de ensayo. Parte 31: Preparación de la muestra mediante el compactador giratorio.
- **PNE-EN 12697-33 (última publicación año 2019). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 33: Elaboración de probetas con compactador de placa
- **PNE-prEN 12697-35 (última publicación año 2017). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 35: Mezclado en laboratorio
- **PNE-EN 12697-41 (última publicación año 2014). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 41: Resistencia a los fluidos de deshielo
- **PNE-EN 12697-43 (última publicación año 2014). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 43: Resistencia a los combustibles.
- **PNE-EN 12697-47 (última publicación año 2011). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 47: Determinación del contenido de cenizas de los asfaltos naturales
- **PNE-EN 12697-54 (norma nueva). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 54: Curado de las muestras para el ensayo de mezclas con emulsión de betún
- **PNE-prEN ISO 13473-5 (última publicación año 2010). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Caracterización de la textura de los pavimentos mediante el uso de perfiles de superficie. Parte 5: Determinación de la megatextura.
- **PNE-EN 13036-5 (norma nueva). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 5: Determinación de los índices de regularidad superficial longitudinal
- **PNE-EN 13036-8 (última publicación año 2008). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 8: Determinación de los índices de regularidad superficial transversal

## MEZCLAS BITUMINOSAS (COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 41/SC-2)

## NORMATIVA EN PROYECTO (continuación)

- **PNE-EN 13108-2 (última publicación año 2007). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 2: Hormigón bituminoso para capas muy delgadas
- **PNE-EN 13108-3 (última publicación año 2008). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 3: Mezclas bituminosas tipo SA
- **PNE-EN 13108-4 (última publicación año 2008). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 4: Mezcla bituminosa tipo HRA
- **PNE-EN 13108-5 (última publicación año 2008). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 5: Mezclas bituminosas tipo SMA
- **PNE-EN 13108-6 (última publicación año 2008). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 6: Másticos bituminosos
- **PNE-EN 13108-7 (última publicación año 2008). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 7: Mezclas bituminosas drenantes
- **PNE-EN 13108-20 (última publicación año 2009). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 20: Ensayos de tipo
- **PNE-EN 13108-21 (última publicación año 2009). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 21: Control de producción en fábrica
- **PNE-EN 13108-31 (norma nueva). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 31: Hormigón asfáltico con emulsión bituminosa
- **PNE-prEN 13880-3 (última publicación año 2004). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Productos de sellado aplicados en caliente. Parte 3: Métodos de ensayo para la determinación de la penetración y la recuperación (resiliencia)
- **PNE-prEN 13880-4 (última publicación año 2004). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Productos de sellado aplicados en caliente. Parte 4: Métodos de ensayo para la determinación de la resistencia al calor. Variación de la penetración
- **PNE-prEN 13880-5 (última publicación año 2006). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Productos de sellado aplicados en caliente. Parte 5: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la fluencia.
- **PNE 41265-2 IN (norma nueva). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Firmes de carreteras. Ejecución y control. Parte 2: Prefisuración de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos

## ÁRIDOS (COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 146/SC3)

## NORMATIVA EN PROYECTO

- **PNE-prEN 933-1 (última publicación año 2012). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método de tamizado
- **PNE-EN 933-6 (última publicación año 2014). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 6: Evaluación de las características superficiales. Coeficiente de flujo de los áridos
- **PNE-prEN 933-11 (última publicación año 2009). ESTADO: VERSIÓN EN INGLÉS Y ALEMÁN** Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate.

### ÁRIDOS (COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 146/SC3)

#### NORMATIVA EN PROYECTO (continuación)

- **PNE-prEN 1097-1 (última publicación año 2011). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 1: Determinación de la resistencia al desgaste (Micro-Deval)
- **PNE-EN 1097-6 (última publicación año 2014). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua
- **PNE-EN 1097-7 (última publicación año 2009). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 7: Determinación de la densidad real del filler. Método del picnómetro
- **PNE-EN 1744-4 (última publicación año 2014). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 4: Determinación de la sensibilidad al agua de los materiales de relleno para mezclas bituminosas
- **PNE-CEN/TS 17438 (Norma nueva). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Origen de los materiales considerados en el desarrollo de las normas de áridos del CEN/TC 154
- **PNE-prEN 17555-1 (Norma nueva). ESTADO: TRAMITACIÓN EN AENOR** Áridos para obras de construcción. Parte 1: Características
- **DIN EN 17555-2 (Norma nueva). ESTADO: EXISTE VERSIÓN EN INGLÉS Y ALEMÁN** Agregates for construction Works. Pat 2: Complementary information

### COMENTARIOS SOBRE LAS NORMAS

Desde la última publicación de la revista solo se han producido publicaciones de la serie de las normas UNE EN 15466 de productos para imprimación dentro del Comité Técnico de mezclas bituminosas.

# Diseño de mezclas bituminosas auto-sensorizadas

**Freddy Richard Apaza Apaza**

fr.aapaza@upm.es

**Federico Gulisano**

federico.gulisano@upm.es

**Damaris Cubilla**

damaris.cubilla@alumnos.upm.es

**Rafael Jurado-Piña**

rafael.jurado@upm.es

**Gustavo Boada-Parra**

gustavo.boada@upm.es

**Juan Gallego**

juan.gallego@upm.es

El monitoreo en tiempo real de las infraestructuras viales juega un papel fundamental en la digitalización del sector. El desarrollo de materiales auto-sensorizados capaces de generar datos sobre su propio estado estructural representa una solución innovadora para asistir a los gestores de carreteras en el proceso de toma de decisiones e implementar estrategias de mantenimiento predictivo. Sin embargo, el diseño de mezclas bituminosas auto-sensorizadas supone un desafío, ya que implica el uso de aditivos y ensayos de laboratorio no convencionales. El objetivo del presente trabajo es diseñar mezclas bituminosas con capacidades de auto-sensorización. Se incorporaron fibras de carbono en una mezcla bituminosa convencional, dotándola de propiedades de auto-sensorización basadas en los cambios en la resistencia eléctrica de la mezcla cuando está sometida a estímulos externos. Se llevaron a cabo diferentes ensayos mecánicos y electromecánicos para dosificar la mezcla y evaluar la posibilidad de utilizar este material como un sensor intrínseco de deformación y deterioro.

**Palabras Clave:** Auto-sensorización, mezcla bituminosa, monitoreo estructural, digitalización.

Real-time monitoring of road infrastructures plays a fundamental role in the digitalization of the sector. The development of self-sensing materials capable of generating data about their own structural state represents an innovative solution to assist road managers in the decision-making process and implement predictive maintenance strategies. However, designing self-sensing bituminous mixtures is challenging, as it involves the use of unconventional additives and laboratory tests. The objective of this work is to design bituminous mixtures with self-sensing capabilities. Carbon fibers were incorporated into a conventional bituminous mixture, endowing it with self-sensing properties based on changes in the electrical resistance of the mixture when subjected to external stimuli. Various mechanical and electromechanical tests were conducted to formulate the mixture and evaluate the feasibility of using this material as an intrinsic sensor of deformation and deterioration.

**Keywords:** Auto-sensing, bituminous mixture, structural monitoring, digitalization.

## 1. INTRODUCCIÓN

La digitalización de las infraestructuras viales es un desafío urgente para la transición hacia una movilidad segura, sostenible e inteligente. Se considera una herramienta esencial para la descarbonización del sector y para abordar las nuevas necesidades emergentes asociadas con vehículos conectados y automatizados.

Uno de los principales desafíos de la transformación digital es gestionar la enorme cantidad de datos generados por la infraestructura vial, desde su recopilación hasta la toma de decisiones. Por lo tanto, construir un ecosistema efectivo de gestión de datos es esencial para desarrollar sistemas inteligentes de monitoreo de carreteras.

El uso de sensores ubicados dentro de la infraestruc-

tura vial y en sus alrededores permite la recopilación automática de diversos datos útiles para el monitoreo del estado estructural de los firmes asfálticos [1].

Entre las diferentes tecnologías, el concepto de auto-sensorización tiene varias ventajas frente a la utilización de sensores embebidos, sobre todo debido a la compatibilidad con los materiales asfálticos y la durabilidad [2]. La auto-sensorización se refiere a la capacidad de un material para detectar de manera automática su propio estado estructural, sin la necesidad de sensores embebidos [3]. Estos materiales se diseñan incorporando una cierta cantidad de aditivos con capacidad de conductividad eléctrica, de tal manera que formen una extensa red conductora dentro del material estructural y le proporcionen funciones de autodetección, basadas en los cambios en la resistencia eléctrica de la mezcla cuando está sometida a estímulos externos [4]. Varios estudios recientes han demostrado que la incorporación de diferentes aditivos puede dotar a la mezcla bituminosa de capacidad de auto-sensorización.

Gulisano et al. [5,6] incorporaron nanoplaquetas de grafeno en la mezcla bituminosa, encontrando una relación lineal entre el estado de tensión del material y su propia resistencia eléctrica. Otros investigadores han estudiado las propiedades de auto-sensorización de mezclas bituminosas con fibras de carbono [7], demostrando su aplicabilidad para tareas de pesaje dinámico [8–10] y monitoreo estructural [11].

Sin embargo, uno de los aspectos más importantes al utilizar esta tecnología es la correcta dosificación de los aditivos conductores, de manera que no afecten las características mecánicas de la mezcla y al mismo tiempo garanticen buenas propiedades de sensorización. La investigación sobre este tema es muy limitada. Además, las modalidades de carga utilizadas normalmente en los laboratorios durante los ensayos de auto-sensorización no simulan muy bien las condiciones reales a las que estaría sometido el material en servicio, y por esto se necesitan más estudios evaluando las propiedades de auto-sensorización con ensayos dinámicos.

Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo es diseñar una mezcla asfáltica auto-sensorizada. Para lograrlo, se incorporaron fibras de carbono en diferentes proporciones, y se llevó a cabo una dosificación de estas

mezclas siguiendo criterios técnicos, que consideran propiedades mecánicas, eléctricas, y criterios económicos. Posteriormente, se realizaron diversos ensayos electromecánicos para evaluar las capacidades de auto-detección de deformación y del estado estructural de estos materiales auto-sensorizados.

## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

En el trabajo se empleó una mezcla bituminosa tipo SMA8. La granulometría de la mezcla, comprendida dentro del huso fijado en el Art. 544 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), se indica en la Tabla 1. "

Tabla 1. Granulometría de la mezcla bituminosa SMA8

Tamiz (mm)	% Pasa
11.2	100
8	95
4	37.5
2	30
0.5	17
0.063 (filler)	8

El árido utilizado ha sido un pórfido, con un peso específico de 2.80 g/cm<sup>3</sup> y un coeficiente de Los Ángeles de 15.

Se utilizó un betún modificado con polímero tipo PMB 45/80-65, y sus propiedades se indican en la Tabla 2.

Para reducir la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas, se utilizaron fibras de carbono (FC) con una longitud de 3 mm y un diámetro de 7 μm, que tienen el aspecto que se muestra en la Figura 1.

En función del contenido de fibras de carbono (FC), en porcentaje sobre el peso de los áridos, se han fabricado 6 tipologías de mezclas bituminosas: Referencia (sin FC), FC-0.1%, FC-0.2%, FC-0.3%, FC-0.4% y FC-0.5%.

Tabla 2. Propiedades del betún PMB 45/80-65

Propiedad	Norma	Requisito PG3	Resultado
Penetración a 25 °C	UNE - EN 1426	45-80 (0.1 mm)	50.0
Punto de reblandecimiento	UNE - EN 1427	> 65 °C	71.2
Cohesión. Fuerza-ductilidad a 5 °C	UNE - EN 13589	> 3 J/cm <sup>2</sup>	5.9
Recuperación elástica a 25 °C	UNE - EN 13398	> 70 %	85



Figura 1. Fibras de carbono

## 2.2 Propiedades mecánicas y eléctricas

El efecto de la adición de fibras de carbono en las prestaciones mecánicas de las mezclas bituminosas se evaluó mediante los ensayos de resistencia a tracción indirecta ITS a 15 °C (UNE-EN 12697-23) y módulo de rigidez ITSM a 20 °C (UNE-12697-26). Se utilizaron dos muestras para cada tipo de mezcla bituminosa durante esta fase.

El procedimiento de mezclado y compactación utilizado en esta etapa se detalla a continuación. En primer lugar, los áridos y el betún se precalentaron en una estufa a una temperatura de 170°C durante 2 horas. Luego, los áridos gruesos y finos se mezclaron con la cantidad seleccionada de fibras de carbono durante 1 minuto a la misma temperatura. A continuación, se incorporó el betún y se mezcló durante 1 minuto. Finalmente, se añadió el filler, y todos los componentes se mezclaron durante 1 minuto.

La compactación de la mezcla se realizó utilizando un compactador por impacto Marshall [UNE 12697-30],

aplicando 50 golpes por cara.

Para evaluar la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas con fibras de carbono se fabricaron dos muestras adicionales para cada tipo de mezcla bituminosa. La medición de la resistencia eléctrica requiere la incorporación de cuatro cables de cobre (electrodos) embebidos dentro de las muestras de mezcla bituminosa, lo cual implica una modificación del procedimiento de fabricación descrito anteriormente (Figura 2). Para ello, se perforaron cuatro pequeños agujeros en la base metálica del molde Marshall con una separación entre ellos de 20 mm, para acomodar los cuatro cables de cobre (electrodos) en posición vertical, cada uno con una longitud de 4 cm y un diámetro de 2 mm (Figura 2a). Los electrodos se fijaron de forma segura con un soporte metálico para evitar movimientos durante la fase de vertido (Figura 2b). Después de haber introducido una parte de la mezcla en el molde (Figura 2c), se retiró el soporte metálico y se añadió el resto de la mezcla. Finalmente, se llevó a cabo la fase de compactación. Después de desmoldar la muestra, los cuatro electrodos se soldaron a otros cables de cobre más flexibles, para permitir la medición eléctrica (Figura 2d).

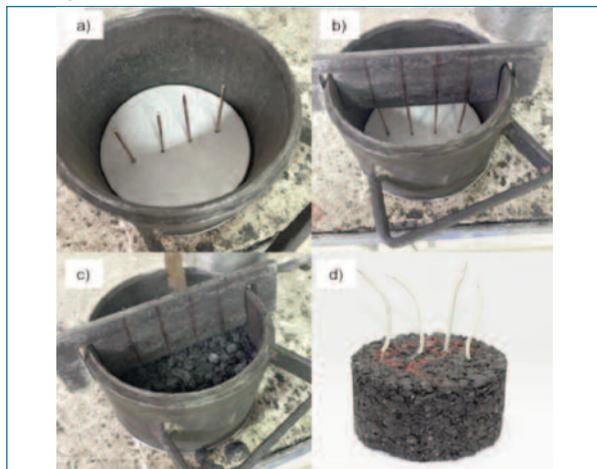


Figura 2. Fabricación de las mezclas para la medición eléctrica

## Diseño de mezclas bituminosas auto-sensorizadas

La medición de la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas se llevó a cabo utilizando un multímetro digital Keysight 34465A y el método de sonda de cuatro puntos. Este método tiene una configuración de cuatro electrodos, que están ubicados en línea recta y separados a igual distancia entre ellos. El multímetro aplica una corriente continua (I) entre los electrodos externos, y se mide la caída de voltaje (V) entre los dos electrodos internos. La resistencia eléctrica (R) de la muestra se calcula dividiendo la caída de voltaje (V) por la corriente continua aplicada (I). Las mediciones de la resistencia eléctrica de las muestras se han realizado dentro de una cámara ambiental para controlar la temperatura, y se ha repetido la medición a tres diferentes temperaturas, 10 °C, 25 °C y 40 °C. La medición se realizó por un tiempo total de 1 minuto, y se tomó el valor promedio a largo de la medición como valor de la resistencia eléctrica.

