

## CT3 FINANCIACIÓN DE CARRETERAS

Propuesta de nuevo modelo de financiación de carreteras: De un modelo agotado a una alternativa sostenible

## RUTAS TÉCNICA

Estudio del comportamiento a largo plazo de diferentes tipos de mezclas con caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil

Elogio de los puentes de piedra. (1ª parte)

Análisis de ciclo de vida y árido siderúrgico. Valoración ambiental de mezclas bituminosas sostenibles

## CULTURA Y CARRETERA

Los sistemas de contención. De los guardarruedas, malecones y quitamiedos a los sistemas ensayados



# NUEVA GAMA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Gracias a la **nueva y mejorada Gama de Emulsiones de Cepsa**, disfruta de soluciones específicas para cada aplicación y optimiza las prestaciones de cada tratamiento.

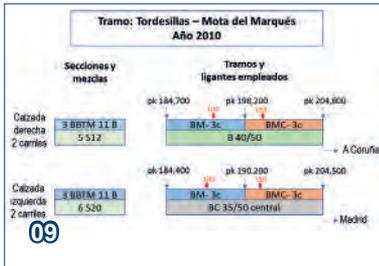
INFÓRMATE EN [cepsa.es/asfaltos](http://cepsa.es/asfaltos)



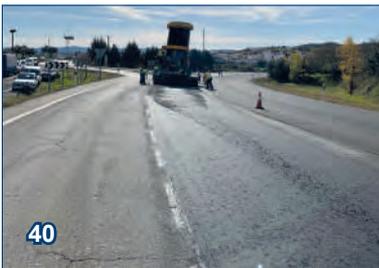
- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| Riegos de adherencia        | Riegos de adherencia termoadherente     |
| Otros riegos auxiliares     | Tratamientos superficiales con gravilla |
| Microaglomerados y Lechadas | Mezclas bituminosas en frío             |
| Mezclas templadas           | Reciclados con emulsión                 |

**CEPSA**

*Tu mundo, más eficiente.*



26



40



46



59

## Tribuna Abierta

- 03 Movilidad, sostenibilidad, eficiencia y "Rutas Técnica"**  
Félix Pérez Jiménez

## CT3 Financiación de Carreteras

- 05 Propuesta de nuevo modelo de financiación de carreteras: De un modelo agotado a una alternativa sostenible**  
Comité de Financiación de la ATC

## Rutas Técnica

- 09 Estudio del comportamiento a largo plazo de diferentes tipos de mezclas con caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil**  
*Long-term behaviour study of different types of crumb rubber asphalt mixes*  
Francisco Javier Payán de Tejada González y Joanna Rodríguez Pérez
- 26 Elogio de los puentes de piedra. Apelación a que los ingenieros los estudien (1ª parte)**  
*Praise of the stone bridges. Exhortation to engineers to study them (I)*  
Francisco Javier León, Benedetta Orfeo y Leonardo Todisco
- 40 Análisis de ciclo de vida y árido siderúrgico. Valoración ambiental de mezclas bituminosas sostenibles**  
*Life cycle assessment and steel slag aggregate. Environmental assessment of sustainable bituminous mixtures*  
José Manuel Blanco Segarra, Anna París y Félix Pedroso

## Cultura y Carretera

- 46 Los sistemas de contención. De los guardarruedas, malecones y quitamiedos a los sistemas ensayados**  
Carlos Casas Nagore

## Entrevista In Memoriam

- 59 José Ramón Pérez de Lama**

## Socios ATC / Publiirreportaje

- 64 Los pavimentos de hormigón convierten las carreteras en sostenibles**

## Actividades del Sector

- 70 El consumo de cemento no consigue recuperarse del covid y cierra el año con una caída cercana al 10%**
- 71 ASEFMA anuncia una caída del 10,1% en el consumo de betún en España para mezclas asfálticas en 2020**

## ATC

- 73 Proximos Eventos ATC**
- 77 Junta Directiva, Comités Técnicos y Socios de la ATC**

#### Edita:

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS  
 Monte Esquinza, 24 4ª Dcha. ♦ 28010 ♦ Madrid  
 Tel.: 913 082 318 ♦ Fax: 913 082 319  
 info@atc-piarc.com - www.atc-piarc.com

#### Comité Editorial:

##### Presidenta:

M<sup>a</sup> del Rosario Cornejo Arribas Presidenta de la Asociación Técnica de Carreteras (España)

##### Vicepresidente Ejecutivo:

Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez Dirección General de Carreteras, MITMA (España)

#### Vocales:

Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior (España)
Alfredo García García	Catedrático de la Universitat Politècnica de València (España)
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS España (España)
Mariló Jiménez Mateos	Jefa de Área Técnica Estudios, MITMA (España)
María Martínez Nicolau	Directora Técnica de Innovia-Coptalia (España)
Félix Pérez Jiménez	Catedrático de Caminos de la Universidad Politécnica de Barcelona (España)
Manuel Romana García	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (España)
Jesús J. Rubio Alférez	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)
Javier Sainz de los Terreros Goñi	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)
Fernando Varela Soto	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (España)

#### Vocales-Representantes de los Comités Técnicos de la ATC:

Rafael López Guarga	Presidente del CT de Túneles de Carreteras
Luis Azcue Rodríguez	Presidente del CT de Vialidad Invernal
Javier Payán de Tejada	Presidente del CT de Firms de Carreteras
Fernando Pedrazo Majarrez	Presidente del CT de Planificación, Diseño y Tráfico
Álvaro Parrilla Alcaide	Presidente del CT de Geotecnia Vial
Vicente Vilanova Martínez-Falero	Presidente del CT de Conservación y Gestión
Álvaro Navareño Rojo	Presidente del CT de Puentes de Carreteras
Roberto Llamas Rubio	Presidente del CT de Seguridad Vial
Antonio Sánchez Trujillano	Presidente del CT de Carreteras y Medio Ambiente
Andrés Costa Hernández	Presidente del CT de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico

#### Redacción, Maquetación, Diseño, Producción y Gestión Publicitaria:

Asociación Técnica de Carreteras  
 Tel.: 91 308 23 18 ♦ info@atc-piarc.com

#### Arte Final, Impresión y Distribución:

Huna Comunicación (Huna Soluciones Gráficas S. L.)  
 Tel.: 91 029 26 30 ♦ www.hunacomunicacion.es

Depósito Legal: M-7028-1986 - ISSN: 1130-7102  
 Todos los derechos reservados.

La Revista Rutas publica trabajos originales de investigación, así como trabajos de síntesis, sobre cualquier campo relacionado con las infraestructuras lineales. Todos los trabajos son revisados de forma crítica al menos por dos especialistas y por el Comité de Redacción, los cuales decidirán sobre su publicación. Solamente serán considerados los artículos que no hayan sido, total o parcialmente, publicados en otras revistas, españolas o extranjeras. Las opiniones vertidas en las páginas de esta revista no coinciden necesariamente con las de la Asociación ni con las del Comité de Redacción de la revista.

Precio en España: 18 euros +IVA

© Asociación Técnica de Carreteras

#### REVISTA RUTAS

La Revista Rutas desde 1986, año de su creación, es la revista editada por la Asociación Técnica de Carreteras (Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera).

Las principales misiones de la Asociación, reflejadas en sus Estatutos son:

- Constituir un foro neutral, objetivo e independiente, en el que las administraciones de carreteras de los distintos ámbitos territoriales (el Estado, las comunidades autónomas, las provincias y los municipios), los organismos y entidades públicas y privadas, las empresas y los técnicos interesados a título individual en las carreteras en España, puedan discutir libremente todos los problemas técnicos, económicos y sociales relacionados con las carreteras y la circulación viaria, intercambiar información técnica y coordinar actuaciones, proponer normativas, etc.
- La promoción, estudio y patrocinio de aquellas iniciativas que conduzcan a la mejora de las carreteras y de la circulación viaria, así como a la mejora y extensión de las técnicas relacionadas con el planteamiento, proyecto, construcción, explotación, conservación y rehabilitación de las carreteras y vías de circulación.



Nº 186 ENERO - MARZO 2021

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Fotografía de portada: Jean Laurent

# Movilidad, sostenibilidad, eficiencia y “RUTAS TECNICA”

**Félix Pérez Jiménez**

*Catedrático Caminos ETSICCP Barcelona  
Vocal Comité Editorial Revista RUTAS*

A lo largo de la historia, las personas han tenido la necesidad de moverse y de transportar sus mercancías. Para esto se han ido implementando y organizando las redes de caminos, han hecho uso de los ríos y los océanos, y, en la actualidad, también del aire. Se han ido estableciendo así una serie de sistemas de transportes: terrestre, marítimo y aéreo, dónde las redes de caminos y carreteras constituyen un elemento esencial. Las carreteras tienen por tanto un fin funcional, posibilitar la movilidad de las personas. Esta movilidad ha de tener una serie de cualidades o cumplir una serie de requisitos relativos a seguridad, comodidad, durabilidad, eficiencia energética, impacto ambiental, etc, que siempre son tenidos en cuenta en el proyecto y construcción de una carretera, pero que tienen una mayor o menor incidencia social dependiendo del ámbito cultural o estado de ideas preponderante en cada momento. El problema

es que muchas veces queremos dar preponderancia o resaltar uno de estos aspectos olvidándonos de los otros. Esto hace que cuando las modas cambian y aparece la preocupación por un nuevo aspecto, seguridad, resiliencia, reciclado, etcétera, de la impresión de que nunca se haya tenido en cuenta en el proyecto de las redes de carreteras.

Viene esta disertación a raíz de una serie de comentarios y reflexiones que hubo dentro de la Comisión Editorial sobre crear un nuevo apartado en la revista Rutas para los artículos relacionados con la economía circular, con la reutilización de materiales o sobre medio ambiente. Actualmente los documentos enviados a la revista se dividen en artículos técnicos “Rutas Técnica” y aquellos que tienen un carácter de información y divulgación. La mayoría de los artículos técnicos publicados han tratado sobre materiales, construcción o diseño y auscultación de

pavimentos, pero esto no quiere decir que no se han considerado ni deban incluirse en esta sección artículos que hablen sobre economía circular, o la reducción de gases nocivos, por ejemplo. Es más, estos artículos suelen estar basados en el empleo y uso de nuevos materiales, o reutilización y reciclado de los mismos, que las empresas constructoras y los técnicos de carreteras han elaborado y puesto a punto por haber tenido presente precisamente esa preocupación ambiental o económica en el proyecto y construcción de la carretera. Pueden ser también artículos técnicos, que sin tratar directamente sobre la carretera, proporcionen herramientas o procedimientos de análisis y estudio que completen y mejoren las buenas prácticas de los técnicos de carreteras.

En la década de los setenta, la principal preocupación social relativa a la carretera estaba relacionada con la seguridad. Uno de los problemas detectados fue el

deslizamiento con lluvia y presencia de agua en la superficie de la carretera. Se intentaron buscar soluciones basadas en el aumento de la textura la carretera, riegos especiales con gravilla, al igual que mejorar el dibujo de los neumáticos. La solución más innovadora vino del mundo de la carretera, con los pavimentos drenantes. Al eliminar este tipo de pavimentos el agua de la superficie la carretera incluso con lluvia, mejoró la seguridad y la comodidad de la circulación. Esta innovación tuvo una repercusión ambiental también muy importante, ya que ayudó a reducir el ruido de tráfico. Implementar esta solución supuso también una innovación en el desarrollo de productos, betunes modificados con polímeros, en los procedimientos de ensayo control, y aumentaron y mejoraron los conocimientos sobre la técnica de carreteras.

En estos últimos años, la preocupación social se ha centrado más sobre el medio ambiente y la contaminación por gases nocivos o efecto invernadero. Las publicaciones de Rutas Técnica en este periodo tienen que ver más con esos temas en su doble vertiente, el desarrollo de nuevos productos y mostrar su efecto. Se ha trabajado en la reutilización de los materiales del firme y evitar el uso de materiales vírgenes, disminuyendo la apertura de canteras y el uso de ligantes bituminosos. También se han reciclado materiales en la construcción de carreteras, como materiales provenientes de la demolición de edificios, de polvo de neumáticos usados, de aceites minerales ya usados provenientes de maquinarias y automóviles, etc. En este número se recogen artículos en donde se cuantifica mediante programas especiales el impacto que tiene la aplicación de estas técnicas. En ellos quizá tiene más peso la parte relativa al cálculo de las calorías u otros matices físicos o económicos que a cues-

tiones técnicas. Pero un ingeniero o técnico cuya profesión es la construcción y gestión de redes de carreteras no pueden olvidar y dejar de lado aquellos aspectos culturales y económicos que completan y mejoran sus buenas prácticas y lo sitúan en el contexto social en el que vive. Es más, la revista Rutas debe vertebrar esta formación y este contacto entre los técnicos de carretera y las demás áreas de conocimiento.

En los años 80 durante el desarrollo de las capas de rodadura porosa se apreció la falta de contacto a nivel técnico y de conocimiento entre los fabricantes de vehículos y los constructores de carreteras en temas tan importantes como el ruido de los vehículos o sobre vibraciones y comodidad. Rebajar en 1dBA el ruido en el interior y al paso de los vehículos supone un enorme esfuerzo en su diseño y construcción. Sin embargo, estos ruidos pueden aumentar en más de 8 dBA dependiendo del pavimento usado. Al final ha sido la aportación de ambos grupos profesionales lo que ha reducido notablemente el ruido del tráfico, pero seguramente estas aportaciones hubieran sido mucho más rápidas y fructíferas de estar en contacto y en colaboración continua.