### 2.3 Ensayos electromecánicos de auto-sensorización

Los ensayos electromecánicos de auto-sensorización consisten en la evaluación de los cambios en la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas como resultado de la aplicación de un estímulo externo. En esta sección se describen dos ensayos electromecánicos que se utilizaron para evaluar las propiedades de auto-sensorización de las mezclas bituminosas con fibras de carbono. Estos ensayos se llevaron a cabo exclusivamente para la mezcla con un 0.3% de fibras de carbono (FC-0.3%), que resultó ser la más adecuada desde el punto de vista técnico y económico, como se detalla a continuación en la sección 3.1.

El primer ensayo electromecánico se realizó para evaluar las propiedades de piezorresistividad de las mezclas, es decir, la capacidad de cambiar su propia resistencia eléctrica en función de una deformación aplicada. La configuración del ensayo se muestra en la Figura 3. La muestra se sometió a cuatro cargas dinámicas de tracción indirecta tipo haversine a 20 °C, con amplitud creciente de 500 N, 1000 N, 1500 N y 2000 N. Entre cada ciclo de carga, se aplicó un tiempo de reposo de 10 s. Para evaluar el efecto de la frecuencia de aplicación de la carga, se repitieron los ensayos a diferentes frecuencias: 1 Hz, 5 Hz y 10 Hz, es decir, duraciones de la car-

ga de 1 s, 0.2 s y 0.1 s.

Se utilizaron dos transductores de desplazamiento lineal variable (LVDT) para medir las microdeformaciones unitarias transversales de la muestra durante el ensayo, con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Además, se midió la resistencia eléctrica a lo largo del ensayo con la misma frecuencia de muestreo (100 Hz) utilizando el multímetro digital y la metodología detallada en la sección 2.2.



Figura 3. Ensayo de auto-detección de deformación

Una vez recopilados los datos, es necesario realizar un procesamiento digital de las señales para poder evaluar la relación entre las microdeformaciones unitarias ( $\mu\epsilon$ ) que ocurren al aplicar la carga y los cambios en la resistencia eléctrica (FCR) de la muestra debido al efecto piezorresistivo.

Para evaluar las propiedades piezorresistivas, comúnmente se emplea el concepto de cambio fraccional en la resistencia eléctrica (FCR), en %, determinado en función de las variaciones de la resistencia eléctrica con respecto a su valor inicial al principio del ensayo ( $R_0$ ):

$$FCR(\%) = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot 100$$

Donde R es el valor variable de la resistencia eléctrica a lo largo del ensayo. Como resultado de la carga externa aplicada, tanto la señal de microdeformación ( $\mu\epsilon$ ) como la señal de FCR mostraron cuatro fluctuaciones visibles distintas. Se identificaron las amplitudes de estas fluctuaciones,  $\Delta\mu\epsilon$  y  $\Delta FCR$ , y se llevó a cabo un análisis

de regresión lineal para establecer la relación entre las amplitudes de la microdeformación y del FCR, evaluando de esta manera las capacidades de detección de deformación de la mezcla bituminosa con fibras de carbono.

El segundo ensayo electromecánico consistió en evaluar la capacidad de la mezcla bituminosa con fibra de carbono para detectar su propio estado de deterioro. Para ello, se comparó la respuesta eléctrica de la mezcla en su estado inicial con la respuesta eléctrica de la misma muestra deteriorada.

En esta fase, se fabricaron muestras con dimensiones de 41-26-5 cm<sup>3</sup>, compactadas con un compactador de placa (EN 12697-33). La muestra se vertió en el molde en dos capas diferentes, lo que permitió colocar una plantilla de madera con cuatro cables de cobre, dispuestos simétricamente respecto al centro de la muestra a una distancia de 4 cm entre cables, y a una altura de 1 cm sobre el fondo de la muestra. A partir de la muestra, se obtuvieron diferentes muestras prismáticas (vigas) con dimensiones de 41-55 cm<sup>3</sup> con los cuatro cables embebidos.

La evaluación electromecánica constó de tres ensayos distintos, donde la muestra se sometió a flexión en cuatro puntos, como se observa en la Figura 4. En el primer ensayo, la muestra se sometió a 100 ciclos de carga dinámica senoidal con una amplitud de 250 N y una frecuencia de aplicación de la carga de 10 Hz, lo que resultó en una duración de 10 segundos para el ensayo. Durante el ensayo, se midió la resistencia eléctrica con una frecuencia de muestreo de 100 Hz para evaluar la respuesta eléctrica de la mezcla en su estado inicial. En el segundo ensayo, la muestra fue sometida a deterioro por fatiga mediante la aplicación de 100,000 ciclos de carga con control de deformación (100  $\mu\epsilon$ ) a una frecuencia de 10 Hz. Durante esta fase, se observó una reducción del módulo de rigidez de la mezcla desde 13,449 MPa hasta 7,746 MPa. En el tercer ensayo, se repitió el procedimiento utilizado en el primero, es decir, 100 ciclos de carga dinámica senoidal con una amplitud de 250 N y una frecuencia de aplicación de la carga de 10 Hz, con evaluación de la resistencia eléctrica con frecuencia de muestreo de 100 Hz, para evaluar la respuesta eléctrica de la muestra deteriorada tras el ensayo de

fatiga.

Por lo tanto, la capacidad de autodetección del deterioro de la mezcla se realizó comparando la amplitud de los cambios de FCR registrada en los 100 ciclos de carga anteriores al ensayo de fatiga, y en los 100 ciclos de carga en la misma muestra, tras su agotamiento a fatiga.



Figura 4. Ensayo de auto-detección del deterioro

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Efecto de las fibras de carbono en las propiedades mecánicas y eléctricas

El efecto de la adición de fibras de carbono en la resistencia a tracción indirecta (ITS) y en el módulo de rigidez (ITSM) se muestra en las Figuras 5 y 6. En comparación con la mezcla bituminosa de referencia (sin fibras de carbono), que tuvo un ITS promedio de 1.412 MPa, la incorporación de fibras de carbono tiende, en general, a aumentar el ITS. Aunque el aumento no parece seguir una tendencia lineal, posiblemente debido al tamaño limitado de la muestra, se observó que un incremento del contenido de fibra hasta el 0.5% sobre el peso de los áridos aumenta el ITS hasta 1.753 MPa (un 24% más en comparación con la mezcla de referencia).

Este resultado es coherente con otros estudios de la literatura [12,13] y se atribuye probablemente a que, durante la aplicación de la carga, las fibras generan un efecto puente entre las caras de las grietas, constituyendo un refuerzo que incrementa la resistencia a tracción indirecta.

ta.

La fibra de carbono también tiende a aumentar el módulo de rigidez de la mezcla bituminosa, pasando de un valor de 2144 MPa en la mezcla de referencia a 2805 MPa en la mezcla con un 0.5% de fibras. Las fibras de carbono utilizadas en el estudio presentaban un módulo de rigidez a tracción de 240 GPa, lo que inevitablemente confiere rigidez a la mezcla bituminosa. En resumen, parece que la adición de fibras de carbono tiene un impacto significativo en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Es importante tener en cuenta que el principal objetivo de agregar estas fibras es conferir a la mezcla asfáltica propiedades de auto-sensorización, es decir, permitir que el pavimento detecte por sí mismo su propio estado estructural en términos de deformaciones y detección de deterioro. Por un lado, se debe considerar que actualmente el costo de las fibras de carbono es elevado (aproximadamente 30 €/kg), lo que hace que su uso para pavimentar una infraestructura completa no sea económicamente viable. En cambio, este aditivo podría ser adecuado para la construcción de secciones específicas de pavimento auto-sensorizado, que proporcionen datos útiles sobre el estado de la vía. Sin embargo, si las características mecánicas de la mezcla bituminosa de referencia y la mezcla con fibras son diferentes, los datos generados pueden no reflejar con precisión el estado real de la vía. Es importante destacar que la aplicación de esta tecnología aún está en una etapa inicial y se requieren más estudios, especialmente para analizar las relaciones entre las propiedades mecánicas de mezclas convencionales y con fibras. Esto permitiría obtener factores de corrección entre mezclas y obtener datos más fiables, utilizando estos materiales de manera más eficiente.

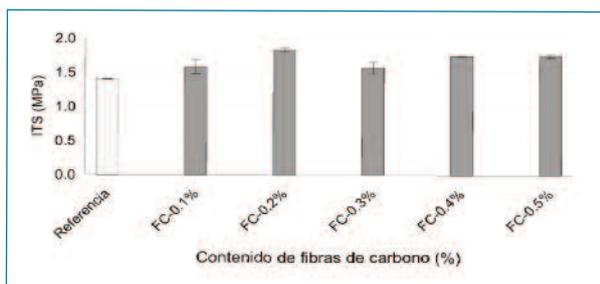


Figura 5. Resistencia a tracción indirecta ITS de las mezclas con fibras de carbono

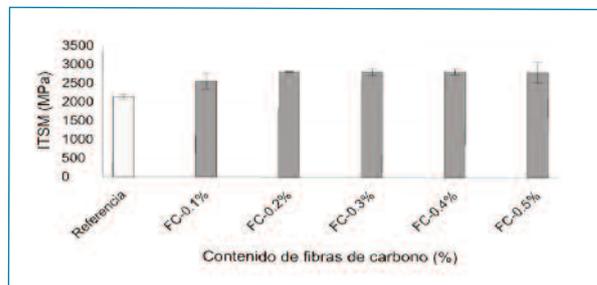


Figura 6. Módulo de rigidez ITSM de las mezclas con fibras de carbono

La relación entre la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas y el contenido de fibras de carbono a diferentes temperaturas se muestra en la Figura 7. A medida que aumenta el contenido de fibras de carbono, se generan más contactos eléctricos, lo que se traduce en una reducción en la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas. Lo que resulta interesante es la forma de las curvas, que demuestra la existencia de un contenido crítico de fibras, conocido en la literatura como umbral de percolación [14], caracterizado por una disminución repentina de la resistencia eléctrica. En el presente trabajo, parece que el umbral de percolación se sitúa entre el 0.1% y el 0.3% de fibras de carbono, donde la resistencia eléctrica de la mezcla disminuye abruptamente de 317198  $\Omega$  a 15  $\Omega$  a una temperatura de 25  $^{\circ}\text{C}$ . A partir de este contenido, la resistencia eléctrica sigue disminuyendo, aunque con menor intensidad. Por lo tanto, un aumento del contenido de fibras podría no justificar el aporte en términos de reducción de la resistencia eléctrica, especialmente desde el punto de vista económico. En resumen, parece que el contenido óptimo de fibras de carbono, tanto desde el punto de vista técnico como económico, se encuentra en el entorno del 0.3%.

Otro aspecto importante es el efecto de la temperatura en la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas. El aumento de la temperatura de 10  $^{\circ}\text{C}$  a 25  $^{\circ}\text{C}$  tiende a disminuir la resistencia eléctrica de todas las muestras. Este fenómeno se conoce como efecto termorresistivo, debido principalmente al hecho de que un aumento de temperatura produce una disminución en la distancia entre partículas conductoras debido a las fluctuaciones térmicas, lo que resulta en un aumento en la movilidad de los electrones y una reducción de la resistencia eléctrica [15]. Sin embargo, no se observan dife-

rencias significativas entre los resultados de resistencia eléctrica a 25 °C y a 40 °C. El estudio de la relación entre las propiedades eléctricas y la temperatura resulta fundamental para aplicaciones de auto-sensorización. Por un lado, esta propiedad podría utilizarse para detectar cambios de temperatura en el pavimento. Por otro lado, el efecto de la temperatura podría generar un factor de confusión a tener en cuenta durante mediciones de deformación o daño y el posterior tratamiento de los datos.

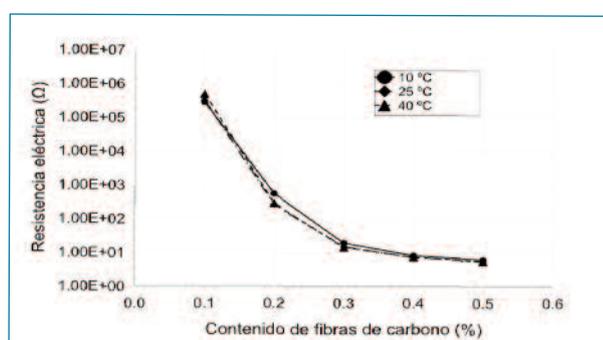


Figura 7. Efecto del contenido de fibras de carbono en la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la caracterización mecánica y eléctrica de las mezclas bituminosas, parece que la inclusión de fibras de carbono en un contenido del 0.3% sobre el peso de los áridos podría ser una solución óptima. Por un lado, esto permitiría reducir la disparidad entre las propiedades mecánicas con respecto a la mezcla de referencia, lo cual es crucial para aplicaciones de auto-sensorización. Por otro lado, este contenido se sitúa justo después del umbral de percolación, indicando que un aumento en el contenido de fibras no resultaría en mejoras significativas en las propiedades eléctricas. Por esta razón, se ha decidido seleccionar este contenido para la siguiente fase del estudio, que se centra en la evaluación de las propiedades de auto-sensorización.

### 3.2 Capacidad de auto-detección de deformación

Los resultados del primer ensayo electromecánico, que se refiere a la auto-detección de la deformación (piezoresistividad) de la mezcla FC-0.3%, se presentan en la

Figura 8 para las tres frecuencias diferentes de aplicación de la carga, 1 Hz, 5 Hz y 10 Hz. Se puede observar que, debido al efecto piezorresistivo de la mezcla con fibras de carbono, la imposición de deformaciones en el material produce cambios en las propiedades eléctricas. Al deformarse en dirección transversal, las fibras se separan entre sí y se produce un aumento de la resistencia eléctrica. En la fase de descarga, las fibras vuelven a juntarse, reduciendo la resistencia eléctrica de la muestra.

Los mejores resultados se obtuvieron para una frecuencia de aplicación de carga de 1 Hz (Figura 8a), donde las dos señales siguen claramente la misma tendencia. Después de cada ciclo de carga, debido a las propiedades viscoelásticas de la mezcla, la deformación no se recupera instantáneamente. El FCR parece seguir la misma tendencia, probablemente porque en la fase de descarga también los contactos eléctricos tardan cierto tiempo en volver a su condición inicial. Este fenómeno permite que estos materiales puedan auto-detectar también acumulación de deformaciones plásticas, simplemente midiendo su propia resistencia eléctrica.

Aumentando la frecuencia de aplicación de la carga a 5 Hz y 10 Hz (Figura 8b y c), se puede observar que la deformación produce igualmente cambios en la resistencia eléctrica de la muestra, mostrando buenas capacidades piezorresistivas. En la fase de descarga y de reposo, sin embargo, la resistencia eléctrica llega a valores inferiores respecto a su valor inicial. Por ello, se observa un FCR negativo, lo que parece significar un acercamiento de las fibras, quizás debido a la velocidad elevada de la aplicación de la carga que cambia notablemente la distribución de la red conductora formada por las fibras de carbono.