En estos momentos, tal y cómo se presenta la innovación en carreteras, el contacto entre los profesionales del mundo de la carretera y los de otras profesiones que inciden también sobre la movilidad en carretera; ingeniería de automoción, especialistas de medioambiente, informáticos, etcétera, va a ser cada vez más necesaria. En vertebrar este contacto puede desempeñar una gran labor la Asociación Técnica de la Carretera a través de sus Comités Técnicos. En la actualidad hay 12 comités que tratan de todos los aspectos relacionados con la carretera, desde la planificación, gestión y conservación, pasando por la seguridad y

el medioambiente, que tienen sus correspondientes Comités Internacionales en la PIARC y que crean grupos de trabajo ad hoc para estudiar y analizar las cuestiones o preocupaciones más actuales, desde la resiliencia a la aplicación del Big Data. Estos comités los forman, o pueden ser invitados a ellos, expertos de todas las materias y temas, con el fin de poder aportar sus conocimientos a las soluciones de los problemas planteados. Para la difusión de sus trabajos la ATC cuenta con la revista RUTAS que puede colaborar a la formación continua de los técnicos de carreteras, ayudándoles a estar en todo momento al nivel de conocimiento que el momento técnico, cultural y vital de la sociedad les requiera. ❖

# Propuesta de nuevo modelo de financiación de carreteras: De un modelo agotado a una alternativa sostenible

## Conclusiones del Comité de Financiación de la ATC

### Introducción y puesta en contexto de la cuestión

Las redes de carreteras constituyen en España, al igual que en casi todos los países, el soporte principal e imprescindible para la prestación del servicio esencial que la movilidad de personas y mercancías por vías terrestres representa para el resto de los sectores, la economía en general y la vida social y personal de la práctica totalidad de la población.

El presente de los países con economías y sociedades más avanzadas está ligado a una movilidad y una logística bien organizadas; y el mundo futuro que ya empieza a vislumbrarse a medida que se va controlando y venciendo la pandemia global COVID-19 no puede concebirse sin unas redes de carreteras que seguirán teniendo un papel protagonista en la movilidad y que, coordinadamente con los otros modos de transporte, habrán de crear un aún mayor valor público.

Estos tiempos están marcados indeleblemente por la pandemia y sus consecuencias de gran alcance —las cuales aún están por terminar de desarrollarse completamente— en la vida de las personas y de la sociedad entera y, por supuesto, en el sector de la carretera y la movilidad, pero no cabe duda de que el nuevo tiempo que llegará precisará no sólo el adecuado mantenimiento de los elementos físicos que componen las redes de carreteras sino también una visión más amplia de su misión, la revisión y mayor desarrollo de los servicios que prestan y de los niveles de éstos, así como la incorporación de las nuevas y evolutivas tecnologías y sus variados dispositivos, adaptándose a los nuevos vehículos, sistemas y servicios de transporte que ya se están desarrollando en muchos países e incluso comenzando a desplegarse, así

como centrarse más en las necesidades de todo tipo de sus muy diversos usuarios.

Además, al objetivo de una movilidad fluida, cómoda, confiable y segura se añade ahora que tal servicio ha de prestarse de manera sostenible, aplicando los principios de la “economía circular”, con respeto al medio ambiente y a la diversidad biológica, reduciendo ruidos y emisiones, favoreciendo la descarbonización, y potenciando la protección a los usuarios más vulnerables.

En el caso de España las redes de carretera no sólo constituyen, por su valor patrimonial cercano a los 500.000 millones de euros, uno de los principales, si es que no el mayor, de los activos públicos, sino que es el modo principal de movilidad interior por vías terrestres pues por ellas se desplazan del orden de 250.000 millones de vehículos-kilómetro, y cerca de 300.000 millones de toneladas-kilómetro, lo que representa un 92,5 % de total de los viajeros y un 95 % de las mercancías.

Dicho patrimonio está compuesto por 165.624 km de carreteras, de las que 26.403 km corresponden a la red estatal, 71.313 km a las redes autonómicas y 67.908 km a las de Diputaciones Provinciales y Cabildos insulares. Y si este patrimonio se observa desde el punto de vista del tipo de carreteras, 17.228 km son vías de gran capacidad —de las cuales en 2018 un total de 2.957 km eran autopistas de peaje, 12.626 km autovías o autopistas libre de peaje y los restantes 1.645 km, carreteras multicarril— por las que, pese a representar tan sólo un 10,40 % de la longitud total, circula por ellas un 62 % del tráfico y siendo de destacar que la paulatinamente decreciente longitud de autopistas de peaje representa cerca del 1,5 % del total de las redes. En cuanto a las carreteras convencionales suman 148.396 km y por ellas circula un 38 % del tráfico.

Tan ingentes activos y crecientes necesidades requieren una permanente inspección y auscultación, mantenimiento y, con el paso del tiempo, rehabilitaciones y adaptaciones, además de constante incorporación de nuevos elementos y tecnologías para irse adaptando a las crecientemente exigentes normativas y a los objetivos sociales. Y a ello se añade la necesidad de seguir construyendo algunas nuevas carreteras para ir completando las redes, variantes de población, mejoras de accesos a grandes ciudades, así como variadas mejoras funcionales locales.

Sin embargo, pese a todo lo expuesto, este Comité Técnico de Financiación de Carreteras constata que, año tras año, el modelo convencional de obtención de fondos para la financiación y gestión de las redes de carreteras en España, basado principalmente en la disponibilidad de recursos procedentes de los Presupuestos Públicos —el denominado “pago por el contribuyente”—, está agotado y las primeras consecuencias son un creciente, y cada vez más evidente, “déficit de conservación” y el retraso en la ejecución de obras de construcción planificadas desde hace años.

A ello se está sumando, por un lado, que debido a que están venciendo los plazos de concesión de antiguas autopistas de peaje, su conservación pasa a quedar a cargo de los deficitarios presupuestos públicos y, por otro, que tras la temporal fase de ralentización mundial que la pandemia ha conllevado, todo indica que seguirá una acelerada tendencia a la consecución de los objetivos globales, lo que supondrá una tensión añadida a la financiación de las redes de carreteras.

Dicha tensión añadida no podrá solventarse por vías presupuestarias pues no parece plausible pensar en incrementos impositivos ni en disminuir la doble imposición que, en la práctica, representa el hecho de que a los costes presupuestarios que conllevan las carreteras se añada que los grandes superávits fiscales que genera este modo de transporte no le son destinados, aun cuando ello represente un cierto agravio comparativo frente a los modos de transporte en los que los ingresos sí le son revertidos.

Esta situación no es exclusiva de España, sino que forma parte del acelerado y creciente proceso mundial de revisión y reconsideración de las casi siempre acuciantes cuestiones concernientes a la obtención de fondos y financiación de las carreteras. En este contexto, la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), consciente de que cada país ha de encontrar su propio camino, ha encomendado a este Comité Técnico, denominado CT3 “Financiación de Carreteras”, una labor de estudio y propuesta.

Por ello, el Comité, en su condición de foro de encuentro y colaboración neutral, independiente y objetiva, formado por expertos procedentes de los diversos ámbitos de la amplia comunidad de la carretera, y tras debates internos durante varios meses, ofrece aquí al sector de la carretera, así como a la sociedad española en general y en especial a los dirigentes políticos, un primer producto de su labor consistente en diez puntos iniciales sobre los que hay gran consenso en el seno del Comité, acerca de la obtención de fondos para la financiación de las redes de carreteras, en relación con el “pago por uso”.

Nuestro objetivo no es otro que el emitir una opinión, lo más informada, debatida, contrastada y consensuada posible, como expertos en la materia, al objeto de que pueda servir como instrumento a los decisores, y como orientación y aportación de elementos de reflexión al conjunto de la sociedad para facilitar un debate general ordenado y productivo ante el incierto futuro para el cual hemos de estar preparados. Con este primer documento se atiende la urgencia de la cuestión para aprovechar la oportunidad del momento de cambio que vivimos. Todo ello mientras se sigue trabajando en un documento más amplio y en posibles alternativas para su desarrollo.

A juicio de este Comité Técnico de “Financiación de Carreteras”, de la ATC (Asociación Técnica de Carreteras) urge establecer un nuevo modelo basado en “el pago por el usuario” y no en el “pago por el contribuyente” a fin de garantizar un presupuesto adecuado, estable y sostenible para la gestión de carreteras, principalmente su conservación. El nuevo modelo debe superar agravios comparativos, disfuncionalidades y perjuicios graves, desproporcionados o innecesarios a algunos sectores, comunidades o perfiles de usuarios. Asimismo, el nuevo modelo debe servir para promover la racionalidad en el uso de la carretera, el respeto medioambiental, la adecuada movilidad en condiciones seguras, así como la eficiencia en el transporte de personas y en la logística de mercancías.

### **Puntos iniciales de amplio consenso en el Comité**

1. El modelo convencional de financiación y gestión de carreteras en España basado principalmente en la disponibilidad de recursos a través de los Presupuestos Públicos, es decir, en el “pago por el contribuyente” está agotado. Actualmente existe un enorme y creciente déficit de conservación, no es posible acometer actuaciones ya programadas, hay que enfrentarse a rigidez procedimental para aten-

- der ágilmente nuevas necesidades, surgen agravios comparativos entre regiones, etc.
2. La legislación vigente en España hace inviable que los ingresos fiscales generados actualmente por los vehículos automóviles reviertan directamente en la conservación de carreteras y que se dedique el presupuesto necesario para la conservación, mantenimiento y explotación de carreteras, sobre todo en tiempos de crisis, al tener dichos ingresos un carácter no finalista.
  3. El “pago por uso” resolvería esas ineficiencias y supondría una fuente adecuada y estable de recursos tal y como ocurre en muchos otros países de Europa.
  4. La tarificación de tal “pago por uso” debería establecerse, al menos, con los siguientes objetivos:
    - Garantizar los recursos para mantener las redes de carreteras en buen estado.
    - Garantizar los recursos para modernizar las redes y adecuarlas a las nuevas tecnologías.
    - Fomentar políticas medioambientales (descarbonización, calidad del aire, contaminación acústica, protección de la biodiversidad, etc.) y aplicar en lo posible el principio de “quien contamina paga”.
    - Fomentar políticas de gestión de la movilidad y eficiencia de las comunicaciones.
    - Fomentar el transporte público cuando esta sea la opción más eficiente.
  5. La modalidad de pago por uso en función de la distancia recorrida es más equitativa y permite aplicar políticas efectivas de gestión de la demanda de tráfico en comparación con los modelos de pago por tiempo (tradicionalmente conocidos como “viñetas”).
  6. La tarificación debe aplicarse en entornos interurbanos a todos los vehículos, modulando la tarifa a aplicar en función de sus características y especificaciones, y atendiendo a los principios establecidos por los paquetes de Directivas Europeas en la materia, Directivas 1999/62/CE, 2006/38/EC y 2011/76/UE, tales como tipos de vehículos, cargas que pueden transmitir al firme, eficacia medioambiental, etc.
  7. En la medida en que sea tecnológicamente posible y viable, la tarificación se deberá aplicar a las carreteras de gran capacidad sin perjuicio de que pueda aplicarse a carreteras convencionales con la finalidad de evitar derivaciones de tráfico a estas últimas teniendo en cuenta además factores socioeconómicos y medioambientales.
  8. Es deseable y necesario que el sistema tecnológico que se aplique permita la compatibilidad e interoperabilidad en todo el territorio español con independencia de la titularidad de las carreteras.
  9. El nuevo modelo de gestión y financiación de las infraestructuras viarias en España ha de desarrollarse de una manera eficiente mediante la colaboración entre el sector público y el privado debiendo encontrarse una solución que perdure en el tiempo.
  10. Este Comité considera que la situación actual de deterioro del patrimonio viario en España obliga a abordar urgentemente el problema de la obtención de fondos y la financiación de las carreteras para evitar que su insuficiencia y escasez haga cada vez más costosa la recuperación de los parámetros de calidad y seguridad necesarios en las redes de carreteras. En ese sentido se propone la implantación, sin demora, de un sistema de tarificación del uso de carreteras, aun cuando fuese provisional hasta que se puedan alcanzar los requisitos señalados en este documento.

*Marzo de 2021*

José Manuel Blanco Segarra (MITMA, DGC, Extremadura)

Juan Miguel Cabezudo Copa (Grupo Sarrión)

Bruno de la Fuente Bitaine (SEOPAN)

Adolfo Güell Cancela (MITMA, DGC, Castilla y León Occ.)

Joan Guzman Calso (Abertis)

Carlos Hernández Carrilero (Consultor independiente)

Mariló Jiménez Mateos (MITMA, DGC, Unidad de Apoyo)

Carlos Martínez García-Loygorri (CYOPSA - SISOCIA)

Carlos Millán Urrea (Comunidad de Madrid, DGC)

Gonzalo Ortiz Lorenzo (SEITTSA)

Pablo Pérez de Villar Cruz (MITMA, DGC, SDG de Conservación)

José Puelles Gallo (Itínere)

Enrique Soler Salcedo (TPF Getinsa Euroestudios)

José Manuel Vassallo Magro (UPM, Catedrático de Transportes)

[www.normativadecarreteras.com](http://www.normativadecarreteras.com)



**Legislación y normativa técnica de carreteras**  
**Acceso libre y gratuito**

# Estudio del comportamiento a largo plazo de diferentes tipos de mezclas con caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil



Long-term behaviour study of different types of crumb rubber asphalt mixes

**Francisco Javier Payán de Tejada González**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado  
Presidente del Comité de Firms de la ATC*

**Joanna Rodríguez Pérez**

*Ingeniera Técnica de Obras Públicas  
EGAIN S.L.*

**E**ste artículo muestra el comportamiento a largo plazo de dos tramos rehabilitados de la A-6 en la provincia de Valladolid, ejecutados en los años 2010 y 2011, poniendo el foco en las mezclas fabricadas con adición de caucho procedente de NFVU.

En estos tramos se han empleado mezclas de granulometría continua semidensa con betunes convencionales 40/50 y betunes mejorados con caucho BC 35/50 fabricados in situ y en central. Respecto a las capas de rodadura, se han empleado mezclas BBTM 11 B con betunes modificados con polímeros BM-3c (actual PMB 45/80-65), con polímeros y caucho BMC-3c y de alta viscosidad con caucho BMAVC-1.

También se han recogido los resultados de un tramo experimental del año 2006 en los que se comparan rodaduras con BM-3c, BMAVC-1 y BMAV-3 (equivalente al actual PMB 45/80-75).

Las conclusiones obtenidas se consideran relevantes a la vista de la significativa longitud de los tramos de carretera estudiados que permite soslayar los problemas de condiciones locales o aspectos puntuales que hubieran podido afectar a los datos.

**T**his paper presents the long-term behaviour of two strengthened sections of the A-6 in the province of Valladolid, carried out in 2010 and 2011, focusing on mixtures manufactured with the addition of crumb rubber from NFVU (Tires at the end of its useful life).

In these road sections, continuous granulometry mixtures (type S) with conventional 40/50 bitumen and BC 35/50 (rubber-improved bitumen) manufactured on site and at the central plant have been used. Regarding the surface layers, BBTM 11 B mixtures with polymer modified bitumen BM-3c (currently PMB 45/80-65), with polymers and rubber modified bitumen BMC-3c, and high viscosity rubber bitumen BMAVC-1 have been used.