Los resultados del análisis de regresión lineal se presentan en la Figura 9, permitiendo determinar de manera cuantitativa la capacidad de auto-detección de deformación de la mezcla FC-0.3%. Se observa que, para todas las frecuencias analizadas, los coeficientes de determinación R2 son muy altos, confirmando un buen ajuste lineal. En términos prácticos, esto significa que, simplemente midiendo los cambios en la resistencia eléctrica de la mezcla, es posible predecir el nivel de deformación al que se ha sometido. La obtención de estos datos en tiempo real es muy útil, ya que permitiría obtener un his-

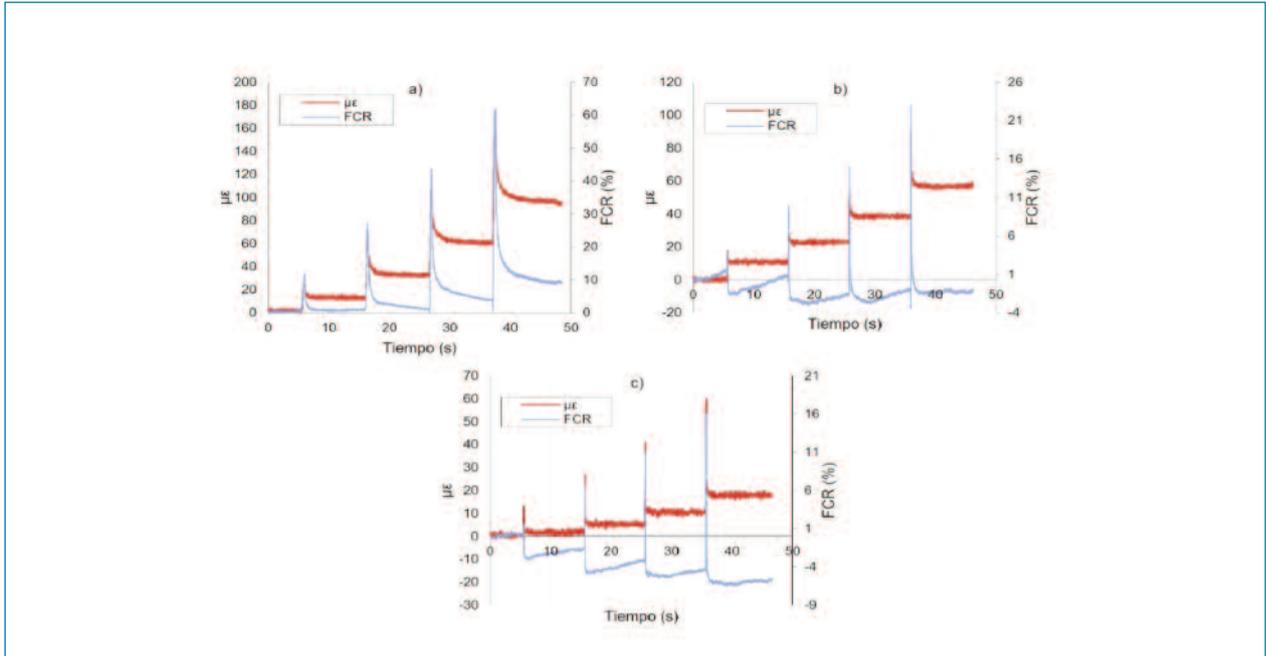


Figura 8. Capacidad de auto-detección de deformación de la mezcla bituminosa FC-0.3%. a) 1 Hz, b) 5 Hz, c) 10 Hz.

torial de las deformaciones y desarrollar modelos de predicción de la vida útil del pavimento.

Es importante señalar también un cierto efecto de la frecuencia de aplicación de la carga en la relación entre deformación y FCR. En particular, a igualdad de deformación aplicada, los cambios de FCR en los casos de 5 Hz y 10 Hz son menores en comparación con el caso a 1 Hz. Parece que la aplicación de una carga muy rápida de alguna manera dificulta las perturbaciones en la red conductora dentro del material. Sin embargo, se requerirán estudios adicionales sobre el tema para aclarar este fenómeno.

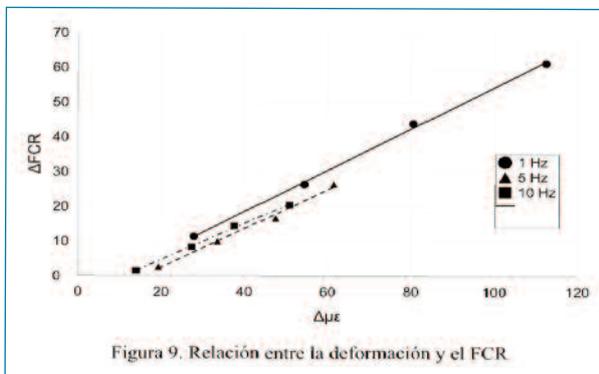


Figura 9. Relación entre la deformación y el FCR

Figura 9. Relación entre la deformación y el FCR

### 3.3 Capacidad de auto-detección del estado estructural

Los resultados del ensayo de auto-detección del estado estructural se presentan en la Figura 10. Las Figuras 10a y b muestran la respuesta eléctrica de la muestra en su estado inicial y después de deteriorarse a fatiga. En la Figura 10c, se realiza una comparación cuantitativa mediante diagramas de cajas y bigotes de la amplitud de los cambios de FCR por cada ciclo de carga en los dos estados diferentes. Como se puede observar, en el estado inicial, cuando la muestra tenía un módulo de rigidez de 13,449 MPa, los cambios de FCR varían aproximadamente entre el 8% y el 22%. Además, se pueden apreciar diferentes valores atípicos en la parte superior del gráfico, que probablemente se deban a una fase de acomodación de la muestra durante los primeros segundos del ensayo.

Después de someterse al ensayo de fatiga, la muestra tenía un módulo de rigidez de 7,746 MPa. En estas condiciones, se observa claramente un aumento en los cambios de FCR por cada ciclo de carga, distribuyéndose aproximadamente entre el 10% y el 36%. La muestra, teniendo un módulo menor, se deforma más al aplicar el mismo nivel de carga, y debido al efecto piezorresisti-

vo esto se traduce en un aumento de los cambios de FCR. Además, en este caso no se registraron datos atípicos.

Los resultados del ensayo sugieren que el estado de deterioro de la mezcla tiene un efecto en la respuesta eléctrica de la mezcla bituminosa con fibras de carbono. Esta relación podría emplearse para el monitoreo en tiempo real del estado estructural del firme, ya que un seguimiento periódico de la respuesta eléctrica puede proporcionar información valiosa sobre el estado de deterioro del material.

sas.

- A medida que aumenta el contenido de fibras de carbono, se observa una reducción en la resistencia eléctrica de las mezclas bituminosas.
- Considerando criterios técnicos (propiedades mecánicas y eléctricas) y criterios económicos, se determinó un contenido óptimo de fibras de carbono del 0.3% sobre el peso de los áridos.
- La mezcla con fibras de carbono exhibe buenas propiedades de auto-detección de deformación (piezorresistividad). Al aplicar deformación, se ob-

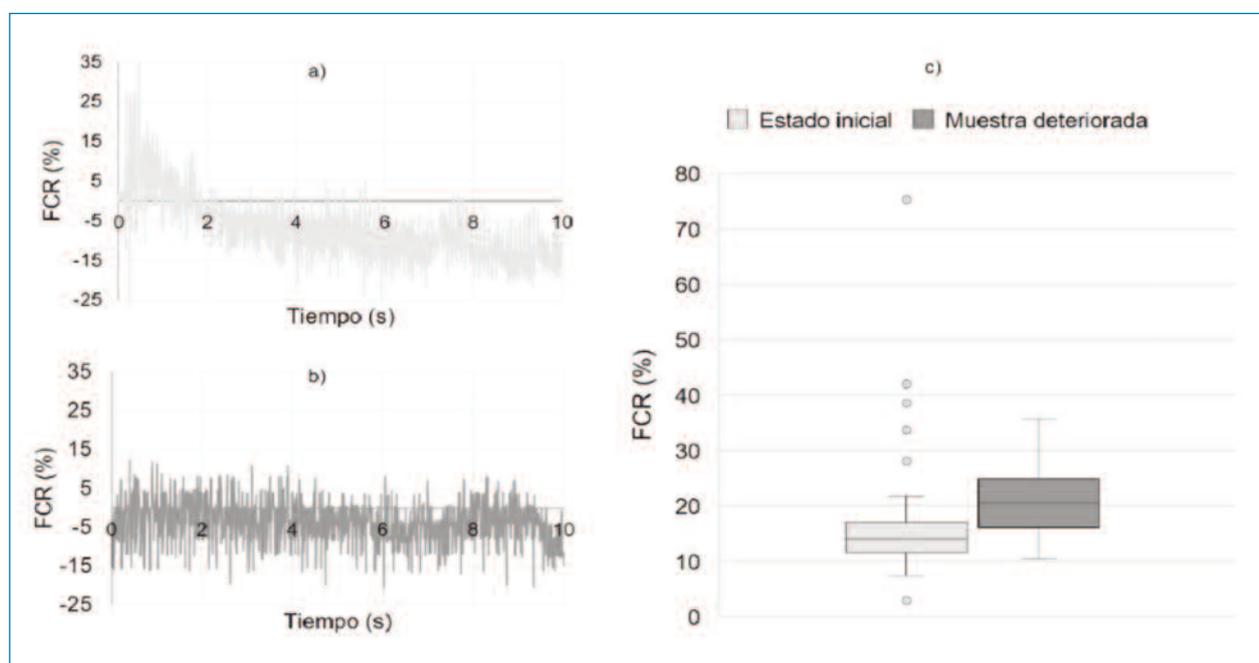


Figura 10. Capacidad de auto-detección del deterioro de la mezcla bituminosa FC-0.3%

#### 4. CONCLUSIONES

En resumen, el objetivo principal de este trabajo ha sido el diseño de una mezcla bituminosa con capacidades de auto-sensorización. Se llevó a cabo una caracterización mecánica y eléctrica para dosificar la mezcla bituminosa con fibras de carbono, y se realizaron diversos ensayos electromecánicos para evaluar las prestaciones de auto-sensorización. Los resultados clave obtenidos son los siguientes:

- La incorporación de fibras de carbono tiende a aumentar la resistencia a tracción indirecta (ITS) y el módulo de rigidez (ITSM) de las mezclas bitumino-

servan cambios en la resistencia eléctrica del material con una tendencia lineal.

- La respuesta eléctrica de la mezcla con fibra de carbono varía con el nivel de deterioro de la muestra, lo que confiere capacidades de auto-detección del deterioro.

Los pavimentos de carreteras auto-sensorizados representan una tecnología innovadora para la recopilación en tiempo real de datos sobre el estado estructural. Sin embargo, se requieren estudios adicionales de laboratorio y proyectos a escala real antes de su implementación generalizada. Investigaciones más avanzadas sobre la relación entre las prestaciones mecánicas de estos ma-

teriales en comparación con mezclas bituminosas convencionales, la aplicación de técnicas de medición eléctricas de bajo costo y procesamiento de señales, y la evaluación del impacto de factores externos como la temperatura y la humedad, son temas claves para futuras líneas de investigación.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España en el marco de los proyectos “Sensing-PAVE: Pavimentos asfálticos auto-sensorizados” PID2020-118987RB-I00 y “Digital-PAVE: Durabilidad de la respuesta piezorresistiva de pavimentos asfálticos autosensorizados” TED2021-131474B-I00.

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Manosalvas-Paredes, K. Aono, S. Chakrabartty, J. Blanc, D. Lo Presti, K. Chatti, N. Lajnef, Validation of a Novel Sensing Approach for Continuous Pavement Monitoring Using Full-Scale APT Testing, *J. Transp. Eng. Part B Pavements* 149 (2023) 04022062. <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000397>.
- [2] H.B. Birgin, A. D’Alessandro, A. Corradini, S. Laflamme, F. Ubertini, Self-sensing asphalt composite with carbon microfibers for smart weigh-in-motion, *Mater. Struct.* 55 (2022) 138. <https://doi.org/10.1617/s11527-022-01978-w>.
- [3] B. Han, S. Ding, X. Yu, Intrinsic self-sensing concrete and structures: A review, *Measurement* 59 (2015) 110–128. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.048>.
- [4] F. Gulisano, T. Buasiri, A. Cwirzen, J. Gallego, Monitoring Road Infrastructures with Self-sensing Asphalt Pavements, in: P. Rizzo, A. Milazzo (Eds.), *Eur. Workshop Struct. Health Monit.*, Springer International Publishing, Cham, 2023: pp. 784–793. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-07254-3\\_79](https://doi.org/10.1007/978-3-031-07254-3_79).
- [5] F. Gulisano, T. Buasiri, F.R.A. Apaza, A. Cwirzen, J. Gallego, Piezoresistive behavior of electric arc furnace slag and graphene nanoplatelets asphalt mixtures for self-sensing pavements, *Autom. Constr.* 142 (2022) 104534. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104534>.
- [6] F. Gulisano, M. Abedi, R. Jurado-Piña, F.R.A. Apaza, M.J. Roshan, R. Fangueiro, A.G. Correia, J. Gallego, Stress and damage-sensing capabilities of asphalt mixtures incorporating graphene nanoplatelets, *Sens. Actuators Phys.* 359 (2023) 114494. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114494>.
- [7] H.R. Rizvi, M.J. Khattak, M. Madani, A. Khattab, Piezoresistive response of conductive Hot Mix Asphalt mixtures modified with carbon nanofibers, *Constr. Build. Mater.* 106 (2016) 618–631. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.187>.
- [8] H.B. Birgin, A. D’Alessandro, M. Favaro, C. Sangiorgi, S. Laflamme, F. Ubertini, Field investigation of novel self-sensing asphalt pavement for weigh-in-motion sensing, *Smart Mater. Struct.* 31 (2022) 085004. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/ac7922>.
- [9] H.B. Birgin, E. García-Macías, A. D’Alessandro, F. Ubertini, Self-powered weigh-in-motion system combining vibration energy harvesting and self-sensing composite pavements, *Constr. Build. Mater.* 369 (2023) 130538. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130538>.
- [10] F. Gulisano, F.R.A. Apaza, D. Gálvez-Pérez, R. Jurado-Piña, G. Boada-Parra, J. Gallego, Non-destructive testing methods for road pavement health monitoring: electromechanical assessment of self-sensing asphalt materials, in: *Earth Resour. Environ. Remote Sensing GIS Appl. XIV, SPIE*, 2023: pp. 241–250. <https://doi.org/10.1117/12.2680606>.
- [11] S. Ullah, S. Wan, C. Yang, X. Ma, Z. Dong, Self-stress and deformation sensing of electrically conductive asphalt concrete incorporating carbon fiber and iron tailings, *Struct. Control Health Monit.* 29 (2022) e2998. <https://doi.org/10.1002/stc.2998>.
- [12] S. Qian, H. Ma, J. Feng, R. Yang, X. Huang, Fiber reinforcing effect on asphalt binder under low temperature, *Constr. Build. Mater.* 61 (2014)

120–124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.035>.

- [13] B. Wu, Z. Pei, P. Xiao, K. Lou, X. Wu, Influence of fiber-asphalt interface property on crack resistance of asphalt mixture, *Case Stud. Constr. Mater.* 17 (2022) e01703. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01703>.
- [14] S. Wu, L. Mo, Z. Shui, Z. Chen, Investigation of the conductivity of asphalt concrete containing conductive fillers, *Carbon* 43 (2005) 1358–1363. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2004.12.033>.
- [15] N. Jović, D. Dudić, A. Montone, M.V. Antisari, M. Mitrić, V. Djoković, Temperature dependence of the electrical conductivity of epoxy/expanded graphite nanosheet composites, *Scr. Mater.* 58 (2008) 846–849. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2007.12.041>.



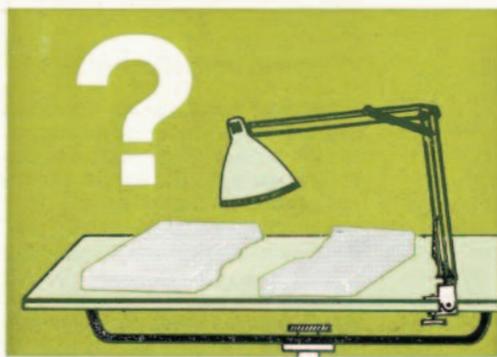
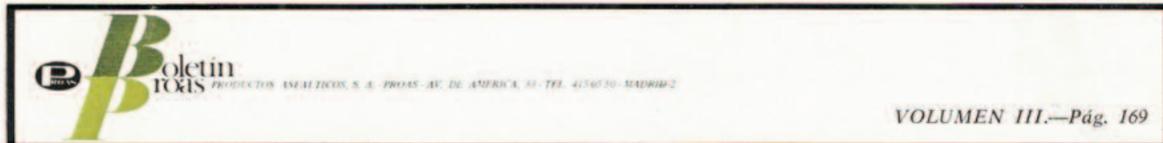
## Nada se pierde todo se recicla.