The results of an experimental section from 2006 have also been included, comparing wearing courses with BM-3c, BMAVC-1 and BMAV-3 (equivalent to the current PMB 45/80-75).

The conclusions obtained are considered relevant as the significant length of the road sections analysed makes possible to avoid the problems of local conditions or other issues that could have distorted the data.

## Presentación

En los últimos 20 años han surgido multitud de nuevas tecnologías en el campo de las mezclas bituminosas. Detrás de todas ellas existe el afán de conseguir mejores productos, tanto desde el punto de vista funcional como desde el punto de vista medioambiental. La Dirección General de Carreteras, consciente del doble reto de construir infraestructuras que sean, a la vez, funcional y ambientalmente eficaces, está claramente decidida a apoyar la innovación tecnológica y su implementación mediante la realización de obras experimentales. En este contexto, deben enmarcarse las diferentes Notas Técnicas publicadas sobre distintas tecnologías, que aun no siendo de obligada observancia, favorecen su desarrollo y aplicación, así como la utilización, desde siempre, de su propia red como campo de pruebas, invirtiendo en la realización de obras experimentales.

La reutilización de residuos es un campo de innovación que promete una solución eficaz desde ambas perspectivas. En el caso del polvo de caucho procedente de los neumáticos al final de su vida útil, su composición y los ensayos de laboratorio realizados hasta el momento le adjudican unas características capaces de mejorar el comportamiento de las mezclas bituminosas, haciéndolas más flexibles, con mejor comportamiento a fatiga y más resistentes a las deformaciones plásticas y al envejecimiento. Si bien, todas las investigaciones son loables y bienvenidas, es siempre necesario comprobar en actuaciones reales el comportamiento de las nuevas tecnologías y, en nuestro caso, donde las condiciones de entorno de todo tipo influyen de una manera drástica, el seguimiento de las aplicaciones de estas nuevas tecnologías, no sólo es recomendable, sino que es un deber de la propia Administración.

En 2007, se publicó la Orden Circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y en 2009, la Orden Circular 21bis sobre betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación in situ y almacenamiento en obra. Desde el año 2002, se han venido realizando obras experimentales con empleo de caucho en sus diversas modalidades, que han tenido un seguimiento, en general a corto plazo, y sobre las que el CEDEX ha redactado diversos informes técnicos. En 2010 y 2011, en Valladolid, se realizaron dos obras de refuerzo de gran calado, sobre más de 108 km de calzada, utilizando mezclas con inclusión de betún procedente de NFVU. Estas obras han estado sometidas a un seguimiento a largo plazo de más de ocho años, en los que se han realizado diversas campañas de extracción de testigos para conocer la evolución de las mezclas y una auscultación completa de sus características, especialmente en lo referente a inspección visual, formación de fisuras, CRT, etc, incluida en las campañas periódicas realizadas desde la Dirección General de Carreteras. En este artículo, se presentan los resultados de ese seguimiento, lo que sin duda contribuirá a aclarar el comportamiento de estas técnicas, de las que en el Pliego, PG-3, siguiendo lo dispuesto en el apartado 8 del Plan Nacional Integrado de Residuos 2008- 2015, aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros de 26 de diciembre de 2008, se dice que se aplicarán prioritariamente siempre que sea técnica y económicamente posible.

**María del Rosario Cornejo Arribas**

Directora Técnica de la Dirección General de Carreteras

## 0. Introducción

En este artículo se presenta de forma resumida el comportamiento comparado a largo plazo de diferentes tipos de mezclas con caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil utilizados en dos obras realizadas en los años 2010 y 2011 en sendos tramos de la A-6. Se trata de dos proyectos de rehabilitación estructural del firme en los que se han empleado diferentes tipos de mezclas (tipo AC, BBTM y otras) formuladas con ligantes convencionales, mejorados con caucho, modificados con polímero, modificados con polímero y caucho y de alta viscosidad con caucho.

Además de la información correspondiente a las fórmulas de trabajo empleadas, se recogen los resultados del control de calidad en obra, los resultados de la extracción de testigos en sendas campañas de los años 2011 y 2018, así como los resultados de la auscultación realizada en 2018 y 2019.

Por último, se recogen las principales conclusiones sobre la experiencia.

## 1. Descripción de los trabajos realizados

### a. Tramo Tordesillas – Mota del Marqués

Este tramo pertenece a la autovía A-6 en su recorrido por la provincia de Valladolid, entre las poblaciones de Tordesillas y Mota del Marqués, pp.kk. 184+500 y 204+500, cuya construcción se terminó el año 1991. La obra consistió en el desdoblamiento de la antigua N-VI, por lo que hay tramos antiguos con firme de mezcla bituminosa sobre material granular y tramos nuevos con firme semirrígido correspondiente a la sección 134 de la 6.1 IC del año 1989,

formado por 15 cm de mezcla bituminosa apoyados sobre una base de 20 cm de gravacemento y una subbase de 20 cm de suelocemento, sobre una explanada E3. En 1997 se realizó un refuerzo general de 5 cm de espesor de mezcla bituminosa en caliente motivado por la aparición generalizada de fisuras reflejadas en rodadura.

La obra objeto de este informe se finalizó el año 2010 y consistió en la ejecución de un refuerzo estructural del firme mediante el fresado y reposición de todas aquellas capas de la calzada que se encontraban agotadas. Los espesores de fresado estuvieron entre 6 y 13 cm, en todo el ancho de la calzada, y se repusieron con una mezcla bituminosa en caliente tipo AC 22 base 40/50 S.

Sobre las zonas repuestas y sobre las que no presentaban agotamiento

estructural, se extendió un recocado de 9 cm en la calzada izquierda y 8 cm en la calzada derecha.

El recocado de la calzada izquierda estaba constituido por una capa intermedia de 6 cm de mezcla bituminosa en caliente tipo AC 22 bin BC 35/50 S y una capa de rodadura de 3 cm de mezcla bituminosa discontinua tipo BBTM 11 B BMC-3c o 3 cm de mezcla bituminosa discontinua tipo BBTM 11 B BM-3c, a todo el ancho de la plataforma.

El recocado de la calzada derecha estaba constituido por una capa intermedia de 5 cm de mezcla bituminosa en caliente tipo AC 16 bin 40/50 S y una capa de rodadura de 3 cm de mezcla bituminosa discontinua tipo BBTM 11 B BMC-3c o 3 cm de mezcla bituminosa discontinua tipo BBTM 11 B BM-3c, a lo ancho de toda la plataforma.

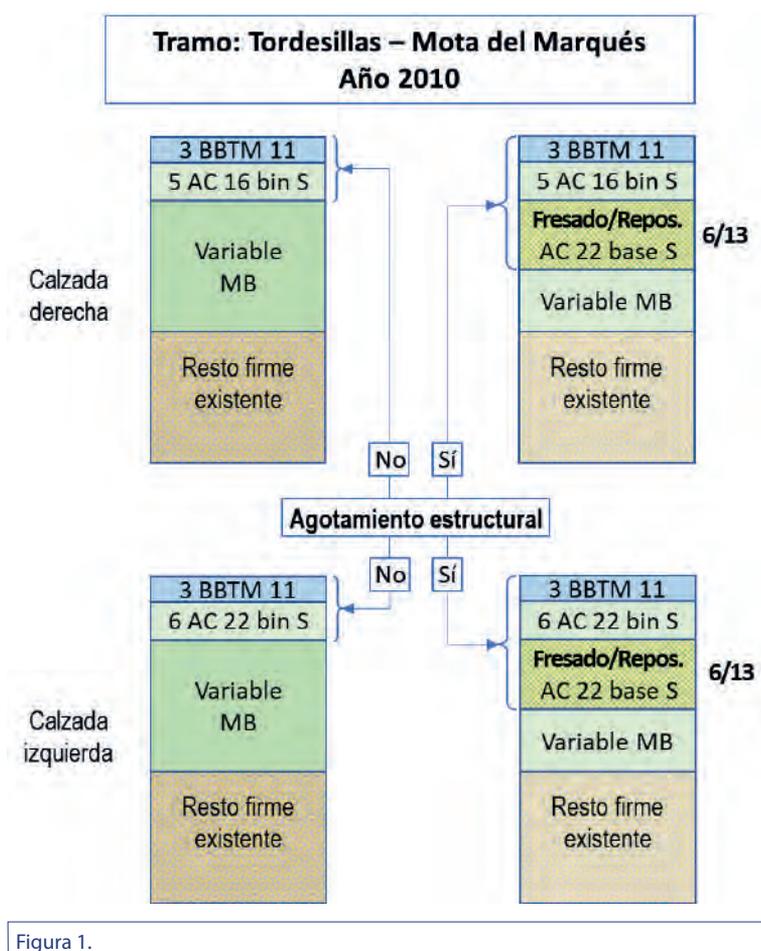


Figura 1.

## b. Tramo Arévalo – Medina del Campo

Este tramo pertenece a la autovía A-6 en su recorrido por las provincias de Ávila, Segovia y Valladolid, entre las poblaciones de Arévalo y Medina del Campo, pp.kk. 122+000 y 156+000. Este tramo de autovía se terminó de construir el año 1990 y, como en el otro tramo, la obra consistió en el desdoblamiento de la antigua N-VI, por lo que también hay tramos antiguos con firme de mezcla bituminosa sobre material granular y tramos nuevos con firme de mezcla bituminosa sobre gravacemento apoyado en suelocemento. También en este caso, la sección nueva empleada fue la 134 de la norma 6.1 IC del año 1989.

En 1998 se extendió un refuerzo de 4 cm de espesor de mezcla bituminosa en caliente motivado, nuevamente, por la aparición de fisuras en superficie. En concreto, en el momento de iniciar la obra de refuerzo, la capa de rodadura presentaba un agrietamiento generalizado con un 4,9% de la superficie con un índice de inspección visual<sup>1</sup> por encima de 4 y un 27,2% con un índice de inspección visual por encima de 2. Sin embargo, los valores de la deflexión en todo el tramo no eran sin embargo muy elevados, lo que indicaba un buen comportamiento de la capa de base de gravacemento.

La obra de este tramo se finalizó el año 2011 y consistió en la ejecu-

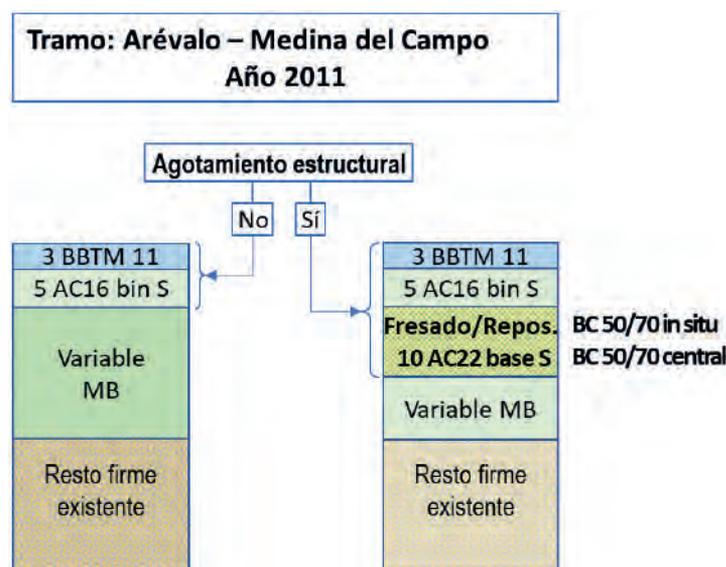


Figura 2.

ción de un refuerzo estructural del firme mediante el fresado y reposición de todas aquellas capas de la calzada que se encontraban agotadas<sup>2</sup>. El espesor de fresado fue de 10 cm en todas las zonas y a todo el ancho del carril. La reposición se realizó con una mezcla bituminosa en caliente tipo AC 22 base BC 50/70 S (similar a la AC 22 S del otro tramo, pero con ligante mejorado con caucho). Se empleó betún mejorado con caucho fabricado in situ y en central al objeto de comparar comportamientos y aptitudes de empleo en obra.

Sobre las zonas repuestas y sobre las que no presentaban agotamiento estructural, se extendió finalmente un recocado de 8 cm de mezclas bituminosas constituido por una capa inter-

media de 5 cm de mezcla bituminosa en caliente tipo AC 16 bin 40/50 S y una capa de rodadura de 3 cm de mezcla bituminosa discontinua tipo BBTM 11 B BM-3c a todo el ancho de la plataforma.

## 2. Mezclas y ligantes empleados. Fórmulas de Trabajo.

Pasando por alto las mezclas empleadas en la reposición de las zonas fresadas ya que se trataba de mezclas convencionales de empleo muy extendido, nos centraremos en las mezclas para capa intermedia y de rodadura. Conforme a lo descrito, las mezclas que se emplearon en estos dos tramos fueron las siguientes (Tabla 1).

Tabla 1.

Denom. F.T.	Tramo	Capa	Granulom.	Áridos (tipo)	Polvo Mineral	Ligante (tipo)
Ref.	Tordesillas	Intermedia	AC 16	Síliceo del Río Duero	Carbonato cálcico	40/50
FT 43a			AC 22			BC 35/50
FT 44	Mota del Marqués	Rodadura	BBTM 11 B	Pórfido de Villacastín		BM-3c
FT 45a						BMC-3c
FT 56	Arévalo	Intermedia	AC 16	Corneana	Carbonato cálcico	BC 35/50 en central
FT 57						BC 35/50 in situ
FT 96	Medina del Campo	Rodadura	BBTM 11 B			60/70
FT 59						BM-3c
FT 60						BMAVC-1 in situ

## a. Tramo Tordesillas – Mota del Marqués

La mezcla de referencia es una AC 16 bin 40/50 S que se empleó en la capa intermedia de la calzada derecha entre los pp.kk. 184+700 y 204+800, en ambos carriles. El contenido óptimo de betún se estableció en el 4,66% s/ mezcla. El valor obtenido en el ensayo de pista (NLT-173) para una velocidad de deformación, entre 105 a 120 min, fue de 5,6  $\mu\text{m}/\text{min}$  y una profundidad de huella de 2,11 mm.

Los resultados del control de calidad realizado durante la obra indican que no se produjeron cambios significativos respecto a los valores establecidos en la fórmula de trabajo (F.T.).

La F.T. 43a se corresponde con una mezcla AC 22 fabricada con un betún mejorado con caucho fabricado en central. El fabricante no aportó el porcentaje de caucho empleado ni su tamaño máximo. La mezcla se aplicó en la capa intermedia de ambos carriles de la calzada izquierda entre los pp.kk. 184+400 y 204+500. El contenido de betún óptimo se estableció en el 4,60% s/mezcla. En el ensayo de rodadura (UNE-EN 12697-22) se obtiene una pendiente de deformación de 0,049 (mm por cada 103 ciclos) para un 4,90% de betún s/mezcla. El módulo de rigidez (UNE-EN 12697-26) obtenido con la fórmula de trabajo es de 5.256 MPa. La resistencia a la fatiga (UNE-EN 12697-24) para un 4,58% de betún BC 35/50 s/mezcla es de  $13 \dots \dots \dots \cdot 10^{-6}$  para un millón de aplicaciones de carga, lo que, sin duda, resulta un valor excesivamente bajo.

A notar que, en el control del BC 35/50 suministrado, se encontró un valor de recuperación elástica del 55% a 25 °C, que es un valor alto que parece indicar la incorporación de polímeros elastoméricos en la fabricación del betún mejorado con caucho.

Los resultados del control de calidad realizado durante la obra indican

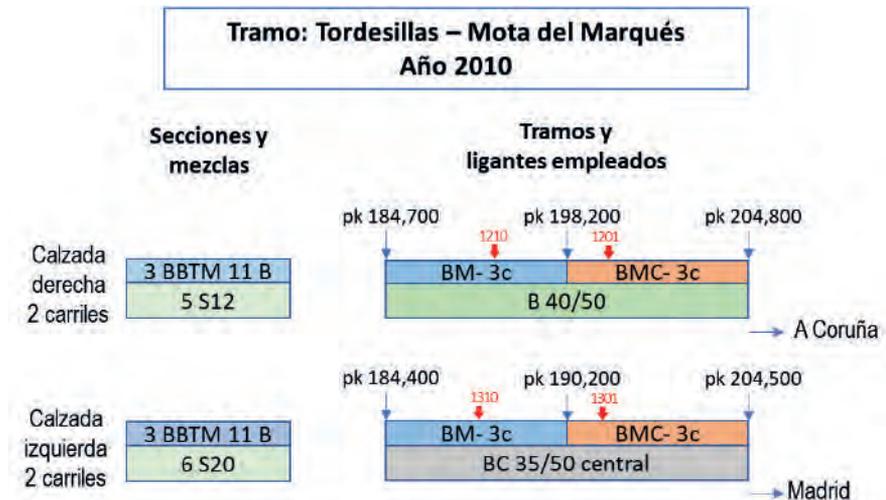


Figura 3.

que el valor medio del ligante total (soluble + insoluble) coincidía con el de la F.T. Para ello se emplearon en paralelo las normas UNE-EN 12697-1 (ligante por disolución) y UNE-EN 12697-39 (ligante por combustión). Por diferencia, se obtuvo que el contenido medio de caucho no digerido (insoluble) fue del 6,44% sobre ligante total.

Para las capas de rodadura se emplearon dos mezclas BBTM 11 B.

Una, con referencia F.T. 44, en la que se empleó un betún modificado con polímeros del tipo BM-3c (aproximadamente equivalente a un PMB 45/80-65 actual), que se utilizó en dos tramos: calzada derecha desde el p.k. 184+700 al p.k. 198+200 y calzada izquierda entre los pp.kk. 184+400 y 190+200. El contenido de betún óptimo se estableció en el 5,00% s/mezcla. La resistencia conservada fue del 94,3 %, bajando al 82,7 % cuando se hizo el ensayo con un 0,3% menos de betún. La mezcla no mostró escurrimiento (UNE-EN 12697-18).

El control de calidad no mostró desviaciones significativas respecto a la F.T. El contenido medio de ligante recuperado fue del 4,94% sobre mezcla, con una desviación de 0,12 %.

La segunda, con la referencia F.T. 45a, en la que se empleó un betún

modificado con polímeros y caucho de NFVU del tipo BMC-3c, se utilizó en los siguientes tramos: calzada derecha entre los pp.kk. 198+200 y 204+800 y calzada izquierda entre los pp.kk. 190+200 y pp.kk. 204+500. El contenido de betún óptimo se estableció en el 5,21% s/mezcla. El módulo de rigidez (UNE-EN 12697-26) obtenido al hacer la fórmula de trabajo fue de 2.441 MPa. La resistencia conservada fue del 90,4 %, bajando al 85,2 % cuando se hizo el ensayo con un 0,3% menos de betún. Esta mezcla tampoco mostró escurrimiento (UNE-EN 12697-18).

Siguiendo los mismos criterios que con el BC 35/50, el control se realizó con los ensayos de extracción por combustión y con disolvente en paralelo. En este caso se obtuvo un contenido de ligante total (soluble + insoluble) del 5,19% con una desviación del 1,22 %, algo excesiva. La parte insoluble, caucho no digerido, representó un 8,08% sobre el ligante total. En este caso, la recuperación elástica media del BMC-3 c fue del 77%.

Otros aspectos a destacar del control de calidad fueron:

- No se encontraron desviaciones significativas en las granulometrías con la excepción del pasa 8 mm de las BBTM 11 B que estuvo por

# Rutas Técnica

MOVILIDAD SEGURA, SOSTENIBLE Y CONECTADA

debajo tanto del huso restringido de la F.T. como del genérico del artículo 543 del PG-3.

- Las mezclas BBTM 11 B empleadas en rodadura mostraron porcentajes de huecos muy superiores a los de la F.T. y, además, con fuertes desviaciones. Aunque las desviaciones fueron mayores en el caso de las BBTM fabricadas con BMC-3c que en las fabricadas con BM-3c, sin duda existe un problema en el control de huecos y densidades de estas mezclas que se aplican en capas delgadas y presentan fuertes macrotexturas.
- Respecto a las resistencias conservadas, en todos los casos, se mejoraron los datos obtenidos en la F.T. Esta mejora fue más evidente en la mezcla fabricada con BC 35/50.

## b. Tramo Arévalo – Medina del Campo

En capa intermedia se emplearon mezclas del tipo AC16 bin S con tres tipos de ligantes: 40/50 convencional, BC 35/50 fabricado en central y BC 35/50 fabricado in situ.

La mezcla con 35/50 se aplicó en la capa intermedia de la calzada izquierda entre los pp.kk. 136+000 y 137+000, en ambos carriles. Los resultados del control de calidad realizado durante la obra indican que no

se produjeron cambios significativos respecto a los valores establecidos en la fórmula de trabajo: contenido de betún, granulometría y huecos.

Para la fabricación in situ, con una planta móvil, del BC 35/50, se empleó un caucho NFVU de 0,5 mm de tamaño máximo en un porcentaje del 14 % sobre betún.

La mezcla AC 16 bin S con este ligante, referencia FT 57, se aplicó en la capa intermedia de ambos carriles de la calzada derecha e izquierda según se puede ver en el esquema longitudinal.

La mezcla con este BC 35/50 en central se aplicó en la capa intermedia de ambos carriles de la calzada derecha e izquierda según se indica en el esquema (Figura 4)

Para la capa de rodadura de este tramo se utilizó una mezcla discontinua tipo BBTM 11 B BM-3c (actualmente PMB 45/80-65), excepto en los siguientes tramos:

- pp.kk. 143+100 al 144+700. Este tramo se dejó sin ningún tipo de actuación para poder seguir la evolución de los tramos experimentales que se hicieron el año 2006, en los que se emplearon mezclas discontinuas BBTM tipo B:
  - Dos con betunes altamente modificados con polímeros fa-

bricados en central cumpliendo las especificaciones de los betunes de alta viscosidad. Dosisificación del 6,5% s/mezcla. En su momento, se denominaron como BMAV-3 y actualmente serían PMB 45/80-75

- Uno con betún modificado BM-3c. Dosisificación del 5% s/mezcla.
- Uno con betún modificado de alta viscosidad con caucho (20% caucho s/ligante final) fabricado in situ. Dosisificación del 9% s/mezcla

- pp.kk. 132+000 al 136+000. En este tramo, en lugar de la mezcla discontinua BBTM 11 B, se empleó una mezcla, también discontinua, con betún BMAVC-1 fabricado in situ.

Esta última mezcla contiene el 8,40 % de un betún de alta viscosidad con caucho tipo BMAVC-1, del que un 20% es PNFVU de granulometría fina (tamaño máximo: 0,5 mm). Este alto contenido de betún obliga a formular una mezcla con un mayor contenido de huecos en áridos para poder albergar el ligante BMAVC-1 manteniendo el porcentaje mínimo de huecos necesario.

En todas las mezclas de rodadura, se utilizaron áridos de naturaleza corneana de Villacastín y carbonato

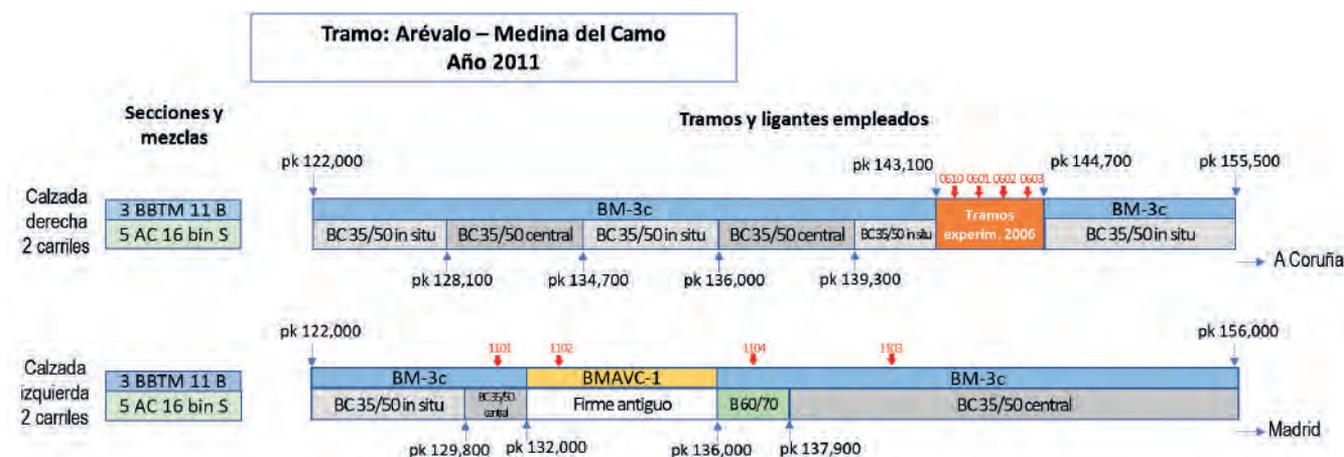


Figura 4.

cálcico como polvo mineral de aportación.

En el control de calidad, las mayores dispersiones en cuanto a los contenidos de ligante respecto a las fórmulas de trabajo se dan en las F.T. con caucho. Todos los ensayos se hicieron por duplicado para facilitar la eliminación de valores erráticos.

- FT56. AC 16 bin BC 35/50 S. Betún Mejorado con caucho fabricado en central.

Una parte de los ensayos de extracción se realizaron tanto con empleo de disolvente como por combustión. Los resultados comparados de ambos tipos de ensayos indican que por combustión se obtienen valores ligeramente más altos. Así, la media de los valores obtenidos mediante extracción por disolvente es de 4,76 %, con una desviación típica de 0,10 %, mientras que en los ensayos por combustión la media obtenida fue de 4,84 % con una desviación típica de 0,07 %. Pero quizás lo más importante de estas series es que en todos los casos, excepto en uno, el valor por combustión estuvo por encima del valor por disolvente, aunque, como se ve, la diferencia fue pequeña.

- FT57. AC 16 bin BC35/50 S. Betún Mejorado con caucho fabricado in situ.

En esta mezcla, se utiliza un porcentaje de ligante más elevado (5,40 % s/m) que en la fórmula con betún de penetración y que en la fórmula con betún mejorado con caucho fabricado en central. El porcentaje de caucho sobre betún utilizado para la fabricación del betún mejorado con caucho fue del 14 %, lo que implicaría un 0,66 % sobre mezcla, mientras que el betún puro sería un 4,74 %.

De los resultados obtenidos se obtiene una media de 4,99 %, con una desviación típica de 0,10%. Todos los valores están por debajo del valor objetivo de 5,40. Lo más probable es que debido al sistema de fabricación in situ, sólo parte del caucho ha podido ser digerido completamente por lo que el sistema de extracción con disolventes no extrae todo el caucho como si fuera betún.

- FT96. AC 16 bin 60/70 S

Esta fórmula con betún de penetración 60/70 puede considerarse la de referencia respecto a las fórmulas con betún mejorado con caucho. Se utilizó en un tramo de la calzada izquierda, entre los pppk 137+834 y 136+000. Los resultados de los ensayos coincidieron con los de la fórmula de trabajo, con un valor medio del porcentaje de betún sobre mezcla del 4,79 %, con una desviación típica de 0,02.

- FT59. BBTM 11B BM-3c

Se hicieron 108 ensayos de extracción que proporcionaron un valor medio del porcentaje de betún sobre mezcla de 4,80, con una desviación típica de 0,06%, muy ajustado al valor objetivo de la fórmula de trabajo de 4,70.

- FT 60 BBTM 11B BMAVC-1. Betún de Alta Viscosidad con caucho fabricado in situ

Se hicieron 7 ensayos de extracción que proporcionaron un valor medio del porcentaje de ligante sobre mezcla de 7,67, con una desviación típica de 0,23%, por debajo del valor objetivo de la fórmula de trabajo de 8,40.

En este caso pasa lo mismo que en el caso de la mezcla con betún mejorado con caucho fabricado in situ, obteniéndose valores en el ensayo de extracción con

disolvente por debajo del porcentaje de betún introducido, caucho incluido, probablemente por las mismas razones. En este caso, se agrava la diferencia al contener el betún un 20 % de caucho.

Además de los contenidos de ligante, en el control de calidad de obra se hicieron los ensayos habituales. En las mezclas utilizadas en capa intermedia, FT 56, FT 57 y FT 96, en cuanto a huecos y densidad, sólo la fórmula con betún mejorado con caucho fabricado in situ proporcionó valores de densidad algo inferiores a los de referencia, con un porcentaje de huecos algo superior, un pasa por el tamiz 8 algo superior, mientras que el pasa por el tamiz 0,5 era inferior al de referencia.