Para construir o reparar calzadas Probisa elabora soluciones alternativas como el reciclaje de la carretera "in situ", la reutilización de residuos industriales y domésticos, o de los materiales de demolición. Las viejas carreteras ya no se pierden, y de este modo, ahorramos recursos naturales. Nuevas ideas hechas realidad.

Probisa  
Abrimos paso a nuevas ideas

# Mirando al pasado

Documento publicado en marzo - abril de 1974.



## COMENTARIO DE ACTUALIDAD

Como ya comentábamos en el anterior número del Boletín y como, por otra parte, es bien sabido por nuestros lectores, los materiales asfálticos han sufrido un considerable incremento de precio desde principios del año en curso, como inevitable consecuencia de las importantes subidas en el precio de los crudos asfálticos.

Ante estas circunstancias, se nos hace muy frecuentemente el comentario, por parte de quienes se ocupan en el proyecto y construcción de carreteras, de que la posible competitividad de los pavimentos flexibles frente a los rígidos ha salido perjudicada. Esto es ciertamente evidente, pero a pesar de ello no plantea cambio alguno en nuestra posición frente a la comparación

económica entre ambos pavimentos. En cada caso, el proyectista debe comparar, antes de elegir la solución a emplear, todos los aspectos técnicos y económicos de las diversas soluciones posibles, y, sólo después de ponderarlos adecuadamente, estará en situación de tomar la decisión correcta en todos los aspectos.

A pesar de las subidas del costo de los materiales, se encontrará que en la inmensa mayoría de los casos sigue siendo económicamente más ventajosa la solución flexible. Y en los casos en que los costos sean muy parecidos o incluso en que sea algo superior el costo del pavimento flexible al del pavimento rígido, antes de decidirse por este último el proyectista deberá preguntarse, ahora como siempre:

¿Y qué haré el día en que empiecen a romperse las losas de este pavimento?

¿Admite mi carretera la pérdida del 50 % de su sección durante 28 días, cuando por fin no me quede más remedio que levantar las losas rotas?

Sea cual sea su precio, el pavimento asfáltico será siempre un pavimento eminentemente humano, en el sentido de que hace posibles las equivocaciones... y su corrección con un mínimo de gasto y de esfuerzo.

### REUNION ANUAL DE LA NAPA

Como probablemente saben todos nuestros lectores, la NAPA (National Asphalt Paving Association) es la asociación de los productores de aglomerado asfáltico que trabajan en los Estados Unidos. Recientemente ha tenido lugar su 17 reunión anual, discutiéndose en ella la técnica y los problemas generales de la industria.

El tema al que más atención se dedicó en esta reunión ha sido las medidas draconianas de regulación propuestas por la Agencia para la Protección Ambiental en cuanto al funcionamiento de las plantas asfálticas discontinuas. Entre estas medidas destaca la prohibición de instalaciones que emitan polvo por encima de unos límites extremadamente bajos. Por otra parte, recientes normas del Estado de California limitan la emisión de monóxido de carbono a menos del 0,2 %, o sea, aproximadamente 2.000 partes por millón. Hay tres causas principales de producción de monóxido de carbono en el sistema de combustión de un secador de áridos, que son: la insuficiencia de aire primario, un mal mezclado del aire y el enfriamiento producido por determinadas reacciones

endotérmicas que pueden producirse durante el proceso de combustión.

Como conclusiones de estas discusiones, la NAPA ha tenido unas conversaciones con los organismos reguladores y ha pasado una serie de medidas y recomendaciones para sus miembros en cuanto a la explotación de sus instalaciones, esperando de esta forma evitar en el futuro graves entorpecimientos en la marcha de las plantas.

El tema siguiente en importancia al de la contaminación fue el del control de calidad, especialmente en cuanto se refiere a la compactación de las mezclas. Por muy cuidadosamente que se controle la calidad de la mezcla o la preparación de la base, será imposible obtener un acabado superficial satisfactorio si la compactación es inadecuada. La compactación es, de todas las operaciones que constituyen el proceso de construcción de un pavimento, la que cuenta con menos instrumentos y normas de control. Entre las cuestiones que se discutieron figuraban las siguientes:

— ¿No debería existir una correlación automática entre la velocidad de avance del compactador y la amplitud de vibración?

— ¿No debería existir algún tipo de

control de la aceleración y deceleración del compactador?

— ¿Por qué no existe algún tipo de indicador automático de la temperatura del pavimento que pueda ver el conductor del compactador?

Por otra parte, se discutió la forma en que pueden manejarse los acopios de áridos para reducir las fluctuaciones del contenido de humedad con las consiguientes variaciones en el régimen del sistema secador. El secado al aire cuesta siempre mucho menos que el secado por calentamiento, por lo que, si puede utilizarse una cargadora frontal para remover sistemáticamente los acopios de áridos exponiendo las zonas húmedas al sol y al viento, pueden conseguirse importantes economías de combustible.

Si esto no es posible, pueden conseguirse ciertas economías si el conductor de la pala frontal no insiste en extraer material del núcleo húmedo de los montones de acopio, sino que extrae material de los bordes, que están más secos.

Otro problema objeto de gran preocupación para los fabricantes de aglomerado de los Estados Unidos es la posible escasez en el futuro de combustible para hacer funcionar sus instalaciones.

**CREANDO  
CONEXIONES POR  
NATURALEZA**

# Calendario de eventos

## AÑO 2025

5-9 de enero TRB	TRB Annual Meeting	Washington(USA) www.trb.org
14-16 de enero AEMA	Road Resource Network Bootcamp	Zoom meeting www.aema.org
23 de enero EUROBITUMEN	Eurobitume New Year	Paris (Francia) www.eurobitume.eu
20-23 de enero AEMA	2025 ISSA Slurry Systems Workshop	Nevada (USA) www.aema.org
2-5 de febrero NAPA	NAPA 2025 Annual Meeting	Hawai www.asphaltpavement.org
13 de febrero ATEB	Seminario de ATEB	Zoom meeting www.ateb.es
25-26 de febrero ATC	I Jornadas de carreteras sostenibles y resilientes	Segovia (España) www.atc-piarc.com
3-7 de marzo AEMA	AEMA-ARRA-ISSA Annual Meeting	USA www.aema.org
25-27 de marzo AMMAC	World of Asphalt	Missouri (USA) www.amaac.org.mx
8-11 de julio NAPA	NAPA 2025 Midyear Meeting	Louisville (USA) www.asphaltpavement.org
29 de sept -1 oct NAPA	International Conference on Decarbonization of Asphalt Pavements	Chicago (USA) www.asphaltpavement.org

## AÑO 2026

10-13 de marzo PIARC	17º Congreso mundial de vialidad invernal y resiliencia de la carretera	Chambéry (Francia) www.piarc.org
11-12 de junio EAPA	3er E&E Event	Viena (Austria) www.eapa.org



Para que siempre  
podamos celebrar **TODOS**,  
un año más, la **NAVIDAD**

DICIEMBRE 2024

ADVANTAGE 4: Asphalt can be coloured and nicely textured to produce attractive designs and patterns #AsphaltAdvantages

Reduciendo emisiones, reforzando el firme →

## DICIEMBRE 2024

Colaboran:  



  
 /asefma @asefma\_es /company/asefma @asefma

L	M	X	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23 <sup>30</sup>	24 <sup>31</sup>	25	26	27	28	29

#CalendarioAsefma

# 2024

**LA CARRETERA Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS**  
 se integran en un mundo cambiante, evolucionan con él y aportan soluciones que  
**MEJORAN LA VIDA DE SUS CIUDADANOS**

Más información en [www.asefma.es/afirmaciones-asfalticas](http://www.asefma.es/afirmaciones-asfalticas) y en [www.asphaltadvantages.com](http://www.asphaltadvantages.com)

Colaboran:




  
 /asefma @asefma\_es /company/asefma @asefma

# Noticias del sector

En esta sección se recoge informaciones sobre citas relevantes, convocatorias e iniciativas relacionadas con el sector de la pavimentación.

## **ASEFMA expresa su solidaridad con las comunidades afectadas por la DANA y apoya el llamamiento de la CNC a sus asociados**

La Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA) quiere expresar su más profundo pesar y condolencias a quienes han sufrido pérdidas de seres queridos debido a la reciente DANA que ha azotado a varias comunidades españolas, especialmente Valencia y Castilla-La Mancha. Este temporal ha causado devastación a su paso, dejando una estela de pérdidas humanas y daños materiales incalculables.

ASEFMA se une al llamamiento de la Confederación Nacional de la Construcción (CNC) para brindar apoyo a las zonas afectadas y colaborar en la respuesta a la emergencia en dichas comunidades. En estos momentos críticos, insta a todos sus asociados a evaluar los recursos humanos y materiales que pueden poner a disposición y que lo comuniquen a la CNC para que centralice toda la ayuda y gestione la interlocución con las administraciones.

Como entidad confederada de la CNC, ASEFMA respalda plenamente esta iniciativa y se compromete a colaborar en el restablecimiento de las infraestructuras dañadas, reafirmando su apoyo incondicional a las comunidades afectadas.

## **Pavasal gana el I Premio ISL de ASEFMA a la Innovación en Seguridad Laboral por su proyecto Safetytav**

La primera edición del galardón que reconoce la Innovación en Seguridad Laboral (ISL) en el sector de la

pavimentación asfáltica ya tiene ganador. Se trata del proyecto Safetytav que presentó Ramón López, responsable del departamento de I+D+i de Pavasal, durante la XIX Jornada Nacional de ASEFMA. También fue López quien recogió el reconocimiento de manos del vicepresidente de ASEFMA, Ignacio Rus, durante la propia jornada.

Durante su presentación, López explicó que “Safetytav” emplea inteligencia artificial para mejorar la seguridad en las obras de pavimentación al anticipar situaciones de riesgo en el entorno de maquinaria móvil. Este sistema, desarrollado en colaboración con la fundación Tekniker y financiado por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital a través de Red.es, está diseñado para detectar la presencia de personas y objetos en el área de trabajo en tiempo real, y predecir posibles colisiones.

López subrayó que, si bien los actuales sistemas de radar y cámaras de vigilancia proporcionan algún nivel de seguridad, tienen limitaciones en la identificación y alerta precisa de riesgos en entornos dinámicos de obra. “Safetytav” supera estos desafíos al combinar algoritmos de inteligencia artificial con cámaras controladas por GPU que realizan análisis de imágenes en tiempo real. Cada cámara detecta y clasifica objetos y personas, permitiendo que el sistema prediga su trayectoria y, en caso de riesgo de colisión, genere alertas para operarios y conductores, o incluso detenga la maquinaria automáticamente en situaciones de peligro extremo.

El proyecto, además, recopila datos de activación de alarmas para mejorar la formación en seguridad laboral y adaptarse a diferentes tipos de maquinaria pesada, no solo en el ámbito de la construcción de carre-

teras. Como explicó López: “Safetypav puede prevenir accidentes fatales al alertar de un posible riesgo antes de que ocurra y detener la maquinaria en el momento adecuado. Es una herramienta que podría cambiar el enfoque de seguridad en nuestra industria”.

Con “Safetypav”, Pavasal obtiene el reconocimiento de ASEFMA a su trabajo innovador en materia de seguridad en el sector de la pavimentación, contribuyendo a reducir los accidentes laborales y a construir un entorno de trabajo más seguro y eficiente. ASEFMA continuará promoviendo iniciativas que mejoren las prácticas de seguridad en la industria del asfalto y felicita a todos los finalistas por su dedicación y compromiso en avanzar hacia una seguridad laboral de excelencia.

### Padecasa se alza con el Premio MPA 2024 por su proyecto de transformación industrial para una pavimentación asfáltica más sostenible

Javier Loma, director de tecnología de PADECASA, y el profesor Ángel Sampedro, coordinador de la cátedra PADECASA-UAX, recogieron el pasado mes de octubre el Premio MPA que reconoce la contribución medioambiental del proyecto de “Transformación industrial del sector para la obtención de mezclas bituminosas y procesos productivos más sostenibles” de la agrupación Padecasa-Cycasa. La entrega del galardón tuvo lugar durante la XIX Jornada Nacional de ASEFMA, celebrada el 29 y 30 de octubre, y ha sido Nuria Uguet, directora técnica de Eurovia y representante del premio seleccionado en la anterior edición, quien ha hecho entrega del galardón.



“Uno de los objetivos medioambientales de Padecasa es reducir la huella de carbono de las mezclas bituminosas en un 20% mediante la implementación de procesos de producción y ejecución más sostenibles”, explicó Javier Loma durante su intervención en la Jornada. “El proyecto de transformación industrial está diseñado para optimizar el uso de asfalto reciclado, así como para incorporar tecnologías de espumación de betún y aditivos sostenibles que mejoran la eficiencia y durabilidad de las mezclas”.

Para ilustrar el impacto de esta transformación, Javier Loma presentó ejemplos en las instalaciones de fabricación en Ávila y Burgos, donde el proyecto ha alcanzado una tasa de reutilización del 25% de asfalto recuperado y una reducción de las temperaturas de fabricación en un 15%, con un margen de error en la medición de emisiones cercano al 4%. El sistema desglosa las emisiones por tipo de combustible y actividad, permitiendo evaluar cómo medidas específicas, como la transición a vehículos más limpios y la mejora de aislamiento térmico, contribuyen a la reducción de emisiones.

Por su parte, el profesor Ángel Sampedro presentó los resultados de la evaluación del ahorro conseguido sobre la huella de carbono con el estudio ambiental en los “enlaces de Rubena – Fresano de Rodilla N-I (Burgos)”.

Loma y Sampedro destacaron durante la presentación del proyecto en XIX Jornada Nacional de ASEFMA que la convocatoria de ayudas en competencia competitiva del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible para el transporte por carretera seguro, sostenible y conectado, financiadas con cargo a los fondos europeos NextGenerationEU, en el que se enmarca el proyecto de transformación industrial de Padecasa-Cycasa, ha sido un gran avance en la transformación industrial del sector. En este sentido, destacan que ha permitido introducir sistemas y equipos de última tecnología que optimizan los procesos de producción de mezclas bituminosas dentro de un marco sostenible y eficiente.

En el caso específico de la agrupación Padecasa-Cycasa, esta modernización ha facilitado la incorporación de técnicas avanzadas, como el uso de asfalto re-

ciclado, la espumación de betún y la inclusión de aditivos sólidos y líquidos sostenibles, lo que no solo reduce las emisiones de carbono, sino que también mejora la durabilidad de las mezclas. Los equipos implementados permiten un mayor control sobre las temperaturas de fabricación y un ahorro energético significativo, lo que incrementa la competitividad en el mercado y fortalece el compromiso de Padecasa-Cycasa con una industria más verde y respetuosa con el medio ambiente.

El Premio “Mejores Prácticas Ambientales” (MPA) es una iniciativa sectorial que quiere visibilizar la I+D en materia de mezclas asfálticas que reporta avances técnicos, económicos, sostenibles y responsables con el medioambiente. Responde a la creciente sensibilidad medioambiental de las entidades fabricantes de asfalto y aquellas vinculadas a su producción, transporte y aplicación.

### Juan José Potti es reelegido como presidente del Comité de Asfalto 4.0 de EAPA

El presidente de ASEFMA seguirá liderando el Comité de Asfalto 4.0 de la asociación europea de pavimentos asfálticos EAPA. En dicho comité, reunido en Bruselas el pasado 10 de octubre en el marco de la Autumn Committee Meeting de EAPA, se aprobó la reelección de Juan José Potti como presidente de dicho comité. Se trata de una decisión que reconoce el compromiso de Potti y ASEFMA para seguir impulsando la innovación en materia de pavimentación asfáltica y liderar la transición digital del sector.