La resistencia conservada fue buena en todos los casos.

De los resultados de los ensayos sobre las mezclas de rodadura, la mezcla BBTM 11B BM-3c presentó un porcentaje medio de huecos de 19,57 % con una desviación típica de 1,69%. Este porcentaje de huecos obtenido en obra está por encima del exigido para este tipo de mezcla discontinua y lo situaría en el rango de las mezclas drenantes. Dado que el resto de los parámetros está en línea con las F.T. y que en obra se respetaron los criterios de temperaturas y de número de pasadas de los compactadores, se vuelve a plantear, como en el otro tramo, que existe un problema en el control de huecos y densidad de estas mezclas que se aplican en capas delgadas y presentan fuertes macrotexturas.

Sin ser tan acusada la diferencia, en la mezcla con betún de alta viscosidad se registró un porcentaje medio de huecos en mezcla del 17,76 % con una desviación típica de 1,30, cuando el valor establecido en la fórmula de trabajo es de 15,20 %.

# Rutas Técnica

MOVILIDAD SEGURA, SOSTENIBLE Y CONECTADA

## 3. Algunos aspectos destacables de la ejecución de las obras

En el tramo entre Tordesillas y Mota del Marqués, se empleó una planta de fabricación que estaba situada en Rueda, muy próxima a la obra. Se trataba de una planta de tipo discontinuo con una capacidad nominal de 200 t/h de mezcla convencional.

Para la fabricación de la mezcla AC 22 S con BC 35/50, el betún mejorado con polvo con caucho se recibía fabricado desde las instalaciones del suministrador. Para su almacenamiento se instaló un tanque calorifugado de eje vertical, con revestimiento aislante exterior, provisto de termómetros situados en puntos visibles, sistema de recirculación y agitación, y salida del ligante por la parte inferior del tanque. Estos tanques permiten mantener homogéneo el ligante, evitando la decantación del caucho, y simplifican su manejo y dosificación. Es importante recordar que la recirculación y agitación del betún mejorado deben mantenerse en todo momento, incluso durante la noche y fines de semana, aunque no se trabaje en la producción de mezcla. Si se desea parar la recirculación hay que planificar la recepción del ligante y la producción de mezcla para asegurar que el tanque vertical quede vacío, o prácticamente vacío, antes de hacerlo. Este es un aspecto delicado para el contratista por los costes adicionales (personal, electricidad y combustible) que supone el mantener la instalación en marcha en estos periodos no activos.

En el caso del tramo de Arévalo a Medina del Campo, se empleó también una planta de fabricación tipo discontinuo, de 200 t/h, situada muy próxima a la obra. Asimismo,



Figura 5. Tanque vertical de almacenamiento

mo, para los betunes mejorados con caucho fabricados en las instalaciones del suministrador, se instalaron también tanques verticales para su almacenamiento, según lo exigido en la Orden Circular 21bis (Figura 5).

Para el betún caucho fabricado in situ se utilizó una planta móvil propiedad de la empresa contratista. El betún convencional se dosificaba al mezclador de la planta móvil desde los depósitos de la planta y el caucho, suministrado en bigbags, se descargaba en una tolva y se introducía por la parte superior mediante un sinfín. El betún y el caucho se procesaban en el mezclador durante 45 minutos y, a continuación, la mezcla se descargaba en un depósito. Éste estaba conectado a la planta de fabricación de la mezcla hacia donde se bombeaba directamente. El proceso de descarga y pesaje del betún mejorado con caucho (BC) fabricado in situ se manejaba desde la cabina de la planta asfáltica como en el caso de un betún convencional. El dispositivo se presenta en las figuras 6 y 7. La capacidad de producción de este sistema era de unas 12 t/h, suficiente para la ca-



Figura 6. Planta móvil de fabricación de betún mejorado con caucho. Descarga de PNFVU

pacidad nominal de fabricación de mezcla de la planta.

Este sistema de producción in situ elimina algunos de los problemas del sistema de producción en central, en particular, el sobrecoste, de adquisición y de operación, del almacenamiento del betún mejorado en los tanques verticales. Por el contrario, requiere de una sincronización exquisita entre la producción de la mezcla y la del betún mejorado, so pena de sufrir pérdidas de rendimiento de la planta. Además, complica mucho el control de calidad e impide tener un criterio claro del cumplimiento de la especificación ya que el único control que se realiza en la planta es el de la viscosidad del betún mejorado.

El ligante BMAVC-1 para la mezcla discontinua del tramo 132+000 a 136+000 de esta mezcla se fabricó en la planta móvil que se presenta en la figura 8. Esta planta se compone de una tolva para la descarga del caucho en polvo que a través de un sinfín llega a un mezclador al que entra el betún desde los depósitos de la planta asfáltica. Después de un periodo de mezcla, el nuevo betún pasa a un depósito donde termina de rea-



Figura 7. Planta móvil de fabricación de betún mejorado con caucho.



Figura 8. Planta móvil de fabricación de betún modificado de alta viscosidad con caucho.

lizarse la digestión del caucho. De este depósito el betún con caucho (BMAVC-1) pasa al dispositivo de descarga y pesada del ligante de la planta asfáltica.

Como en el caso del betún mejorado fabricado in situ, a la salida del betún de la planta móvil se comprueba su viscosidad con un viscosímetro HAAKE para verificar el proceso de fabricación.

#### 4. Campaña de seguimiento

En los años 2011 y 2018 se realizaron sendas campañas de extracción de testigos y ensayos. Para que el seguimiento se haga siempre sobre las mismas zonas se establecieron tramos de referencia de un kilómetro de longitud aproximadamente. Los resultados se comparan con las F.T. y los ensayos

del control de calidad. En total se extrajeron 108 testigos, 39 en el tramo Tordesillas a Mota del Marqués y 69 en el tramo Arévalo a Medina del Campo.

- Resultados de los controles de densidad y contenido de ligante (Tabla 2).
- Resultados de los controles de sensibilidad al agua (sólo se

Tabla 2.

Tramo	FT	Mezcla	Pk <sub>i</sub>	Pk <sub>f</sub>	F.T		2011		2018
					Densidad (kg/dm <sup>3</sup> )	% ligante / mezcla	Densidad (kg/dm <sup>3</sup> )	% ligante / mezcla	Densidad (kg/dm <sup>3</sup> )
Tordesillas- Mota del Marqués	45a	BBTM 11 B BMC-3c	199+500	200+500	2,201	5,21	2,101	5,29	2,110
	36	S-12 c/ B 40/50	199+500	200+500	2,331	4,90	2,278	4,69	2,306
	44	BBTM 11 B BM-3c	193+800	195+000	2,138	5,00	2,108	5,23	2,023
	36	S-12 c/ B 40/50	193+800	195+000	2,331	4,90	2,257	4,64	2,280
	45a	BBTM 11 B BMC-3c	192+000	192+850	2,201	5,21	2,086	5,29	2,102
	43a	S-20 c/ BC-35/50	192+000	192+850	2,364	4,60	2,319	4,59	2,293
	44	BBTM 11 B BM-3c	188+000	187+000	2,138	5,00	2,113	5,18	2,027
	43a	S-20 c/ BC-35/50	188+000	187+000	2,364	4,60	2,305	4,31	2,299
Arévalo- Medina del Campo	Tramos Exprim. 2006	M10 c/ BM-3c	143+134	143+566	Tramo Experimental 2006		2,01	4,86	1,89
		Exprim... 2006	143+584	143+968			2,15	5,93	2,06
		M10 c/ BMAV-3	143+980	144+364			2,17	5,95	2,01
		M10 c/ BMAVC-1	144+380	144+860			2,06	8,04	1,87
	60	BBTM 11 B BMAVC-1	133+500	132+500	2,06	8,40	2,00	8,42	1,89
	59	BBTM 11 B BM-3c	131+500	130+500	1,96	4,70	1,93	5,13	1,80
	56	AC 16 bin BC-35/50 central S	131+500	130+500	2,35	4,80	2,32	4,81	2,27
	59	BBTM 11 B BM-3c	141+000	142+150	1,96	4,70	1,90	5,04	1,846
	57	AC 16 bin BC-35/50 in situ S	136+000	137+900	2,37	5,40	2,23	5,50	2,29
	59	BBTM 11 B BM-3c	136+000	137+900	1,96	4,70			1,85
	96	AC 16 bin 50/70 S	136+000	137+900	2,39	4,80			2,34

# Rutas Técnica

MOVILIDAD SEGURA, SOSTENIBLE Y CONECTADA

Tabla 3.

Tramo	Mezcla	Pk	Tracción Indirecta			
			Resist. Aire (kPa)	Resist. Agua (kPa)	% conservada	
Capa de rodadura						
Tordesillas- Mota del Marqués	BBTM 11 B BM-3c	187+500	1298	820	63,1 %	
	BBTM 11 B BM-3c	187+500	1885	1414	75,0 %	
	BBTM 11 B BMC-3c	191+500	1779	1446	81,3 %	
	BBTM 11 B BM-3c	196+500	1817	1502	82,7 %	
	BBTM 11 B BMC-3c	200+000	2011	1727	85,9 %	
Arévalo- Medina del Campo	BBTM 11 B PMB-45/80-65	131+000	1086	1047	96,41%	
	BBTM 11 B BMAVC-1	133+500	1178	1028	87,27%	
	BBTM 11 B PMB-45/80-65	137+000	1358	1333	98,16%	
	BBTM 11 B PMB-45/80-65	141+500	1350	1110	82,22%	
	Tramo experimental 2006	M10 c/ BM-3c	143+550	1585	1159	73,12%
		M10 c/ BMAV-3 R	143+900	1953	1539	78,80%
		M10 c/ BMAV-3 C	144+000	2007	1830	91,18%
		M10 c/ BMAVC-1	144+400	1048	801	76,43%
Capa intermedia						
Tordesillas- Mota del Marqués	BC-35/50 S	187+500	2418	1481	61,2 %	
	BC-35/50 S	187+500	1991	1014	50,9 %	
	BC-35/50 S	191+500	1865	1145	61,4 %	
	S-12 B 40/50	196+500	2430	1091	44,9 %	
	S-12 B 40/50	200+000	2469	1733	70,2 %	
Arévalo- Medina del Campo	AC 16 BC 35/50 S en central	131+000	2102	1055	50,19%	
	S 20 c/ B 40/50 (año 99)	133+500	2303	591	25,66%	
	AC16 BIN B 60/70	137+000	2087	1172	56,16%	
	AC 16 BC 35/50 S in situ	141+500	2344	1229	52,43%	
	Tramo experimental 2006	S-12 B 40/50	143+550	2412	976	40,46%
		S-12 B 40/50	143+900	1925	666	34,60%
		S-12 B 40/50	144+000	2028	412	20,32%
		S-12 B 40/50	144+400	2006	701	34,95%

dispone de datos de la campaña de 2018 (Tabla 3)).

En los tramos ejecutados en 2006, se puede deducir que el betún que proporciona valores más altos de resistencia a tracción indirecta y de resistencia conservada son los betunes de alta viscosidad con polímeros (BMAV-3) a pesar del tiempo pasado desde su colocación (12 años). Comparados con los otros betunes de estos tramos, el betún que proporciona valores más bajos en resistencia a tracción es el BMAVC-1, siendo su resistencia conservada del mismo orden de magnitud que la ofrecida por el betún modificado BM-3c (Figura 9).

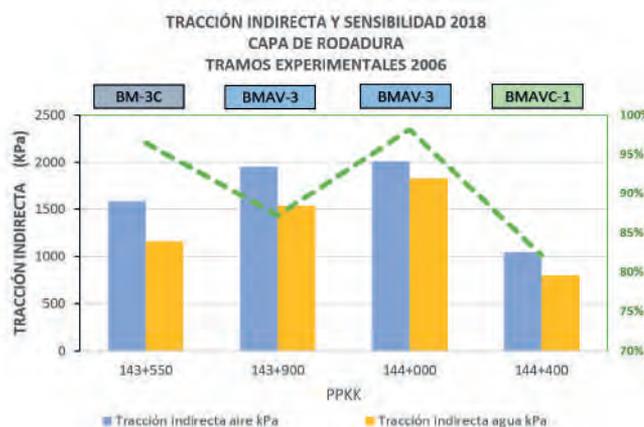


Figura 9.

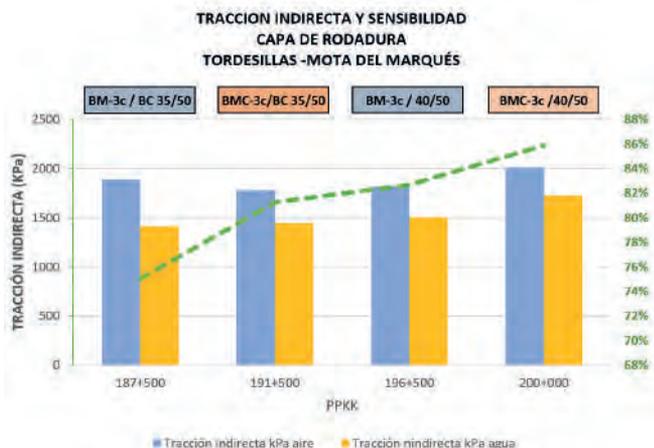


Figura 10.

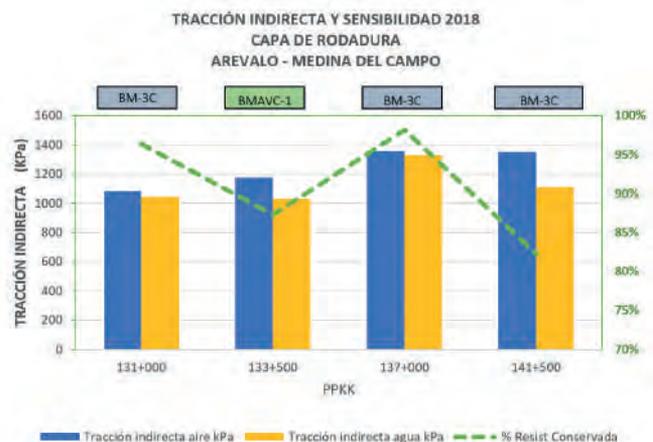


Figura 11.