El Comité de Asfalto 4.0, constituido en 2020 y dirigido desde entonces por el presidente de ASEFMA, se ha convertido en una plataforma clave para recopilar, intercambiar y promover conocimientos y mejores prácticas sobre tecnologías digitales emergentes en el sector del asfalto, funcionando como un foro donde se discuten beneficios, desafíos y barreras para su implementación. Su misión incluye establecer una posición común dentro de EAPA sobre el uso de estas tecnologías, identificar e integrar proyectos relevantes a nivel global y fomentar la concienciación entre actores del

sector, administraciones públicas y la sociedad sobre los beneficios, desafíos y la hoja de ruta para adoptar las innovaciones de Asfalto 4.0.

En la reunión otoñal de comités de EAPA, que tuvo lugar del 8 al 10 de octubre, también se eligió a Meghaa Vandana como nueva presidenta del Comité de Comunicación, en el que también participa Juan José Potti. Vandana, con una destacada trayectoria en marketing y comunicación, asumirá el liderazgo del comité con el objetivo de fortalecer la comunicación estratégica de EAPA y optimizar el valor de los pavimentos asfálticos a nivel europeo. Con esta elección, EAPA consolida su compromiso con la innovación y el desarrollo de estrategias efectivas para atraer y conectar con una audiencia cada vez más diversa y comprometida en la sostenibilidad y modernización del sector.

### ASEFMA participa en la Jornada Técnica de la Cátedra PADECASA-UAX dedicada a la Transformación Industrial de la Agrupación PADECASA – CYCASA

En el marco del Día Mundial contra el Cambio Climático, el pasado 24 de octubre se celebró la Jornada Técnica de la Cátedra PADECASA-UAX, en el Campus Madrid-Chamberí de la Universidad Alfonso X el Sabio. Con un enfoque en la transformación industrial, la agrupación PADECASA-CYCASA ha compartido los resultados de su proyecto PATSYD/22/00032 de transformación digital que tiene por título “Transformación industrial de la agrupación Padecasa-Cycasa para la atención de la demanda de pavimentos sostenibles a gran escala”, desarrollado en las instalaciones de Ávila y Burgos, dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (MITMS).

El responsable técnico de ASEFMA, José Luis Peña, ha participado con una charla sobre el impacto del PRTR en el sector de la pavimentación asfáltica, destacando cómo los fondos europeos están impulsando el uso de tecnologías sostenibles, así como prácticas más eficientes. En este sentido, explicó cómo se está llevando a cabo en España, por parte del sector de la pavi-

mentación asfáltica, el proceso de descarbonización y de aplicación de criterios de economía circular en la construcción y mantenimiento de las carreteras, comparándolo con la hoja de ruta desarrollada en otros países.

J.L Peña también intervino en representación de ASEFMA en la mesa redonda donde se debatieron desafíos y oportunidades de la transformación industrial en el sector. La mesa, coordinada por el profesor Ángel Sampedro, contó con la representación de Padecasa, Cycasa y MITMS.

Entre las intervenciones previas, Antonio Muruais, subdirector general de Sostenibilidad e Innovación en la Dirección General de Carreteras del MITMS, resaltó la importancia de la sostenibilidad y la innovación en el desarrollo de infraestructuras de transporte. Javier Loma, director de tecnología de Padecasa, abordó los objetivos alcanzados con los fondos del PRTR en la agrupación Padecasa-Cycasa y Ángel Sampedro, coordinador de la cátedra UAX-Padecasa, presentó las mejoras ambientales obtenidas a través de esta transformación industrial, destacando su contribución a la sostenibilidad.

### ATEB celebró su VI Jornada Nacional el 15 de octubre en Madrid

El pasado 15 de octubre de 2024, la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB) celebró con éxito la VI Jornada Nacional de Emulsiones Bituminosas en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSICCP). Este evento reunió a destacados expertos, autoridades y profesionales de la ingeniería civil para explorar los avances en técnicas de pavimentación sostenibles, especialmente a través del uso de emulsiones bituminosas, un elemento clave en el diseño de infraestructuras viarias respetuosas con el medio ambiente.

La inauguración estuvo a cargo de José Miguel Atienza, director de la ETSICCP de la Universidad Politécnica de Madrid, Álvaro Navareño, director técnico de la DGC del Ministerio de Transportes y Movilidad



Sostenible y la presidenta de ATEB, Lucía Miranda. En su discurso, destacaron la creciente relevancia de las emulsiones bituminosas en el desarrollo de carreteras sostenibles y subrayaron la importancia de que la ingeniería civil adopte prácticas responsables en todas las fases del ciclo de vida de los proyectos de pavimentación.

Bajo el lema “Pavimentación sostenible e innovadora: contribución de la emulsión bituminosa”, la jornada se estructuró en una charla magistral y tres sesiones conformadas por una serie de conferencias y mesas redondas diseñadas para abordar distintos aspectos técnicos, normativos y prácticos sobre el uso de emulsiones. En cada sesión, los asistentes profundizaron en temas clave como la reutilización in situ de pavimentos, el futuro marco normativo en lo relativo a sostenibilidad ambiental, junto a desafíos y oportunidades de futuro para el sector de la pavimentación. La jornada sirvió como un espacio de encuentro para que los asistentes compartieran experiencias, ideas y soluciones en torno a una tecnología que se perfila como esencial para el desarrollo de infraestructuras más ecológicas.

La VI Jornada Nacional de ATEB reafirmó el compromiso de la asociación y de sus miembros en la promoción de tecnologías y técnicas sostenibles en el ámbito de la pavimentación. Los conocimientos compartidos y las experiencias intercambiadas durante el evento resaltaron la importancia de las emulsiones bituminosas como una solución efectiva y respetuosa con el medio ambiente para la construcción y conservación de infraestructuras viarias.

### Barcelona acoge al 27 VYODEAL y al Foro de Gestores de Carreteras Provinciales

Barcelona acogió por segunda vez la celebración del

Vyodeal • La evolución de las redes locales fue tema de debate en este 27º Vyodeal durante los días 16 y 17 de octubre de 2024 • El día anterior tuvo lugar el Foro de Gestores de Carreteras donde los principales asuntos de la agenda fueron la Descarbonización y flexibilización fiscal en las inversiones en estas infraestructuras y sirvió también para dar repaso al contenido del “Manifiesto por la relevancia de la red local de carreteras”, un detallado documento elaborado por el Foro en el que se analizan tanto las características de esta malla como sus peculiaridades, ofreciendo una visión pormenorizada del imprescindible papel que juega en el conjunto de la movilidad en nuestro país. Participaron representantes de las Diputaciones de Badajoz, Barcelona, Girona, Huelva, Lleida, Tarragona, Valencia y Valladolid, además del Cabildo de Gran Canaria.



El Manifiesto fue rubricado el miércoles 16 de octubre, tras la inauguración del 27º Vyodeal.

El programa técnico se estructuró en seis sesiones de trabajo:

SESIÓN I: RED LOCAL: LA RED SOCIAL POR ANTONOMASIA.

SESIÓN II: DE CAMINOS A CARRETERAS Y CALLES: LOS RETOS DE LA GESTIÓN DE UNA RED QUE EVOLUCIONA.

SESIÓN III: RETOS DE LA MOVILIDAD SEGURA.

SESIÓN IV: EL RETO AMBIENTAL EN LAS VÍAS LOCALES.

SESIÓN V: UNA MIRADA HUMANISTA A LA RED LOCAL DE CARRETERAS.

SESIÓN VI: EL PROCESO DE DIGITALIZACIÓN DE LAS REDES LOCALES.

Organizado por la Asociación Española de la Carretera, el congreso ha contado con la colaboración de la Diputación de Barcelona y con la asistencia de cerca de

200 profesionales entre los días 16 y 17 de octubre, en el Paraninfo de l'Escola Industrial de la Ciudad Condal.



En el marco de la sesión de clausura, D. Valentín Aceña, Gerente de Servicios de Infraestructuras Viarías y Movilidad de la Diputación de Barcelona, procedió a la lectura de conclusiones señalando, en primer lugar, los principios que “deben orientar la gestión de la red local de carreteras, que son la humanización, enfrentarse al reto climático y avanzar en la transformación digital”. Aseguró, asimismo, que “las carreteras son garantía de accesibilidad, equidad en el acceso a los servicios públicos y de equilibrio territorial, y todo ello resulta una excelente herramienta para la lucha contra el reto demográfico”.

La necesidad de luchar por la calidad de la red local; la demanda de financiación acorde y continuada; la formación de equipos gestores más numerosos, multidisciplinarios y actualizados; el avance hacia la descarbonización o la mejora de la estrategia de comunicación alrededor de la carretera local han sido otras de las ideas que se han extraído de los debates.

La Presidenta de la Diputación de Barcelona, Dña. Lluïsa Moret, clausuró este encuentro junto al Presidente de la Asociación Española de la Carretera (AEC), Juan Francisco Lazcano.

## SIMEVIA, una solución para la ejecución y el mantenimiento de carreteras con IA, se alza con el “X Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernández del Campo”

La solución bautizada como SIMEVIA (Sistema Integrado de Mantenimiento y Ejecución Eficiente de Infraestructuras Viales con Tecnologías de Inteligencia Ar-



tificial), desarrollada por un grupo de investigadores de las empresas españolas Pavasal y Tekniker, se ha alzado con el "Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernández del Campo" en su décima edición. El Jurado del certamen consideró esta investigación como el mejor trabajo de innovación en carreteras presentado a concurso.

En su exposición de objetivos, los autores del trabajo ganador aseguran que el mundo de la construcción presenta un porcentaje bajo de empresas que utilizan soluciones de Inteligencia Artificial (IA). Por esta razón, el objetivo de SIMEVIA es desarrollar soluciones innovadoras con tecnologías de IA que permitan intervenir en toda la cadena de valor de la construcción y el mantenimiento de infraestructuras viarias. Además, estas herramientas tienen que ser eficientes desde el punto de vista económico, medioambiental y de la seguridad de los trabajadores.

En este sentido, SIMEVIA integra el uso de la Inteligencia Artificial en aspectos como la automatización de tareas de producción y conservación de vías; la mejora en la toma de decisiones, reduciendo costes y tiempos; la optimización logística o el incremento en la seguridad, tanto en el empleo de maquinaria pesada como en tareas de conservación de carreteras.

El "Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernández del Campo", convocado por la Fundación de la Asociación Española de la Carretera (FAEC), está dotado con 12.000 euros en metálico, además de la publicación del trabajo en una edición impresa de colección. ¡¡¡Enhorabuena a los autores de este trabajo!!!

### CEPSA se transforma en MOEVE

El 30 de octubre fue día histórico para la compañía CEPSA que dio un paso más en su transformación y



presentó la nueva marca Moeve. Una marca que refleja su evolución para ser una empresa energética centrada en energías y movilidad sostenibles y que aspira a ser un referente europeo de la transición energética.

CEPSA es una compañía que lleva más de 90 años comprometida con el sector de la energía, la química y la movilidad. Gracias a este pasado, hoy es una organización preparada para construir un nuevo futuro. Siempre dispuestos a innovar y a emprender.

Fieles a ese espíritu, en 2022 CEPSA lanzó la estrategia Positive Motion. Gracias al talento y el compromiso de toda la organización, han experimentado uno de los procesos de transformación más rápidos en nuestro sector.

Moeve representa esta transformación, cómo vamos a mover a los clientes, los mercados y la sociedad en su conjunto hacia un futuro descarbonizado. Una nueva marca que refleja movimiento, optimismo, evolución, valentía y energía a través de diferentes colores inspirados en la naturaleza, que desafían lo establecido. Moeve es una marca diseñada por y para las personas, que abre puertas al mundo de la energía sostenible y que construirá su posicionamiento en la categoría de moléculas verdes.

Maarten Wetselaar, CEO de Moeve comunicó que los pilares de Moeve son el propósito y los valores de una compañía que mantiene su compromiso con la seguridad, el bienestar y el desarrollo de nuestros equipos y comunidades.

Damos la bienvenida por tanto a esta nueva etapa ilusionante porque Juntos, este futuro tiene futuro.

# Resumen XIX Jornada Nacional de ASEFMA

**Pablo Álvarez**

Jefe de laboratorio e I+D+i de asfaltos en Becsa

Me asomo a esta ventana cuando aún resuenan los ecos de la tragedia que recientemente ha golpeado a varias regiones españolas y muy especialmente a la Comunidad Valenciana, desde dónde les escribo, tras el paso de la DANA. Y como comprenderán, es lo primero que me ha venido a la cabeza al enfrentarme a este folio en blanco, pues lo acontecido coincidió en el tiempo con la celebración en Madrid de nuestra XIX Jornada Nacional. No teníamos información suficiente y aún no conocíamos la dimensión del desastre en su totalidad. Desde aquí permítanme que mande un afectuoso abrazo, en nombre de todos, a todas las personas que se hayan visto afectadas en lo personal o en lo material como modesto complemento al minuto de silencio que guardamos en el segundo día del evento.

Un evento en el que este año, precisamente, se habló fundamentalmente de personas. Cambiamos de rumbo en esta travesía que realizamos cada año y pusimos proa hacia uno de los problemas que afecta de manera más acuciante al mundo de la pavimentación. El relevo generacional y la atracción de talento joven hacia un sector que trata de seguir siendo referente innovador para la carretera.

Y como somos innovadores y nos adaptamos, pues lo primero que hicimos es reacomodar la apertura a las condiciones de contorno. Un día de especial tráfico caótico en Madrid nos privó de que Juan Pedro Fernández Palomino, Director General de Carreteras del MITMS, nos acompañara desde primera hora para proceder a la inauguración de la jornada, que pospusimos ligeramen-



te. Gracias Juan Pedro por el esfuerzo dentro del caos. Y por hacer énfasis, junto a nuestro presidente ejecutivo, en que la política de atracción de talento es fundamental para desarrollar toda la actividad que prevé su ministerio en los próximos años, en pro de un upgrade (ya salió el anglicismo) más que necesario para nuestras carreteras.

Nuria Uguet, Directora Técnica de Eurovia España, tomó la batuta para coordinar la sesión 1 que trató, como suele ser habitual, de ponernos frente al espejo. Pedro Fernández Alén Presidente de la Confederación Nacional de la Construcción (CNC), nos vino a certificar lo que ya intuíamos; envejecemos y mucho. La edad media del sector de la construcción fue de 45 años en 2023, con un 8.5% de las personas trabajadoras con 60 años o más. Hubo hueco para una noticia esperanzadora: en el último trimestre del que tenemos datos este año se ha producido un crecimiento en el porcentaje de jóvenes en el sector. Luz tenue al final del túnel, de momento. Pero luz. A continuación, Ralf Pomp, actual presidente de EAPA, nos constató que el problema del relevo generacional es una realidad para el sector también a nivel euro-



peo. Una frase lo resume; de seguir así, 3 de cada 4 trabajadores tendrán más de 60 años en 2030. Abrumador. Para cerrar esta sesión 1, Pedro Pampillón, del Cuerpo de ICCP del Estado y profesor en UAX, nos trajo la visión desde la administración. Las cifras presentan un paralelismo que asusta. Está claro que el problema concierne a todos los actores de esta obra que representamos a diario.

Tomó el relevo en la coordinación Ángel Sampedro, Director del Área de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Alfonso X, para comenzar la sesión 2. Y él mismo fue el encargado de abrirla. Me quedaría con dos ideas claras de su charla sobre la incorporación de talento. Atraer el talento es un juego de dos; el atrayente y el atraído. Ambos deben poner de su parte. Y otra cosa. Esto tiene dos fases igual de importantes: atraer y retener. Nos fuimos a la pausa del café y tras ella, Laura Castela, de la Fundación Laboral de la Construcción nos trajo una visión desde fuera de la caja. Dinámicas de escape room para dar a conocer el sector de la construcción a los más jóvenes desde un enfoque muy innovador. CIONITIA, quédense con el nombre; aire fresco. Continuamos con Hugo Tasis, Director de Personas y Cultura en Collosa, que nos presentó una interesante iniciativa de FP Dual impulsada por la empresa. Aprender un oficio y hacer carrera. Qué importante fijar un itinerario profesional. Por último, Jesús Carretero, de Quimacova, nos proporcionó la visión desde el sector químico, comentándonos cómo funcionan para atraer talento desde otras asociaciones. Me quedo con esto: amoldar la formación poniendo en contacto centros de formación y empresa. Fundamental.