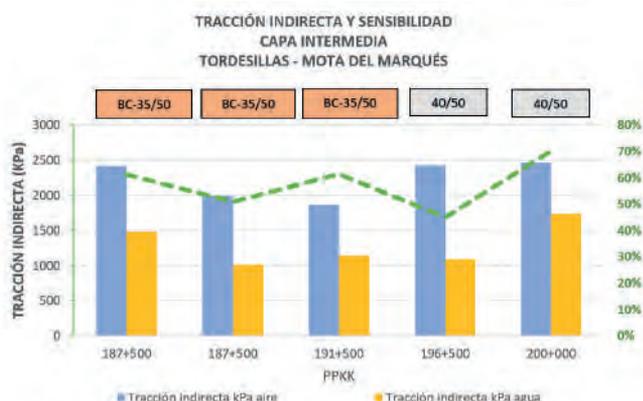


Figura 12.

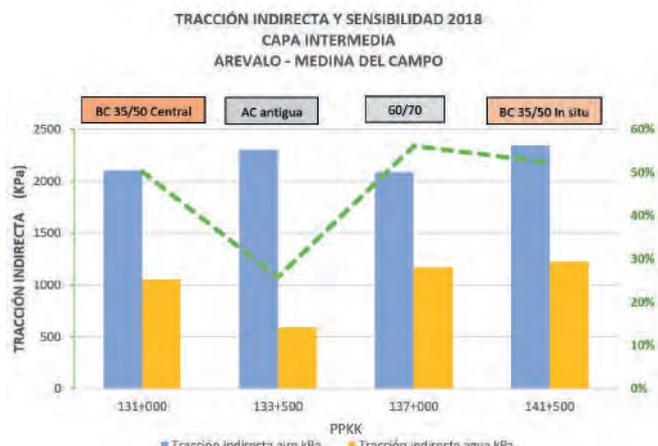


Figura 13.

Respecto a las capas de rodadura de los años 2010 y 2011:

- o Las ejecutadas en 2010 en el tramo Tordesillas a Mota del Marqués con mezclas tipo BBTM 11 B, presentan valores similares, con las variaciones propias de este tipo de pruebas, sin que se pueda apreciar ninguna tendencia marcada de comportamiento (Figura 10).
- o Entre las ejecutadas en 2011 en el tramo Arévalo a Medina del Campo con mezclas tipo BBTM 11 B, las que llevan como ligante un BM-3c "convencional" tienen valores de resistencia a tracción indirecta y valores de resistencia conservada algo mejores (92,3% frente a 87,3% de media) que

las mezclas con BMAVC-1, aunque tampoco se puede decir que haya una tendencia muy marcada al efecto (Figura 11).

En cuanto a las capas intermedias, los valores de resistencia a tracción indirecta en aire y saturadas son prácticamente similares, con una ligera ventaja en las mezclas que no tienen caucho. Teniendo en cuenta la dispersión de los valores podríamos concluir que cada tipo de mezcla, con y sin caucho, se ha comportado de manera similar. (Figura 12 y 13).

Lo que sí es muy reseñable es que, en las mezclas con más de 20 años en servicio, se comprueba que los valores de resistencia conservada son muy bajos, de hasta el 20 %. Esto supone que, en situaciones en

las que pueda entrar agua a través de las capas superiores (por fisuración reflejada, por ejemplo), el riesgo de un rápido deterioro es muy alto.

- Resultados de los controles de módulo y fatiga. En este momento sólo se dispone de datos de ensayos realizados sobre los testigos de la primera campaña de 2011 (Tabla 4)

Aunque no hay un número relevante de datos, parece que podríamos concluir que hay diferencias, tanto en lo que hace al módulo como a la fatiga, entre las mezclas fabricadas con y sin caucho, que se pueden apreciar en el tramo de Tordesillas a Mota del Marqués, donde se hicieron ensayos a ambos tipos de mezclas. Así, en este tramo se aprecia que el

# Rutas Técnica

MOVILIDAD SEGURA, SOSTENIBLE Y CONECTADA

Tabla 4.

Mezcla	Tramo	Pk	Fatiga		Módulo (MPa)
			R <sup>2</sup>	ε <sub>6</sub>	
Capa de rodadura					
BBTM 11 B BMAVC-1	Arévalo- Medina del Campo	133+500 a 135+500	0,90	52	2210
Capa intermedia					
S-12 c/ B 40/50	Tordesillas – Mota del Marqués	199+500 a 200+500	0,87	131	7244
S-12 c/ B 40/50		193+800 a 195+000	0,85	85	6283
S-20 c/ BC 35/50 S		192+000 a 190+850	0,89	60	3785
S-20 c/ BC 35/50 S		188+000 a 187+000	0,92	62	3476
AC 16 BIN BC-35/50 central S	Arévalo – Medina del Campo	131+500 a 130+500	0,95	82	4491
AC 16 BIN BC-35/50 in situ S		131+000 a 142+150	0,81	95	4960

módulo es del orden del doble en las mezclas sin caucho y que el valor de ε<sub>6</sub> es claramente mejor que en las mezclas con caucho.

En el tramo de Arévalo a Medina del Campo, todas las mezclas ensayadas contienen caucho, unas en forma de betunes mejorados y otra en forma de betún de alta viscosidad. Tanto los valores de módulo, como

los de fatiga, son inferiores para la mezcla con betún de alta viscosidad. (Figuras 14, 15, 16 y 17)

En cuanto a la mezcla con BMAV-1, el módulo obtenido parece algo bajo, aunque no hay referencia para comparar con otras mezclas BBTM. Lo que sí resulta sorprende es el bajo valor de ε<sub>6</sub> obtenido, máxime para una mezcla con tan fuerte contenido de ligante

## Resultados del ensayo FENIX

Con objeto de realizar el ensayo FENIX sobre las mezclas utilizadas, se remitieron los testigos necesarios a la Universidad de Cataluña donde generosamente los ensayaron.

Del informe emitido por el profesor Rodrigo Miró incluimos los gráficos resumen de los resultados obtenidos y sus conclusiones.

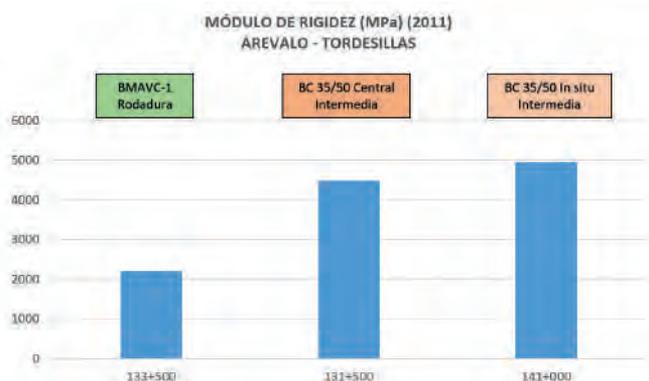


Figura 14.

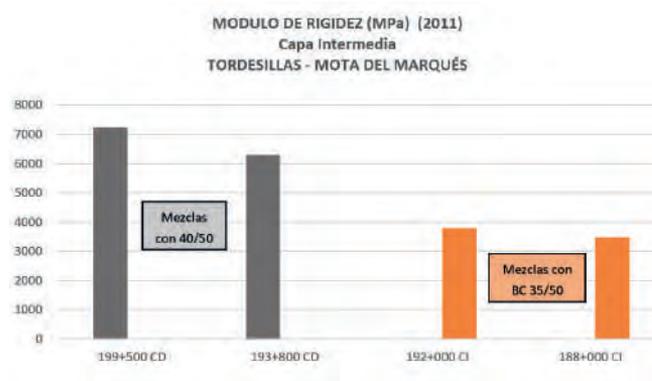


Figura 15.

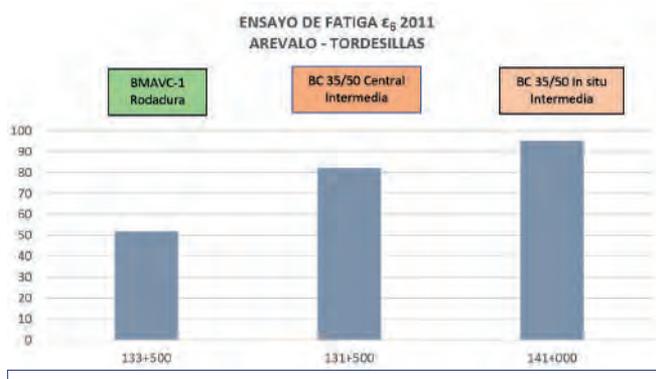


Figura 16.

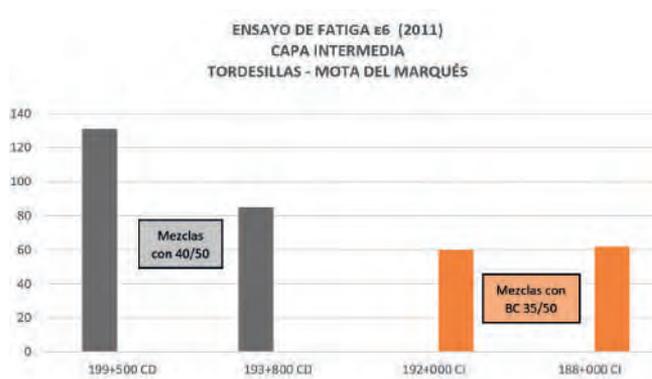


Figura 17.

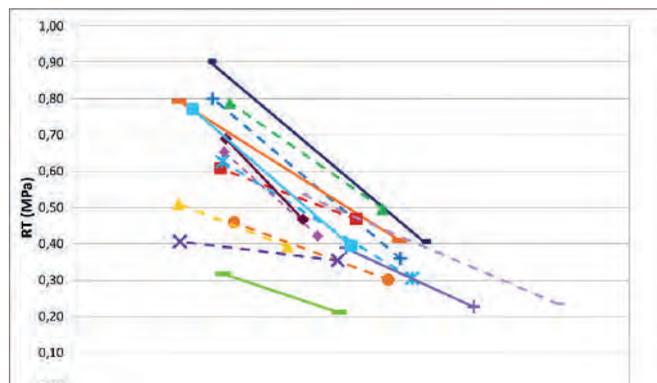


Figura 18. Capa rodadura

“Los resultados obtenidos se presentan a continuación en forma de gráficos resistencia-ductilidad, confeccionados a partir de dos parámetros del ensayo Fénix: la resistencia obtenida a partir de la carga máxima y el desplazamiento al 50% de la carga máxima post-pico, como medida de la ductilidad de la mezcla. Las rectas de los gráficos representan la variación de la resistencia y la ductilidad con la temperatura: los puntos de más a la derecha corresponden a los valores obtenidos a 20°C y los de más a la izquierda, a 5°C. En todos los casos, al bajar la temperatura, la resistencia aumenta y la ductilidad disminuye. (Figura 18 y 19)

Los resultados muestran que tanto con los betunes modificados con polímeros como con los betunes caucho se pueden obtener mezclas que presentan diferencias en su comportamiento. Esto puede ser debido a variaciones en su composición: granulometría, naturaleza del árido o tipo y proporción de ligante utilizado (los betunes de alta viscosidad, por ejemplo). Esto ocurre tanto en el caso de mezclas para capa de rodadura como para capa intermedia.

Sin embargo, de estos resultados no se podría deducir una diferencia en la respuesta de las mezclas por el uso o no de betún caucho. En el caso de las mezclas para capas de rodadura se pueden obtener resultados similares a las fabricadas con betunes modificados y en el caso de

las mezclas para capa intermedia, su respuesta es similar a las fabricadas con betunes convencionales (aunque éstas últimas son algo menos dúctiles que las mezclas con caucho, para cualquiera de las temperaturas ensayadas).”

## 5. Campañas de auscultación en 2018.

### a. Inspecciones visuales

En la provincia de Valladolid se vienen haciendo inspecciones visuales de toda la red cada dos años, por lo que se dispone de datos de la evolución de los tramos objeto de este informe a lo largo del tiempo desde su construcción. Las inspecciones se realizan siguiendo la metodología establecida en la O.C. 9/2000 “Rehabilitación de firmes”, valorando los daños observados cada 25 m. Los resultados de fisuración estructural,

es decir, sin contabilizar los de las grietas transversales que se consideran de reflexión de las de la base de gravacemiento, se recogen en la siguiente tabla. Valores por debajo de 8 cada 100 metros mostrarían un estado aceptable, entre 8 y 16 el estado sería malo y por encima de 16 el estado sería muy malo. (Figura 20)

Las mezclas extendidas sobre la calzada antigua son las que, como media, han dado peores valores del índice de inspección visual. En el caso de la mezcla de rodadura fabricada con BM-3c sobre una capa intermedia fabricada con BC 35/50 se aprecia un deterioro mayor que para el resto de las mezclas y combinaciones, si bien este tramo se corresponde casi en un 80 % con la calzada vieja. El siguiente tramo con una mezcla de rodadura fabricada con BMC-3c sobre una AC 22 con BC 35/50, se apoya en más de un 80 % en calzada nueva con base de gra-

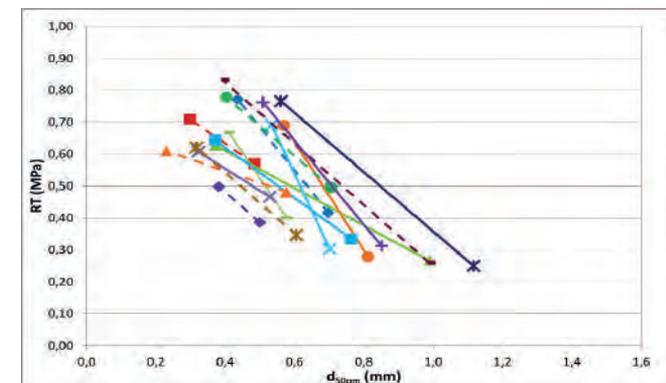


Figura 19. Capa intermedia

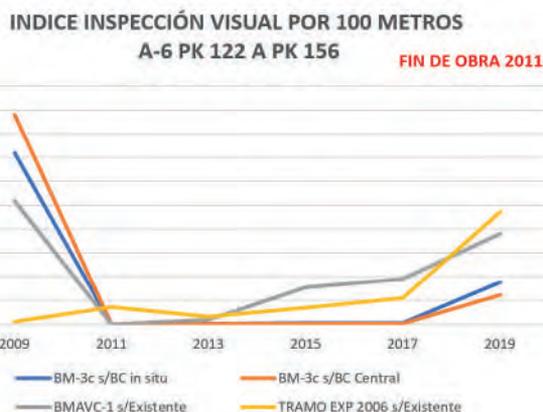


Figura 20.