La sesión 3 estuvo coordinada por Javier Loma, Director de Tecnología y Desarrollo en Padecasa, y se vertebraó entorno a la mesa redonda de representantes de universidades. Y vaya representantes. Contamos con la presencia de Eugenio Pellicer, Mayca Rubio, Daniel Castro, Rodrigo Miró y Manuel Romana. Me disculparán que no les haga presentación explícita de cargo; dadas sus trayectorias, me quedaría sin espacio en la revista. Difícil resumen de lo escuchado ante tanto contenido. Podríamos decir que se recupera, en parte, el número de matriculaciones en las ingenierías desde la caída poscrisis y que para que el engranaje formación-empleo funcione sincronizado hay que reivindicar la figura del profesor asociado y la formación dual. Deber de la universidad: "reorientar la vocación hacia el camino encontrado". Una percepción personal; los jóvenes han cambiado, es ley. Pero a nivel formativo, no tanto. Otro cantar es lo laboral.

Nos fuimos a comer tras dar un repaso a la mañana y a la vuelta nos esperaba la sesión 4 dedicada a las Me-

jores Prácticas Ambientales 2024. La coordinó Lucía Miranda, Técnica de Asistencia Técnica de Asfaltos en Repsol y asistimos con atención a la presentación de las propuestas finalistas candidatas al premio por parte de Becsa, Cirtec, Collosa, Padecasa-UAX, Sorigué y la UPC. Cerramos la tarde y este primer día de jornada con una novedad. Conocer las propuestas aspirantes al premio a la Innovación en Seguridad Laboral. Primera edición para este premio al que optaban las empresas finalistas Pavasal, Sorigué, Becsa, Padecasa y Probisa. Jesús Felipe, Director Técnico en Pavasal, fue el encargado de guiarnos en esta última sesión del primer día.

Llegamos al segundo día y José Luis Peña nos condujo por la sesión 6, la primera de la mañana, para conocer algunas iniciativas que nos ayuden, o ya lo estén haciendo, a atraer el talento joven al sector. Escuchamos atentamente a Richard J. Willis por parte de NAPA. Cifras apabullantes por la dimensión del país. En 2022 la necesidad de personal cualificado en el sector de la pavimentación en USA se situó en 1.6 millones de personas. Y dato para reflexionar de su estudio de 2018. Según su encuesta inicial, el sector era percibido como peligroso y algo arcaico a pesar de que más de un 40% de los entrevistados afirmaban conocer la actividad. Pre-

gunta inmediata... ¿sabemos contar bien lo que hacemos a los más jóvenes? A continuación, la mesa redonda de iniciativas de algunas de las empresas que conforman Asefma, nos regaló un mapa de propuestas que los departamentos de personal han puesto en marcha constando su proactividad en este campo. Eduardo Fernández (Eurovia), Laura Chico (Eiffage), Sara Berriatúa (Repsol), Lola López (Pavasal), Eloi Baró (Sorigué) y Marimar Colás (Moeve), nos abrieron sus organizaciones y pudimos ver en qué trabajan en referencia al equilibrio profesional/personal y cómo hacen para atraer personal tanto operativo como técnico.

Para cerrar esta sexta sesión, Jean Claude Roffé, miembro de PIARC y embajador de la ERF nos propuso un itinerario por las acciones que empresas y asociaciones de Francia han puesto en marcha para la atracción de talento. De nuevo, el foco puesto en dar a conocer el sector en todas las etapas formativas de los futuros profesionales, con recursos pedagógicos concretos adaptados a cada etapa.

La sesión número 7, que coordinó M<sup>a</sup> Elena Hidalgo, Directora de Calidad, Medio Ambiente e I+D+i de Eiffage, dio por fin voz a los más jóvenes. Había ganas de escucharlos. Llevábamos día y medio hablando de ellos.



## Resumen XIX Jornada Nacional de ASEFMA

En primer lugar, Marina Jiménez de Young Water Professionals Spain (YWP), nos invitó a conocer esta interesante iniciativa del sector del agua que parte de su asociación internacional (IWA) y que persigue la atracción de talento joven a través de propuestas concretas. Importante, de nuevo, ofrecer un itinerario profesional. Tratar de proponer un desarrollo profesional adecuado a las personas que se incorporan a las empresas del sector. La sesión se completó con una mesa redonda de jóvenes pertenecientes al sector. Aida Marzá (Becsa), Patricia Sánchez (Tecnofirmes), Zulema Garcimartín (Padecasa), Carolina Pérez (Eiffage), Patricia Sanz (MITMS) y David Caballero (Probisa) nos hablaron sobre su experiencia propia, poniendo encima de la mesa su visión sobre la coyuntura actual. Se habló sobre perfiles técnicos a incorporar, de la mejora necesaria en la comunicación tanto interna como externa, de la escucha activa que deben implementar las empresas o de lo importable a nuestro sector de la experiencia YWP.

Y desembarcamos en la última sesión, la octava, con la sensación de llevar la maleta cargada con una visión amplia de la situación que atraviesa el sector, con el conocimiento de las herramientas y resortes que estamos activando y con visiones externas enriquecedoras. Y ahora, qué. Pues tocaba escuchar de boca de nuestro Presi-

dente Ejecutivo, Juanjo Potti, hacia dónde quiere caminar el sector en este ámbito: conocimiento con mayor profundidad de las cifras para tener datos concretos de partida, creación de un Young Talent Paving Spain (YTP Spain) o explorar la creación de un Erasmus del asfalto con ayuda de las universidades asociadas a Asefma, fueron algunas de las iniciativas concretas. Dimos paso a la entrega de premios anuales. Este año recayeron en Padecasa en colaboración con UAX, en el caso del MPA 2024, por su Transformación industrial del sector para la obtención de mezclas bituminosas y procesos productivos más sostenibles. En Pavasal, que se alzó con el primer galardón ISL por su proyecto Safetypav y de nuevo Javier Loma (Padecasa) subió al estrado para recoger el premio asfaltero 4.0. Por su parte, los 3 premios a la trayectoria profesional fueron otorgados a José Miguel Baena Rangel (Ayto. Madrid), José Chamizo Carmona (Tecnofirmes) y Juan Pedro Fernández Palomino (Director General Carreteras del MITMS). ¡Enhorabuena a todos!

Y hasta aquí el resumen de lo vivido este año. No quiero irme sin recordarles algo que creo que no debemos perder de vista nunca y que, gracias a la XIX Jornada Nacional, ha retomado especial protagonismo. Esto a lo que nos dedicamos, como todo en la vida, va de personas. No lo olviden. Nos vemos.



# Nueva sección de Aleas



Aleas es la Asociación de Laboratorios de Entidades asociadas a ASEFMA, ha sido constituida en noviembre de 2012 y está formada por laboratorios de empresas fabricantes de mezclas bituminosas, laboratorios de suministradores de ligantes, laboratorios de control de calidad privados, laboratorios de organismos oficiales, así como universidades públicas y privadas. En 2021 se realizó un proceso de reactivación de la Asociación, creando una nueva estructura organizativa y estableciendo objetivos acordes a las necesidades actuales.

El Comité de redacción de la revista Asfalto y Pavimentación ha decidido crear una nueva sección en la revista para informar del estado de los trabajos que se están realizando en Aleas, comunicando con cada edición los avances producidos. Esta nueva sección será coordinada por el director de Aleas, Javier Loma Lozano.

En la actualidad la Asociación de Laboratorios Aleas tiene un presidente, Juan José Potti, un director y es gestionada por un grupo de técnicos que forman el Consejo Gestor, estando actualmente formada por 37



Ilustración 1 Logos de las entidades de Aleas

## Nueva sección de Aleas

entidades de ASEFMA.

Los objetivos fijados desde su inicio en Aleas son estrictamente técnicos, realizando trabajos de aplicación de la normativa, análisis de la metodología de ensayo de materiales bituminosos o también facilitando formación técnica al sector de las mezclas bituminosas. Hay numerosas publicaciones de protocolos de trabajo, documentos técnicos, procedimientos experimentales, guías técnicas o informes que pueden ser consultados y descargados de forma gratuita en: <https://asefma.es/aleas/>

Para ello se han creado varios grupos de trabajo formados por técnicos de distintas entidades donde se coordinan todas las tareas para el cumplimiento de los objetivos fijados en cada uno. Los grupos actuales son los siguientes:

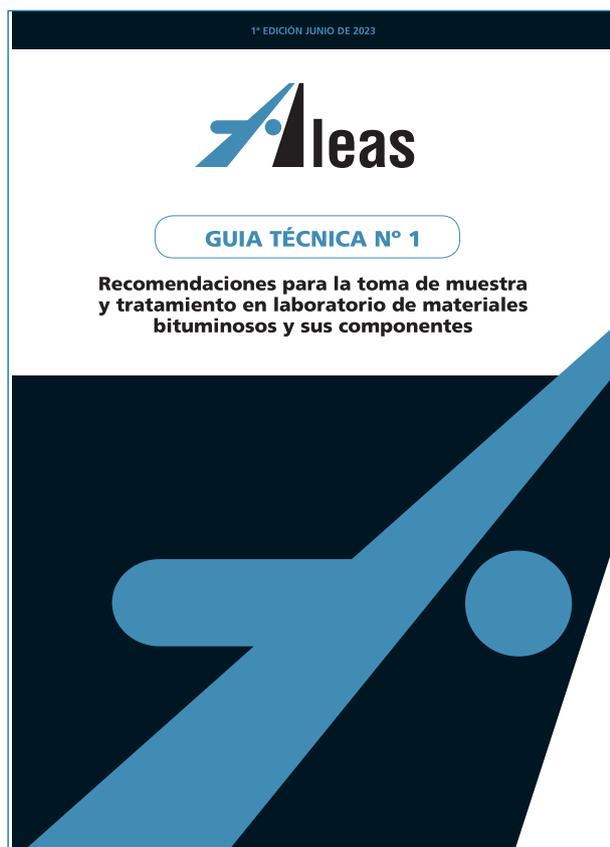


Ilustración 2 Portada de la Guía técnica nº1.

Grupo de trabajo de anillos interlaboratorios, coordinado por Pablo Álvarez Troncoso, de la empresa BECSA.

Este grupo fue creado en 2023 tras la publicación de un trabajo de elaboración de una guía de toma de muestras de materiales, que permite conocer cuál es la problemática y las mejores prácticas para efectuar las operaciones de toma de muestra. Posteriormente se crea el grupo de anillo.

El grupo de interlaboratorio de Aleas nace con un triple espíritu: En primer lugar, trata de adaptar la figura de proveedor de intercomparación para los asociados, con el objetivo de facilitar la autoevaluación de los participantes. En segundo lugar, gracias a la naturaleza de las entidades asociadas, entre las que se encuentran universidades, empresas constructoras, centros tecnológicos y laboratorios, se busca constituir un foro permanente para la puesta en común de las dudas sobre la aplicación de algunos de los procedimientos normativos vigentes que, en ocasiones, son origen de dispersión entre resultados de laboratorio. Por último, este proceso de armonización pretende ser abierto para llegar al mayor número posible de entidades y laboratorios de control de calidad, para conseguir un grado de desempeño óptimo entre todos los agentes intervinientes en los procesos de control de calidad de materiales y obras.

Es un grupo con un carácter abierto dentro de la estructura de grupos de Aleas. No está estructurado con un número de integrantes fijo ya que, cuando se plantea la realización de un ejercicio interlaboratorio, se pregunta a todos los asociados por su interés de participación, obteniendo un número de componentes en cada caso. El grupo tiene una doble vertiente. Por un lado, se encarga de realizar campañas de ensayos interlaboratorio con el fin de que éstas sirvan a las entidades asociadas como evaluación de su desempeño y obtener datos de repetibilidad y reproducibilidad que alimenten el cálculo de incertidumbre de cada laboratorio. Por el otro, sirve de catalizador para los ensayos y pruebas que se realizan en el seno del resto de grupos de tal modo que persigue, entre otros fines, tratar de aunar criterio en la realización de ensayos sobre mezclas bituminosas o sus componentes. Con ese fin cubre las etapas de elaboración de protocolos de ensayo consensuados y análisis de los datos obtenidos en el ejercicio. Para esto último cuenta con un grupo de profesionales de entidades

asociadas especialistas en la estadística propia de este tipo de trabajos.

Hasta la fecha se ha realizado un ejercicio interlaboratorio para la determinación de la densidad máxima de mezclas bituminosas según UNE EN 12697-5 que ha contado con la participación de 20 entidades asociadas. Campezo, Dirección General de Carreteras de Castilla y Leon, Sorigué, Pavasal (con 2 laboratorios), Padecasa, CHM Obras e Infraestructuras, Laboratorio Demarcación de Carreteras del Estado en Valladolid, Orsa, Intromac, Laboratorio General Diputación de Álava, Becsa, Eiffage (con 2 laboratorios), Tecnofirmes, Laboratorio de la DGC de Murcia, Centro de Estudios y Experimentación del Cedex, la Universidad Politécnica de Cataluña UPC, Universidad Politécnica de Valencia UPV y Universidad Politécnica de Madrid UPM.

En breve está previsto el lanzamiento de otro ejercicio interlaboratorio para el ensayo UNE-EN 12697-1:2022 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 1: Contenido de ligante soluble

Grupo de trabajo de mezclas AUTL, coordinado por Jesus Felipe de la empresa Pavasal y por Javier Loma de la empresa Padecasa.

Creado a principios de 2023 con el objetivo de analizar los criterios que aparecen en distinta normativa para las mezclas ultradelgadas recogidas en la norma UNE EN 13108-9 y en el Artículo 545 del Pliego General de Condiciones PG3, analizando los diferentes procedimientos existentes para realizar el diseño de estas mezclas y las mejores prácticas existentes para la puesta en obra. El objetivo del grupo es aportar la visión del sector respecto a la información presentada en los documentos, así como posibles recomendaciones.

En la actualidad cuenta con 14 participantes: Pavasal, Padecasa, Sorigué, Eiffage, Eiffage-Los Serrano, Tecnofirmes, Campezo, Laboratorio del Ministerio de Murcia, laboratorio de Cemosá, Pabasa, Collosa, Universidad Politécnica de Cataluña UPC y el Centro de Estudios y Experimentación del Cedex.

Grupo de trabajo de ensayos prestacionales.

Creado en el año 2021, cuenta actualmente con 22 participantes, comenzó en una primera fase de trabajos con un objetivo de estudiar en mayor profundidad los diferentes tipos de ensayos prestacionales y las posibles

aplicaciones en nuestra actividad. El grupo dividió su trabajo en 5 partes que son:

- I. Conocimiento sobre el funcionamiento de los ensayos prestacionales y su posible incorporación a los sistemas actuales de mezclas bituminosas.
- II. Recopilación de las experiencias y normativa internacional.
- III. Utilización de estos ensayos en los procedimientos de diseño de firmes.
- IV. Recopilación de recursos en Asefma-Aleas para la realización de estos ensayos.
- V. Realizar anillos interlaboratorio con este tipo de ensayos

El trabajo ha concluido a principios de 2024 con la redacción de un documento resumen de todos los logros alcanzados.