Figura 21.

vacemento y el índice de inspección visual baja a la mitad. (Figura 21)

Una primera conclusión que se puede extraer de este tramo es que las capas intermedias con betún mejorado con caucho, ya sea in situ o en central, proporcionan valores y comportamientos similares. El tramo con BMAVC-1 presenta un comportamiento peor, si bien en este caso la mezcla se extendió directamente sobre la superficie de la carretera existente sin intercalar una capa intermedia nueva, lo que ha penalizado, sin duda, esta solución, aunque se eligió una zona donde los datos de deflexión e inspección visual eran buenos.

El tramo experimental extendido en 2006 no es comparable en este caso y a continuación se hace un análisis independiente del mismo.

En el gráfico siguiente se presenta la evolución de la fisuración transversal de cada uno de los subtramos en que se dividió el tramo experimental del año 2006. (Figura 22)

Se puede comprobar que las mezclas que mejor se han comportado son las de alta viscosidad modificadas con polímeros, mientras que la fabricada con betún modificado BM-3c y la fabricada con betún de alta viscosidad modificada con caucho se han comportado de forma similar, a pesar de que la fabricada con BM-3c tiene un centímetro menos de espesor y una dosificación de ligante mucho menor (5% vs 9%).

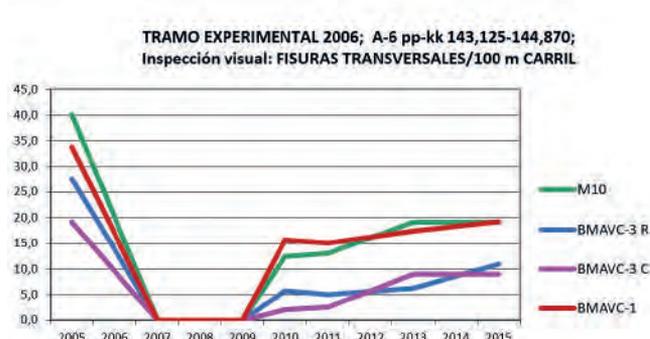


Figura 22.

## b. Auscultación en 2018

Durante 2018 se hizo una auscultación mediante imágenes 3D de las carreteras dependientes de la Unidad de Carreteras de Valladolid y se obtuvieron los distintos índices de fisuración.

Para los tramos de alta viscosidad extendidos en 2006, los resultados se presentan en la tabla 5.

Se puede comprobar que el tramo en mejor estado es el extendido con mezclas que contenían betunes de alta viscosidad con polímeros fabricados en planta. Entre el tramo fabricado con BM-3c y el tramo fabricado con BMAVC-1, los resultados son favorables al betún BM-3c, teniendo en cuenta que en el tramo con betún de alta viscosidad con caucho presenta además una mayor dispersión, lo que implica valores extremos más altos, aparte de las diferencias, ya señaladas, de espesor y de dosificación de ligante.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados obtenidos para la fisuración transversal en los tramos de calzada nueva dentro del desdoblamiento, que son los que están contruidos con gravacemento (Tabla 6).

Se comprueba que el tramo con una mayor fisuración transversal es el correspondiente a la mezcla con BMAVC-1, mientras que en los tramos con mezcla discontinua con betún BM-3c no parece que haya diferencia entre aquellos en los que la capa in-

termedia incluye BC fabricado in situ o en central. Hay que indicar, como ya se dijo en el apartado de inspección visual, que el tramo con BMAVC-1 se extendió directamente sobre la rodadura existente, lo que puede haber penalizado esta solución, aunque se eligió una zona donde los datos de deflexión e inspección visual eran buenos, pero con una fisuración transversal ya marcada.

Otro aspecto interesante es la comparación de comportamiento entre la calzada nueva semirrígida (desdoblamiento) y la calzada antigua semiflexible, en relación a la fisuración no transversal. Haciendo la media de los tramos homogéneos por tipo de base y rodadura se encuentra lo expuesto en Figura 23 y 24.

Según los resultados obtenidos, los tramos de firme semirrígido presentan valores bastante homogéneos, lo que resulta coherente con su construcción en fechas próximas. Por el contrario, en el firme antiguo, que se apoya en bases granulares, hay resultados muy diferentes en los dos tramos y, en un caso, los resultados son peores que en el firme semirrígido y, en el otro, son mejores.

Además, en el firme semirrígido, el tramo en el que se colocó únicamente una capa discontinua con betún BMAVC-1 presentó una mayor fisuración que el tramo en el que la capa de rodadura era una mezcla discontinua BBTM con betún BM-3c y la capa intermedia una mezcla tipo

Tabla 5.

TIPO BETUN	PK Inicial	PK final	Media (m)	Desviación (s)
BM-3c	143+125	143+575	10,01	4,1
BMAV-3	143+575	144+370	2,52	1,69
BMAVC-1	144+370	144+870	13,06	7,54

Tabla 6.

Tramo	Mezcla	Pk	Tracción Indirecta			
<b>Tramo Tordesillas – Mota del Marqués</b>						
BM-3c	AC 16 c/ B 40/50	184+700	198+200	1	AMBOS	0,05
BMC-3c	AC 16 c/ B 40/50	198+200	204+800	1	AMBOS	0,00
BM-3c	AC 22 c/ BC-35/50 S	188+030	189+170	2	AMBOS	0,32
BMC-3c	AC 22 c/ BC-35/50 S	191+050	191+850	2	AMBOS	0,00
		192+050	193+420	2	AMBOS	0,10
		194+030	197+880	2	AMBOS	0,17
		198+800	204+800	2	AMBOS	0,03
<b>Tramo Arévalo – Medina del Campo</b>						
PMB-45/80-65	AC 16 BC 35/50 S in situ	122+730	125+620	1	AMBOS	0,37
		125+880	127+060	1	AMBOS	0,13
		127+140	128+100	1	AMBOS	0,12
	AC 16 BC 35/50 S central	128+100	129+160	1	AMBOS	0,24
	AC 16 BC 35/50 S in situ	142+480	143+100	1	AMBOS	0,42
	Tramo experimental 2006	143+100	144+700	1	AMBOS	3,02
	AC 16 BC 35/50 S in situ	144+700	150+280	1	AMBOS	0,63
	AC 16 BC 35/50 S in situ	122+000	123+600	2	AMBOS	0,49
		125+130	127+880	2	AMBOS	1,36
		128+520	129+800	2	AMBOS	1,50
AC 16 BC 35/50 S central	129+800	132+000	2	AMBOS	1,12	
BMAVC-1	Existente	132+000	136+000	2	AMBOS	3,1
PMB-45/80-65	AC 16 B 60/70	136+000	137+900	2	AMBOS	0,39
	AC 16 BC 35/50 S central	137+900	145+360	2	AMBOS	0,31
		156+000	156+000	2	AMBOS	0,70

TOTAL FISURACIÓN (%) (Malla, Longitudinal y Errática)  
Tramo Arévalo - Medina del Campo

Rodad.	BBTM 11 BM-3c	BBTM 11 BM-3c	BBTM 11 BMAVC-1	BBTM 11 BM-3c	BBTM 11 BM-3c
Interm.	AC 16 bin S BC 35/50 In situ	AC 16 bin S BC 35/50 Central	Firme existente	AC 16 bin S BC 35/50 In situ	AC 16 bin S BC 35/50 Central

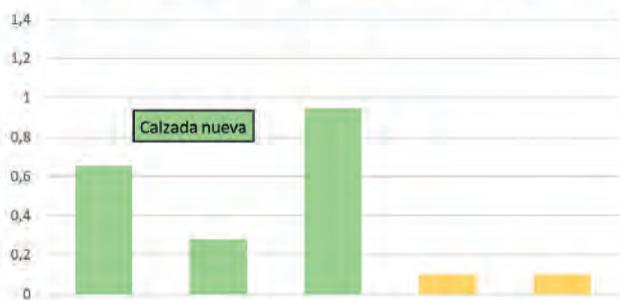


Figura 23. Tramo Tordesillas – Mota del Marqués

TOTAL FISURACIÓN (%) (Malla, Longitudinal y Errática)  
Tramo Tordesillas – Mota del Marqués

Rodadura	BBTM 11 BM-3c	BBTM 11 BMC-3c	BBTM 11 BMC-3c	BBTM 11 BM-3c	BBTM 11 BM-3c	BBTM 11 BMC-3c
Intermedia	AC 16 S 40/50	AC 16 S 40/50	AC 22 S BC 35/50			



Figura 24. Tramo Arévalo – Medina del Campo

AC con betún BC fabricado in situ, y esta a su vez presenta mayor fisuración que la misma rodadura apoyada en una mezcla tipo AC fabricada con betún BC fabricado en central.

Respecto a la comparación entre mezclas con/sin caucho de NFVU, los resultados muestran que los tramos con capa intermedia de mezcla convencional funcionan mejor que los tramos con mezcla con betún mejorado con caucho, sin diferencia clara entre las fabricadas en central o in situ. Por el contrario, las rodaduras con BMC-3c muestran algo menos de fisuración que las que llevan BM-3c.

### c. Coeficiente de rozamiento transversal

La evolución del CRT no muestra diferencias significativas en función del tipo de ligante empleado en las mezclas BBTM 11 B.

Los datos más amplios se refieren al tramo de Tordesillas a Mota del Marqués. Los valores de CRT arrancan en 2010 de 75 en calzada derecha y 70 en calzada izquierda, evolucionando prácticamente en paralelo las zonas con BM-3c y BMC-3c hasta el año 2018 en las que los valores en ambas calzadas se sitúan alrededor de 57-58.

En el caso del tramo de Arévalo a Medina del Campo, los datos son más recientes, sin diferencias significativas entre el BM-3c y el BMAVC-1. Van evolucionando de 63-64 en 2015 a 57-59 en 2018 como el otro tramo.

## 6. Conclusiones

Este artículo se ha preparado con el objetivo de mostrar el comportamiento a largo plazo de dos tramos rehabilitados de la A-6 en la provincia de Valladolid, ejecutados en los años 2010 y 2011, poniendo el foco en las

mezclas fabricadas con adición de caucho procedente de NFVU.

En estos tramos se han empleado mezclas de granulometría continua semidensa con betunes convencionales 40/50 y betunes mejorados con caucho BC 35/50 fabricados in situ y en central. Respecto a las capas de rodadura, se han empleado mezclas BBTM 11 B con betunes modificados con polímeros BM-3c, con polímeros y caucho BMC-3c y de alta viscosidad con caucho BMAVC-1.

También se han recogido los resultados de un tramo experimental del año 2006 en los que se comparan rodaduras con BM-3c, BMAVC-1 y BMAV-3 (equivalente al actual PMB 45/80-75).

La significativa longitud de los tramos de carretera estudiados permite soslayar los problemas de condiciones locales o aspectos puntuales que hubieran podido afectar a los datos. Las principales conclusiones que se pueden obtener, a juicio de los autores, son las siguientes:

1. Los ensayos de extracción con disolvente no reflejan los porcentajes de betún+caucho introducidos en la mezcla, proporcionando valores intermedios entre el porcentaje de betún puro y el de betún+caucho. Los porcentajes de betún obtenidos por combustión reflejan mucho mejor los porcentajes de betún+caucho introducidos. La diferencia entre ambos ensayos nos daría una idea del porcentaje de caucho de NFVU no digerido, pero no la del caucho total empleado que debería ser una información facilitada por el fabricante.
2. En las fórmulas de trabajo con BC 35/50, el porcentaje óptimo de betún+caucho sobre mezcla es superior al de las mezclas convencionales. Esta diferencia es mayor en el caso de los betunes

mejorados fabricados in situ, posiblemente por el menor tiempo de digestión. Si consideramos sólo el betún, los porcentajes son similares, lo que vendría a indicar que el caucho debe ser considerado, al menos parcialmente, como un aditivo sólido en lugar de un ligante.

3. Los resultados de los ensayos de sensibilidad al agua indican que, en rodadura, las mezclas que mejor se han comportado son las fabricadas con el 6,5% de betún de alta viscosidad con polímeros, BMAV-3, mientras que las mezclas con el 9% de betún de alta viscosidad con caucho, BMAVC-1, proporcionan un comportamiento peor que estas y similar a las mezclas con el 5% de betún modificado con polímeros, BM-3c.

Las mezclas utilizadas en la capa intermedia, tanto con betún mejorado con caucho como con betún de penetración, dieron valores similares.

4. Los valores de módulo obtenidos de las mezclas con caucho son inferiores (50-70 %) a los de las mezclas continuas semidensas fabricadas con betunes convencionales de similar penetración. Probablemente ello se deba a que la presencia del caucho ocasiona una disminución del valor de penetración que no se corresponde con la viscosidad del betún de la mezcla betún+caucho.
5. Los ensayos de fatiga muestran, por su parte, que las deformaciones para un millón de ciclos en las mezclas con betún convencional son mayores que las que llevan caucho. Lo que sería indicativo de un peor comportamiento frente a las tracciones que se corrobora por su mayor fisuración al final del periodo analizado.

6. Para analizar la información obtenida para la inspección visual se ha tenido en cuenta el tipo de capa de rodadura y de intermedia existente.

Los tramos con el mismo tipo de capa de rodadura y capas intermedias con betunes mejorados de cualquier tipo, in situ o en central, se han comportado de forma similar pero algo peor que los de las mezclas con betunes convencionales.

Por el contrario, cuando la capa intermedia es la misma, los tramos con rodaduras con BMC-3c presentan un comportamiento frente a la fisuración algo mejor que las capas con BM-3c.

En general, puede decirse que las diferencias entre la utilización de mezclas con o sin caucho no son significativas y en todos los casos se ha empezado a manifestar la fisuración al mismo tiempo, más o menos.

Sin embargo, la capa de rodadura con BMAVC-1, que se extendió directamente sobre el firme existente, sí presenta un peor comportamiento, lo que puede deberse a no haberse apoyado en una capa intermedia nueva.

7. Para el tramo experimental de 2006, los mejores resultados de inspección visual se obtienen para los tramos con betunes de alta viscosidad con polímeros, BMAV-3, mientras que las mezclas con BMAVC-1 y BM-3c presentan un comportamiento similar. En el gráfico de evolución de la fisuración transversal se puede advertir como ésta se empieza a manifestar a partir del cuarto año, y cómo es menor en los tramos con betún de alta viscosidad modificados con polímeros.