Se ha estudiado cual es el funcionamiento y la información que se puede obtener al utilizar este tipo de ensayos materiales, describiendo las distintas posibilidades y posibles usos de estos procedimientos. Se ha realizado también una recopilación de la experiencia internacional y de los recursos disponibles en las entidades pertenecientes a Aleas para poder efectuar todos los ensayos prestacionales que han sido referenciados, obteniendo una visión importante de las posibilidades y fortalezas de la asociación. Se aporta también la valoración aproximada del principal equipamiento estándar para la realización de los ensayos más destacados

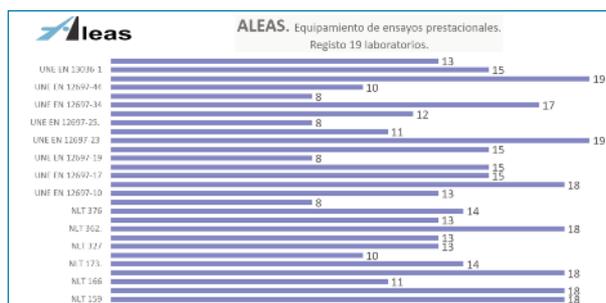


Ilustración 3 Recursos de los equipos para realizar los ensayos prestacionales de entidades de Aleas.

Por último se ha realizado un ensayo interlaboratorio para el ensayo Fenix con el objetivo de conocer su variabilidad y los criterios para su realización, obteniendo un importante cuadro de resultados y conclusiones al tra-

bajo realizado.

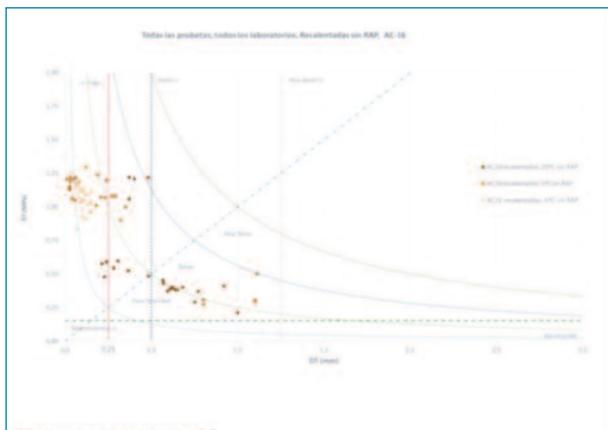


Ilustración 4 Gráfico de resultados de uno de los ensayos realizados en el grupo de trabajo.

Las entidades que participan en el grupo son las siguientes: Padecasa, Pavasal, Asociación Técnica de la Carretera ATC, Probisa, Eiffage, Universidad Alfonso X El Sabio, Universidad Politécnica de Cataluña, Centro de Estudios y Experimentación del Cedex, Laboratorio Ciesm-Intevia, Mecacisa, Eiffage-Los serrano, Laboratorio de Carreteras de la Comunidad de Murcia, Laboratorio de la Demarcación Ministerio Murcia, Asefma, Laboratorio Demarcación de Carreteras del Estado en Valladolid, Laboratorio de Repsol, Laboratorio de Cemos, Orsa, Universidad Politécnica de Valencia, Laboratorio Junta de Castilla y León, Universidad Politécnica de Madrid y Laboratorio de la Comunidad de Madrid.

En los próximos meses hay previstas reuniones del grupo de trabajo donde se definirán los nuevos objeti-



Ilustración 5. Fotografía de una reunión del grupo de trabajo.

vos planteados para los próximos años.

Grupo de trabajo de diseño de mezclas, coordinado por Rebeca Sastre Rabal, de la empresa Pavasal.

Participan técnicos de 8 entidades, que son: Pavasal, Laboratorio de Ciesm-Intevia, Laboratorio de Carreteras de la Comunidad de Murcia, Laboratorio de la Demarcación Ministerio Murcia, Padecasa, Laboratorio de Cemos y Eiffage

El grupo de trabajo comienza en el año 2022 con el principal objetivo en el desarrollo de guías o documentos de ayuda que puedan servir a los técnicos de los laboratorios para el correcto diseño de diferentes tipos de mezclas bituminosas de las normas UNE-EN 13108, unificando criterios para la dosificación de materiales en base a su tipología, aplicación y prestaciones específicas.

Se pretende conseguir herramientas de consulta que permitirán dirigir los trabajos en los laboratorios de control de calidad y materiales para todos los técnicos del sector en cuanto al diseño de diferentes tipos de mezclas, unificando la metodología, condiciones y materiales a emplear para alcanzar las características requeridas.

Hasta el momento se ha redactado un documento correspondiente al diseño de mezclas tipo AC de la norma UNE-EN 13108-1, desarrollado según las directrices iniciales establecidas a falta de su revisión por los participantes y nuevas aportaciones para los materiales procedentes del fresado de pavimentos según avancen los trabajos.

Los documentos para el diseño de las mezclas BBTM (UNE-EN 13108-2) y SMA (UNE-EN 13108-5), se han iniciado, habiendo desarrollado unos primeros borradores que se encuentran en fase de revisión.

En las próximas reuniones se definirán los objetivos para el próximo año, entre ellos poder diferenciar en el diseño las mezclas AC y SMA, en función de su ubicación en la sección de firmes, entre capas de base, intermedia o rodadura (sometidas a distintas solicitaciones y funcionalidades), incorporar nuevos ensayos prescriptivos según OC 02/2023 de la rigidez (UNE-EN 12697-26), fatiga (UNE-EN 12697-24) y Fénix (NLT-383) para las mezclas con incorporación de RA a nivel de la fórmula de trabajo. Se tiene previsto también incluir un ejemplo para el diseño completo de cada uno de los ti-

pos de mezclas, con y sin incorporación de RA.

Grupo de trabajo de ensayos para materiales reutilizados, coordinado por Jose Luis Peña de ASEFMA.

En este grupo de trabajo participan técnicos de 15 organizaciones muy diversas: empresas constructoras, laboratorios de I+D y control de calidad, universidades y laboratorios de administraciones públicas. Más concretamente: Asfaltos Vicálvaro, Becsa, Campezo, Cedex, Cemos, Ciesm-Intevia, Eiffage, Intromac, Laboratorio Región de Murcia, MITMS (Demarcación de Murcia), Padecasa, Repsol, Tecnofirmes, UGR y UPV.

El reto principal que aborda este grupo de trabajo es el desarrollo de métodos de control de calidad sencillos y operativos que permitan evaluar cuantitativamente cómo influye la incorporación de asfalto recuperado y aditivos a las mezclas bituminosas en las prestaciones de las mezclas bituminosas, muy especialmente en lo referido a la resistencia a la fisuración.

La normativa existente no dispone de ningún método de control de calidad rápido que permita discriminar los cambios realizados en la formulación o las condiciones de fabricación, siendo esta necesidad crítica para poder aumentar las tasas de asfalto recuperado en las mezclas bituminosas sin perjudicar a otras prestaciones funcionales.

Se están llevando a cabo ensayos utilizando el método Fénix (NLT-383) y mediante el método SCB (UNE EN 12697-44; "Propagación de fisura por el ensayo de flexión con una probeta semicircular"), así como ensayos reológicos sobre los ligantes de aportación y envejecidos y tecnologías de caracterización del grado de oxidación del betún mediante FTIR (Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier).

Grupo de trabajo de ensayos de mezclas a menor temperatura, grupo coordinado por Marisol Barral.

Las 10 entidades que participan en el grupo son las siguientes: Campezo, Laboratorio de Carreteras de la Comunidad de Murcia, Eiffage, Campezo, Sorigué, Centro de Estudios y Experimentación del Cedex, Laboratorio Diputación Foral de Alava, Padecasa, Tecnofirmes y Becsa.

En su inicio se redactó un procedimiento experimental para determinar los principales parámetros de control de la espumación de los betunes en planta y labora-

torio: Relación de expansividad y vida media. Hasta el momento su trabajo se ha enfocado a realizar un anillo para las mezclas semicalientes fabricadas con espuma de betún y aditivos de baja temperatura, presentando ya los primeros resultados en comunicaciones a congresos internacionales del asfalto (CILA de Granada 2024)

En la actualidad se está pendiente de confirmación la redacción de una monografía que englobe todos los resultados.

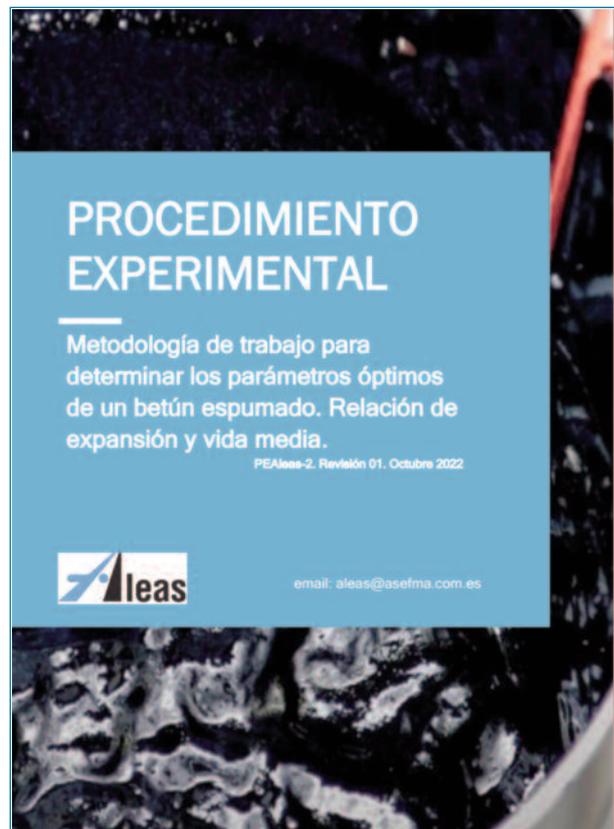


Ilustración 6. Portada procedimiento experimental espumación.

Los objetivos generales del grupo es la definición de la metodología y ensayos de caracterización de las mezclas bituminosas a baja temperatura: semicalientes, templadas y frío, así como definir las etapas de diseño y control de calidad.

Como objetivos más específicos tenemos los siguientes:

- 1.-Definición de la problemática y dificultades encontradas en la actualidad con estas técnicas a nivel de laboratorio.

## Nueva sección de Aleas

2.- Realizar una revisión bibliográfica a nivel internacional de los ensayos que se utilizan en otros países para la caracterización y la toma de muestra de este tipo de mezclas.

3.- Definición de las propiedades mecánicas más relevantes y los ensayos que se deben utilizar para su determinación en cada etapa: diseño y control de calidad.

4.- Estudio de otros ensayos no mecánicos, como por ejemplo densidad en laboratorio vs obra

Los resultados que se vayan obteniendo en los ensayos del grupo nos aportará información para importante para posibles futuras especificaciones.

### **"El Técnico responde".**

Otra de las novedades en Aleas presentada en el año 2022 es la sección de comunicación llamada: **El técnico responde**. Se trata de un canal de comunicación por mail por el cual cualquier persona puede formular preguntas o dudas sobre trabajos relacionados con nuestra actividad, relativa a trabajos de laboratorio, siendo respondido por técnicos pertenecientes a la Asociación.

En la parte formativa, se está preparando un curso de laboratorio con una primera parte teórica y una segunda parte práctica junto con el CEDEX, dirigido a técnicos y analistas de laboratorios y empresas sobre algunos de los ensayos prestacionales. Este curso pretende ser el primero de una serie de cursos de formación para aportar conocimiento sobre los ensayos definidos, con un formato teórico-practico que permita adiestrar a las personas de los laboratorios.

Durante el primer trimestre de 2025 se definirán nuevos objetivos para cada uno de los grupos de trabajo a realizar durante el próximo periodo. La planificación y los resultados que se vayan obteniendo serán comunicados a través de esta sección en la revista.



Ilustración 7. Logo "El técnico responde" de Aleas.

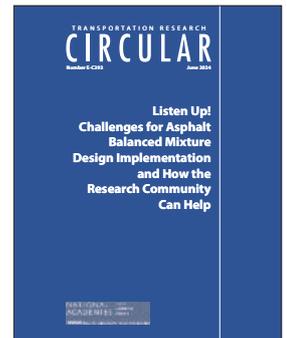
# Lecturas recomendadas

***Listen Up! Challenges for Asphalt Balanced Mixture Design Implementation and How the Research Community Can Help. 2024. Transportation Research Circular E-C292. Transportation Research Board (TRB). 22 páginas.***

Los recientes avances en los ensayos mecánicos de mezclas asfálticas, a menudo denominadas "ensayos de rendimiento", trajeron a la comunidad del asfalto el concepto de diseño de mezcla equilibrada (Balanced Mix Design, BMD) y el uso de estos métodos de ensayo para ampliar o ir más allá del diseño volumétrico.

El BMD representa un cambio fundamental en las metodologías de diseño de mezclas asfálticas, que promete mejores prestaciones del pavimento y potencial para la innovación por parte de los contratistas para satisfacer la necesidad de mejoras de rendimiento. Sin embargo, su integración en las prácticas existentes plantea desafíos multifacéticos para agencias, consultores y contratistas por igual. En esta publicación se profundiza en algunos de estos desafíos desde diversas perspectivas, ofreciendo información extraída de las experiencias en diferentes sectores de la comunidad del asfalto. Este documento representa el resumen de una sesión titulada "Desafíos y herramientas de implementación del diseño de mezcla equilibrada" que se realizó en la 102.ª Reunión Anual del Transport Research Board (TRB) en Washington, DC, en 2023. La sesión fue organizada y patrocinada por el Comité Permanente sobre Producción y Uso de Asfalto. Durante la sesión, representantes de una agencia, un consultor y un contratista brindaron información a la audiencia sobre los mayores desafíos que enfrentan para la implementación de BMD. Este documento presenta un resumen de esas perspectivas para que la comunidad de investigación pueda comprender mejor las áreas críticas para las que las partes interesadas requieren respuestas para avanzar en la implementación de BMD en los sistemas existentes.

<https://www.trb.org/Publications/Blurbs/183271.aspx>





### *Recomendaciones para el diseño, fabricación y puesta en obra de mezclas a baja temperatura (2023). Comité de Firms. Asociación Técnica de Carreteras Grupo de Trabajo 7 (GT7) –103 páginas*

El documento es el resultado de los trabajos realizados dentro del Grupo de Trabajo GT-7 de la ATC dedicado a las mezclas fabricadas a baja temperatura, constituido por diecisiete expertos en el campo de las mezclas asfálticas, y aborda la problemática de todos los tipos de tecnologías aplicables para conseguir fabricar, extender y compactar mezclas asfálticas fabricadas por debajo de 150°C.

En esencia, constituye la Guía más completa redactada en España sobre el tema y da la posibilidad a los diseñadores de firms de elegir entre las diferentes soluciones en función de las circunstancias concretas de su proyecto teniendo en cuenta todos los aspectos que influyen en su fabricación y puesta en obra.

También se hacen consideraciones sobre la forma en que deben contemplarse a nivel de proyecto y cómo se debe plantear su contratación dentro de los límites de la compra pública ecológica.

Es obvio que la reducción de las temperaturas de fabricación de las mezclas asfálticas supone importantes mejoras en cuanto a la reducción de la huella de carbono y a la mejora de las condiciones de salud e higiene en el trabajo, pero también ofrece ventajas técnicas.

[http://www.atc-piarc.com/publicaciones\\_catalogo.php](http://www.atc-piarc.com/publicaciones_catalogo.php)

#74

## AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“El desarrollo e innovación continua en las mezclas asfálticas permite disponer de soluciones muy eficientes en cuanto a Seguridad Vial con un alto nivel de adherencia y bajo riesgo de hidropelajeo” (Editorial)

#CONFORT\_Y\_SEGURIDAD

## I+D+i.

# Programa EFAPAVES - Efficient Asphalt Pavements del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible



<https://www.transportes.gob.es/carreteras/nuestro-trabajo/innovacion/programa-efapaves>

Como resultado de la consulta preliminar al mercado realizada sobre “construcción de firmes bajo criterios de sostenibilidad, seguridad y eficiencia energética” realizada por el Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, ha surgido la iniciativa EFAPAVES (Efficient Asphalt Pavements) financiada dentro marco del Programa de Compra Pública de Innovación que tiene como propósito impulsar la investigación y la implementación de tecnologías innovadoras y sostenibles en el ámbito de las infraestructuras.

En una primera fase se van a renovar firmes de 114 km de la red de carreteras en Castilla y León, Murcia, Galicia, Asturias, La Rioja, Aragón y Cantabria con materiales reutilizados y sostenibles.

La forma contractual elegida ha sido la de contratos mixtos de proyecto y obra como respuesta a la necesidad de explotar una serie de técnicas innovadoras en la reutilización de firmes, donde la definición inicial de la solución es clave para potenciar los efectos pre-

tendidos, sobre todo en el caso de mezclas que se encuentran incluso fuera del marco normativo actual, como es el caso de las mezclas templadas.

Este plan se inscribe en la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, con la que se busca transformar la red viaria española hacia un modelo más eficiente, resiliente y respetuoso con el medio ambiente.

Las licitaciones fueron publicadas en el mes de octubre y detalles sobre las mismas se pueden consultar a través de la plataforma de contratación del Estado en el siguiente enlace

<https://bit.ly/49dwSO7>

**CEPSA**  
se transforma en  
**moeve**

Juntos impulsamos  
tu futuro

Nuestros ligantes y betunes contribuyen a la economía circular y hacen que las carreteras sean más sostenibles, eficientes y duraderas.



Este futuro  
tiene futuro

# Programa de Apoyo al Transporte Sostenible y Digital (PATSYD)

Mientras se redacta esta sección de la revista se encuentra en marcha el proceso de concurrencia competitiva para la segunda convocatoria del *Programa de Apoyo al Transporte Sostenible y Digital (PATSYD)*, un Programa del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), dotado inicialmente con 460 millones de euros de ayudas de los fondos europeos *Next Generation EU* para la convocatoria de ayudas a empresas privadas y entidades públicas empresariales que desarrollan actividades económicas en el sector del transporte. Se trata de un programa integral de transformación del transporte entre cuyos principales objetivos está el de implantar los avances digitales y la introducción de nuevas tecnologías en el sector del transporte, buscando una repercusión positiva en la competitividad de las empresas.

Este Programa de Apoyo al Transporte Sostenible y Digital financia 13 medidas concretas que se articulan en torno a seis líneas de actuación con unos objetivos muy definidos, entre los cuales destaca el impulso de la modernización, digitalización y sostenibilidad del transporte y sus empresas. Dentro de la componente 6 / línea 4 se ha logrado llegar, gracias a la gestión del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (MITMS), a un importe total de 580 millones de euros, desglosados en un total de 445 dentro del denominado programa de cofinanciación de inversiones y los 135 restantes dentro del programa de eco-incentivos.

Y así, en el año 2022, dentro de la primera convocatoria, se sometieron a un proceso de concurrencia competitiva ayudas para actuaciones sobre la Medida 10 "Pavimentos sostenibles", dentro de la cual los proyectos subvencionables fueron proyectos de apoyo a la renovación o adecuación de medios y maquinaria para producir pavimentos sostenibles bajo alguna de las siguientes técnicas:

- El reciclado (reutilización) de firmes (RAP) en tasas superiores al 15% en mezclas bituminosas en calien-

te o en frío.

- La adición de caucho procedente de polvo de caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil (NFVU).
- El descenso de las temperaturas de fabricación de mezclas bituminosas en caliente mediante la técnica de espumación.

A esta convocatoria acudieron las principales empresas del sector de la pavimentación asfáltica y, tras su resolución en diciembre de 2022, fueron subvencionados un total de 19 proyectos de renovación y adecuación de 32 plantas fijas y 5 plantas móviles para producir pavimentos bituminosos sostenibles. Estos proyectos deberán estar concluidos el 31 de diciembre de 2025.

La implantación de estas mejoras en las instalaciones de fabricación y en los equipos de ejecución de las empresas ha supuesto un gran impulso hacia la transformación digital y sostenible en el sector liderado desde la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), instalando por completo del concepto de Industria 4.0 en el ciclo de vida completo de las mezclas asfálticas, gracias a la incorporación de los siguientes equipos y sistemas, entre otros:

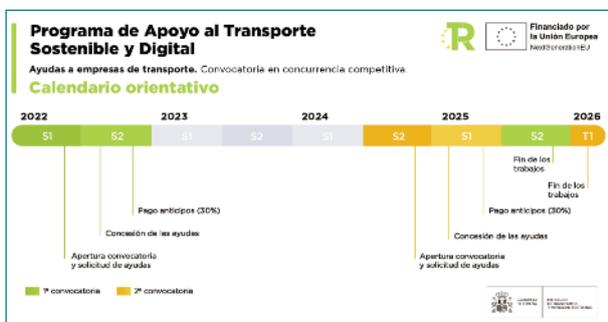
- Humectación de polvo mineral o filler.
- Incorporación de asfalto recuperado (RA) al mezclador.
- Cubierta de acopio del asfalto retirado (RAP).
- Espumación de betún.
- Incorporación de aditivos líquidos y sólidos.
- Calorifugado de tuberías.
- Camiones calorifugados.
- Equipos de extendido de última generación.
- Equipos desfragmentadores y cribas para el asfalto retirado.

Cuando aún se están implantando y comenzando a poner en marcha las mejoras obtenidas mediante la incorporación de dichos equipos, se ha puesto en marcha una segunda convocatoria en octubre de 2024 con pre-

## Programa de Apoyo al Transporte Sostenible y Digital (PATSYD)

supuesto proveniente del remanente de la primera, así como de otros programas del mismo componente cuya implementación no ha llegado a cubrir el 100% del presupuesto originario.

Para contribuir a los objetivos finales del PRTR y garantizar el efecto transformador en la economía, las actuaciones a financiar deben ser lo suficientemente maduras y solventes técnica y financieramente para estar efectivamente implantadas y en funcionamiento antes de finales de 2025, en el caso de la primera convocatoria, y antes del 31 de marzo de 2026, para la segunda



convocatoria, conforme a lo indicado en el siguiente gráfico.

Las propuestas en esta segunda convocatoria van a ser evaluadas en función de su impacto, calidad, madurez y relevancia, y los proyectos subvencionables deben estar orientados hacia la renovación o adecuación de medios y maquinaria para producir pavimentos bituminosos sostenibles mediante alguna de las siguientes técnicas, dentro de la nueva Medida 10 "Acciones de apoyo a la renovación o adecuación de medios y maquinaria para conseguir pavimentos sostenibles: disminución de huella de carbono y sonorreductores", orientada a empresas contratistas de conservación y construcción de carreteras.

Estas ayudas están orientadas a la adquisición o adecuación de equipos para la producción de pavimentos sostenibles, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Equipos mecánicos complementarios en instalaciones de fabricación de mezclas bituminosas en caliente con reutilización de asfalto recuperado (RA) en tasas superiores al 15%. Ejemplo: fresadoras, silos de almacenamiento de áridos, silos de peaje, pretratadores, preclasificadoras, equipos pretratadores,

preclasificadoras, cribas, dispositivos de introducción del RA al mezclador, tolvas de alimentación dosificadoras, tambores dosificación RA, secadoras, cisternas.

- Equipos de reciclado (reutilización) in situ de pavimentos bituminosos en frío. Ejemplo: máquinas recicladoras (reutilizadoras) en frío, compactadores de neumáticos de 35 t, camiones cisterna para reciclado in situ con emulsión y con agua.
- Equipos de espumación de betún para la reducción de la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas en caliente.
- Equipos para la mejora de la eficiencia energética de los procesos de fabricación de pavimentos sostenibles siempre que sean equipos presentes en una planta de producción.
- Equipos para la puesta en obra de pavimentos sostenibles como sistemas de transporte con bajas pérdidas térmicas, sistemas de compactación inteligente o sistemas de control termográfico.
- Mezcladoras móviles autopropulsadas para la fabricación y extendido de microaglomerados en frío.
- Gravilladoras automatizadas para la ejecución de tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla.
- Equipos necesarios para la adecuación de instalaciones de fabricación de mezclas asfálticas en caliente a mezclas con emulsión.

En esta convocatoria se parte de un presupuesto total de 17,05 millones de euros, con la posibilidad de ampliación de 70 millones adicionales, y las actuaciones a financiar deben estar efectivamente implantadas antes del 31 de marzo de 2026.

A día de hoy, se espera que esta segunda convocatoria refrende el éxito obtenido en la primera, y esto ha sido gracias a la capacidad de gestión del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, al "ADN" innovador y sostenible del sector de la pavimentación asfáltica en España, y al impulso que están recibiendo estas técnicas de pavimentación sostenible por parte de los distintos gestores de redes viarias. Gracias a todos ellos el Programa de Apoyo al Transporte Sostenible y Digital (PATSYD) ha encontrado en el pavimento uno de sus mejores aliados.



# asefma

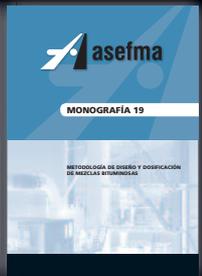
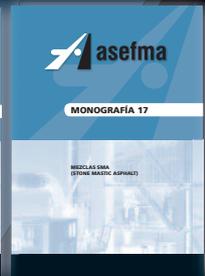
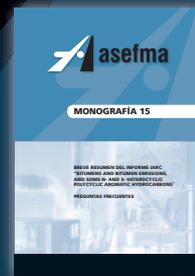
**“reforzamos el firme, consolidamos el futuro”**  
**“by reinforcing pavements, we guarantee the future”**

## Digital impact of @asefma\_es through Twitter, Facebook, Instagram and LinkedIn social networks

- More than 26,000 messages sent
- More than 18,000 engaged followers
- More than 1,000,000 reactions

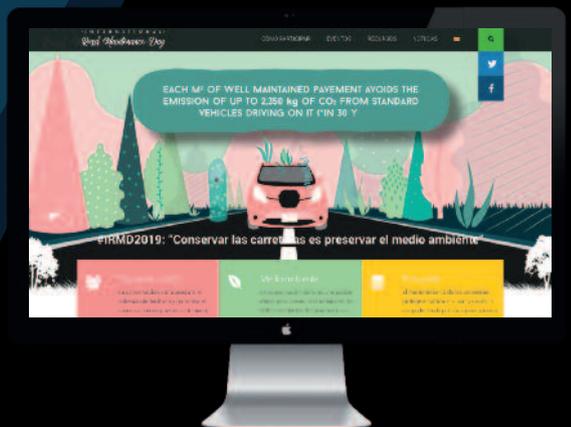


## Últimas monografías publicadas Most recent monographs



**Asefma is promotor of the International Road Maintenance Day (IRMD)**

[www.roadmaintenanceday.org](http://www.roadmaintenanceday.org)



## Catálogo de Capacidades Técnicas Catalogue of Technical Capacities



Síguenos en: / Follow us on:



@asefma\_es



@asefma



@asefma



company/asefma

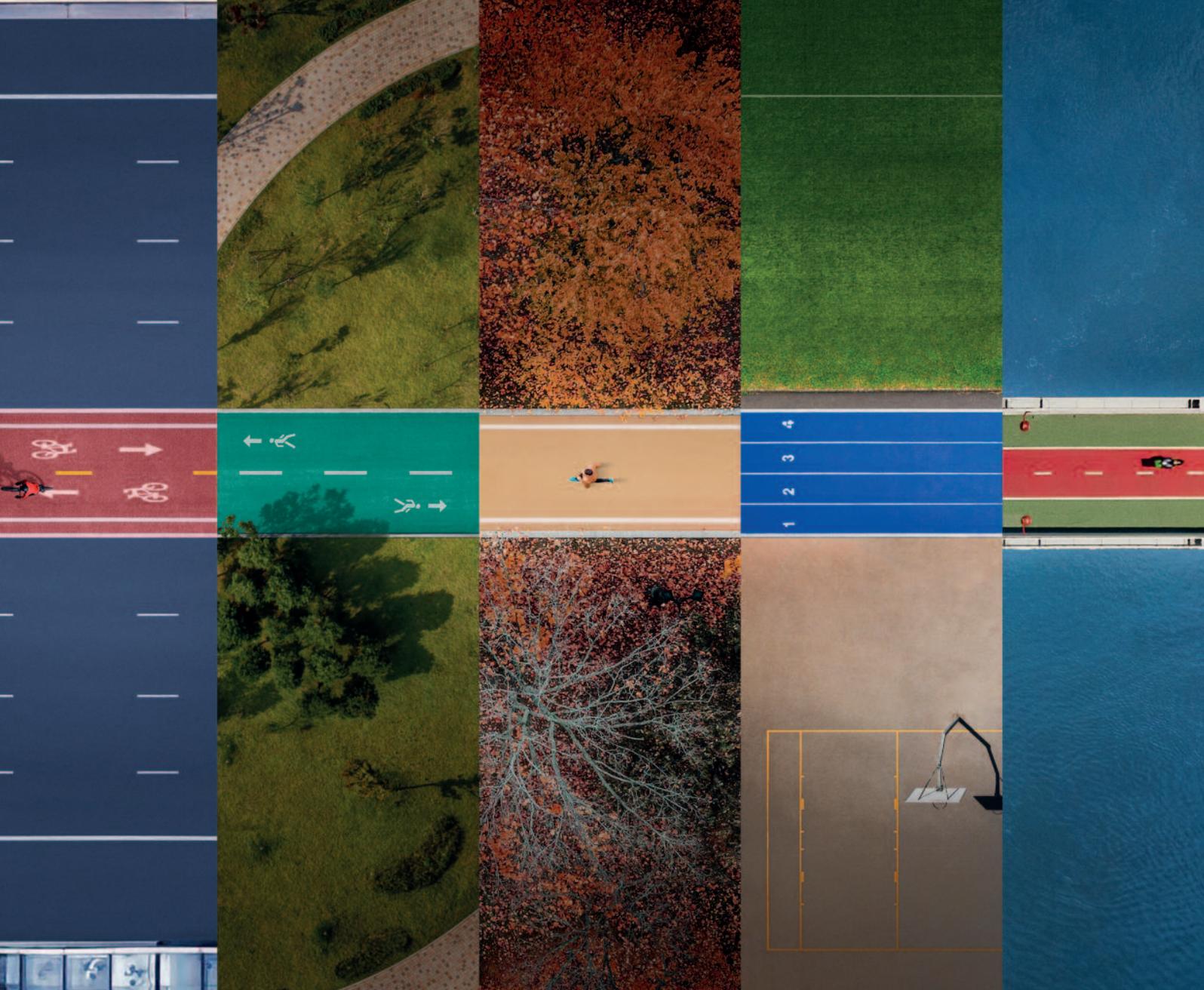
## www.asefma.es

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (ASEFMA)

SPANISH ASSOCIATION OF PRODUCERS OF ASPHALT MIXES

Avda. General Perón, 26  
28020 Madrid (Spain)  
[www.asefma.es](http://www.asefma.es)

T.: +34 911 293 660  
F.: +34 911 293 566  
E.: [asefma@asefma.com.es](mailto:asefma@asefma.com.es)



# Asfaltos Repsol, juntos creamos nuevos caminos en el diseño de nuestro entorno



**REPSOL**

*Inventemos el futuro*

En Repsol **trabajamos a tu lado** para ofrecerte las soluciones de pavimentación que necesitas en cada proyecto. Y para ello, hemos desarrollado **Repsol Color**, una gama de **ligantes sintéticos pigmentables** de **alto rendimiento** para zonas especiales.

- **Fácil pigmentación**, gracias a su formulación especial desarrollada en el Repsol Tech Lab.
- **Alta resistencia** al envejecimiento y oxidación.
- **Personalización**, permitiendo realizar mezclas para obtener el color que desees.
- **Versatilidad** para una perfecta integración paisajística en todo tipo de entornos, como parques y zonas protegidas.



Repsol Compromiso  
Cero Emisiones Netas  
2050



Descubre más  
aquí