8. En cuanto a la fisuración apreciada mediante la tecnología por imagen 3D, los resultados indican que la mezcla con betún de alta viscosidad con caucho ha presentado una menor resistencia a la propagación de fisuras transversales, lo que puede ser debido también al menor espesor total de mezcla nueva sobre la mezcla vieja ya fisurada.

9. En relación con el resto de fisuración, no transversal, también los peores resultados se han obtenido para la mezcla con betún de alta viscosidad con caucho, mientras que los mejores resultados se han obtenido para los tramos en los que la capa intermedia estaba formada por una mezcla con betún convencional. Entre las mezclas de betún mejorado con caucho parece haber funcionado algo mejor las fabricadas en central.

10. En relación con el ensayo Fénix, para cada tipología de mezcla, el comportamiento, usando o no betún con caucho, es similar, es decir, no hay diferencias significativas en el comportamiento de una mezcla por usar o no betún caucho.

11. En cuanto al CRT, los resultados obtenidos son similares para todas las BBTM 11 B, independientemente del ligante utilizado.

Como última conclusión general, en el caso que nos ocupa, no parece que la utilización de betunes que incorporan PNFVU hayan proporcionado ninguna ventaja respecto al empleo de betunes convencionales, si bien los betunes altamente modificados con polímeros (actuales PMB 45/80-75) se han comportado claramente mejor que el resto de betunes modificados, mientras que las mezclas fabricadas con betunes modificados de alta viscosidad

con caucho BMAVC-1 han tenido un comportamiento peor que el resto de mezclas.

## 7. Agradecimientos

Los autores quieren manifestar en este punto su agradecimiento a D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría, por sus innumerables, precisas y valiosas aportaciones a la redacción de este artículo.

Igualmente quieren agradecer su buena disposición a todos los que hicieron posible la ejecución de las obras comentadas, contratistas y técnicos, de la Administración y de las empresas privadas participantes, que asumieron el riesgo de hacer a gran escala algo sobre lo que no había demasiada experiencia.

## 8. Bibliografía

- [1] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Pliego de prescripciones técnicas para obras de carreteras y puentes. PG-3. Varios artículos.
- [2] Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. Dirección General de Carreteras. Orden Circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (nfu).
- [3] Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. Dirección General de Carreteras. Orden Circular 21bis/2009 sobre betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación in situ y almacenamiento en obra. ❖

# Elogio de los puentes de piedra.

## Apelación a que los ingenieros los estudien

(1ª parte)



### Praise of the stone bridges. Exhortation to engineers to study them (I)

**Francisco Javier León**  
**Benedetta Orfeo**  
**Leonardo Todisco**

*Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras.  
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid*

Se presenta, en el conjunto de las dos partes en que se ha dividido este artículo, la relación de virtudes de estos puentes (también de algunos puntos débiles), tan numerosos y tan desconocidos por parte de los propios ingenieros. Entremezclados con experiencias profesionales, investigadoras y académicas, se da cuenta aquí de aspectos tan interesantes como las cimbras: una bóveda, un arco, no funciona como tal hasta que no se cierra en clave y puede retirarse la cimbra. Hasta ese instante, las dovelas no son sino una carga (no pequeña) sobre esas estructuras temporales, con frecuencia colosales, proyectadas y construidas con los medios de otros tiempos. Se trata, en palabras de Julio Sánchez, de una expresión de “ingeniería efímera” que merece reconocimiento. Como reza el título, se hace una reivindicación de la necesidad de que se estudien estos puentes, incorporando las enseñanzas a los planes docentes de los másteres de nuestras Escuelas de Ingenieros de Caminos. Se retomará así, de manera actualizada, la brillante trayectoria de aquellos ingenieros decimonónicos que dotaron al país de unos puentes con los que se vertebró la red de carreteras y de ferrocarriles. Merecemos especialistas que traten con conocimiento el patrimonio heredado y que, por qué no, proyecten hacia el futuro las posibilidades de un material estructural, la fábrica de piedra o ladrillo, de cualidades bien probadas pero olvidadas.

The advantages and some weak points of masonry bridges are reminded in this paper, published in two parts. Although bridges of this type are numerous in Spain and in many other European countries, they are rather unknown by civil engineers. Together with professional, research and academic experiences, the authors pay attention to questions like centring. Thus, an arch will function as a self-supporting structure only when the voussoir at crown is placed and the scaffolding is removed. Till this moment, voussoirs act merely as big loads on such often huge temporary structures erected with the equipment of ancient times. Such “ephemeral engineering” deserves a special recognition, as Julio Sánchez says. As declared in the title of the paper, a special emphasis is given to the need of studying such bridges, disseminating this knowledge through the Civil Engineering Schools or Faculties and their Curricula. Thus, the brilliant tradition of civil engineers of the past (especially 19<sup>th</sup> Century), properly updated, can be recovered to improve the quality of the refurbishment works on these bridges today and, why not, conceive new possibilities for newly designed bridges on stone or brick.

## Introducción

Leonardo da Vinci, personaje en el que se dan cita la curiosidad infinita, la entrega al trabajo y el espíritu racionalista del Renacimiento, proclamó: *Il grande amore nasce de la grande cognitione de la chosa che si ama*. Este aserto sintetiza a la perfección que ingenio y arte, técnica y emoción, no son incompatibles, sino recíprocamente potenciadores sobre la base del conocimiento, que es fruto del estudio. A eso se refiere el título de este artículo: a la exhortación para que los ingenieros estudiemos los puentes de piedra (o ladrillo). Estudiar para conocer y así amar más esos objetos. El lema de Leonardo, por cierto, entraña una simbiosis de razón y sentimiento, de racionalismo científico que se torna en amor, sentimiento difícilmente explicable en términos físico-matemáticos. El amor estimula la profundización en la materia objeto de estudio: una dualidad sinérgica formidable propia del ser humano con voluntad.

A los autores nos parece imprescindible retirar el velo de anacronismo, de artefacto viejo y superado que parece cubrir a los puentes de piedra. Tal velo ha sido tendido sin querer por los propios ingenieros que los han arrumbado de *facto*, tácita o explícitamente. Viene a cuento el aforismo de Chesterton, quien afirmaba que *la tradición es la transmisión del fuego, no la adoración de las cenizas*, porque de lo que se trata es de explicar, de prender la llama de la curiosidad por los puentes de piedra para quererlos más, con actitud activa y no meramente plañidera.

Carlos Fernández Casado, filósofo además de ingeniero, afirmó [1] certeramente que *ese grande amor legitima el fruto material de nuestra relación con las cosas*. Don Carlos, gran estudioso de los puentes, singularmente los de piedra, proyectista



Figura 1. Puente de Langa de Duero en enero de 2021, tras su restauración parcial. Foto de Javier Barrio, alcalde de Langa de Duero

de nuevos puentes y admirador de los históricos, basaba en el principio citado la justificación de sus actos. También podemos hacer lo mismo los ingenieros de hoy y, especialmente los ingenieros de mañana. A dar argumentos para conocer los puentes de piedra está dedicado, modestamente, este artículo.

## Qué son los puentes de piedra

A pesar de estar ahí desde hace siglos o milenios, los puentes de piedra o ladrillo siguen siendo prácticamente desconocidos por los ingenieros, aunque se han pronunciado ya sobre ellos bastantes voces muy autorizadas [2, 3, 4]. En el plano técnico, puede resultar sorprendente que, en el s. XXI, cuando parece que las técnicas de reconocimiento y de cálculo lo pueden aparentemente todo, aún no se esté en condiciones de evaluar con garantías suficientes cuáles son los umbrales aceptables de movimiento en bóvedas, muros o pilas frente a los problemas de cimentación, o la contribución de rellenos, o la capacidad de los tímpanos, etc. Cuando se trata de restaurar o de reconstruir estos puentes, siquiera parcialmente, tampoco cuentan los profesionales con el bagaje necesario de conocimientos en esta

ancestral actividad, propia de los ingenieros de caminos.

Si bien se han dado pasos muy importantes para el estudio ingenieril, no sólo histórico, de los puentes de piedra o ladrillo, detectamos que aún es necesario profundizar en el conocimiento de estos puentes. Estas obras juegan un papel fundamental en la sociedad, siendo no sólo parte integrante del paisaje, sino elementos vertebradores del territorio, sustanciado en su insuficientemente apreciado valor de uso (que se lamenta cuando se pierde). Para preservar todas las bondades que siguen ofreciendo, es indispensable tener un conocimiento profundo de estos puentes, de su historia, de su variedad tipológica, de los criterios de proyecto y construcción, así como de sus aspectos funcionales y estéticos, conjuntamente con otros valores sociales, paisajísticos o técnicos que los adornan [5].

## El valor de la historia

Decíamos en [6] que *es errónea la idea de que la visión histórica es exclusivamente retrospectiva. La visión histórica es profundamente analítica e innovadora. Así, los que realizan una investigación (las tesis doctorales son paradigmáticas en este aspecto) hacen un estudio o re-*



Figura 2. De izquierda a derecha, esquema típico de las cimentaciones con pilotes y encepado de madera (tomado de Wiebeking y Perronet, Biblioteca de la ETSICCP-UPM). Extremo inferior de pilote con azúchre (Museum für Geschichte, Basilea, Suiza). Maquinaria para hincado de pilotes (tomado de Perronet y Wiebeking). Detalle de emparrillado, tarima y zampeado tomado del proyecto de refuerzo del puente de Deba de 1892

visión del “estado del conocimiento”. Eso es estudiar historia: saber qué han hecho otros en el pasado, más o menos remoto, detectar sus lagunas con comprensión e indulgencia para con los errores y, por consiguiente, los resquicios por los que cabe abrir un nuevo frente de conocimiento. La historia permite estimular al alumno en la inventiva, en la capacidad de discurrir nuevas ideas, de entender conceptos que otros ya pensaron para sí y para sus sucesores. Es el caso de quienes, antes que Freyssinet, entendieron el efecto beneficioso que los pináculos dispuestos sobre los contrafuertes de las catedrales, antes de descimbrar las naves, tenían para generar un estado favorable de compresiones, o el efecto de la carga muerta en los arcos de fábrica, mucho más importante que las sobrecargas, y que “pretensa” sus directrices con relación a las sobrecargas futuras.

En efecto, con carácter general, el estudio de los aspectos históricos cobra especial importancia cuando hay que enfrentarse con el problema de analizar construcciones existentes, independientemente de la tipología (edificio, puente, instalación industrial, etc.), del material principal

(hormigón, acero, madera y, por supuesto, piedra o ladrillo). En efecto, saber de la historia de la construcción analizada es tener ya medio hecha la caracterización de la construcción, porque suelen encajar los criterios de proyecto y construcción, las características de los materiales, los detalles constructivos, etc. (figura 2) con los de la época y la ubicación geográfica de la obra. Así, de una bóveda romana se sabe que el espesor era constante, cosa que no sucede, en general, en épocas posteriores, o que el relleno rígido subía hasta la clave, cosa que no sucede en la Edad Media, o que en los puentes, a partir del Barroco, empiezan a ser más frecuentes las bóvedas carpaneles o escarzanas, con ratios documentadas en los tratados acerca de los espesores de la bóveda en clave y en arranques, etc. Por no hablar de otros avatares como voladuras, refacciones, ampliaciones, recalces, construcción de defensas, etc.

Así pues, enseñar estas cosas a los futuros ingenieros contribuirá decisivamente a cubrir un vacío práctico que, de facto, está pendiente de llenar a pesar de existir tratados que lo explican, pero que no se han estudiado y trasladado al ingeniero de

hoy en lenguaje asequible y contrastado técnicamente. El bagaje de conocimientos con que hemos de dotar a los nuevos ingenieros cubre fundamentalmente los aspectos resistentes y constructivos, aunque también cabe hacer incursiones en mundos aparentemente colaterales como el de la metáfora y el lenguaje [7].

Los estudios que abordamos en nuestro grupo investigador han tenido siempre una componente práctica, de aplicación al quehacer diario de ingenieros que han de pronunciarse sobre la capacidad de estructuras que siguen prestando un impagable servicio a la sociedad. Tal pronunciamiento, considerado normal en estructuras de acero u hormigón, es también aquí necesario. Para eso el conocimiento que los ingenieros han de tener de esos puentes pasa, ineludiblemente, por los aspectos técnicos resistentes, de durabilidad y de mecanismos de deterioro, así como por los constructivos. En esa línea impartimos en nuestra Escuela desde el curso 1999-2000 la asignatura *Análisis estructural de construcciones históricas de fábrica*, que ha dado lugar a cinco tesis doctorales sobre la materia (destacan las [8, 9, 10 y 11] y a varios trabajos de sufi-



Figura 3. Posición de las rótulas en las bóvedas 2 (izquierda) y 3 (derecha) desde aguas abajo. Se han trazado las líneas presuntamente horizontales de la imposta (roja superior) y las paralelas a ésta por la rótula más baja



Figura 4. Izquierda, rotura en compresión de intradós de B-3. Derecha, apertura de juntas en intradós de B-2



Figura 5. Despegue de sillares en tajamar de aguas arriba de P-3 y piezas rotas a compresión en tímpano sobre pila 2

ciencia investigadora, llamados así en su día, y de fin de máster, más recientemente. Siempre hemos querido que el resultado del estudio y la divulgación tengan una dimensión práctica y estimulante.

Hemos vivido en carne propia –en ello han sido muy importantes experiencias profesionales recientes– que el conocimiento de las reglas de proyecto y construcción de estas obras

es verdaderamente esencial para atinar y no especular, para sistematizar con criterio y, además, para enriquecernos intelectualmente al situar la obra en el contexto geográfico e histórico correspondiente. Sabemos de algún concurso público al que sólo se presentó un equipo de técnicos. Entre las razones que probablemente explican esta anomalía, en tiempos en los que conseguir contratos es muy problemático, está el hecho

de que hay muy pocos equipos de ingenieros capaces de satisfacer la cualificación pedida y de acreditar conocimientos y experiencia práctica. Se trata, pues, de un ámbito de trabajo en el que la investigación orientada a la práctica profesional es especialmente necesaria. Las figuras 3 a 6 pretenden ilustrar estas ideas a través del ejemplo del puente de Deba, que fue objeto de visita de prácticas con los alumnos en abril de

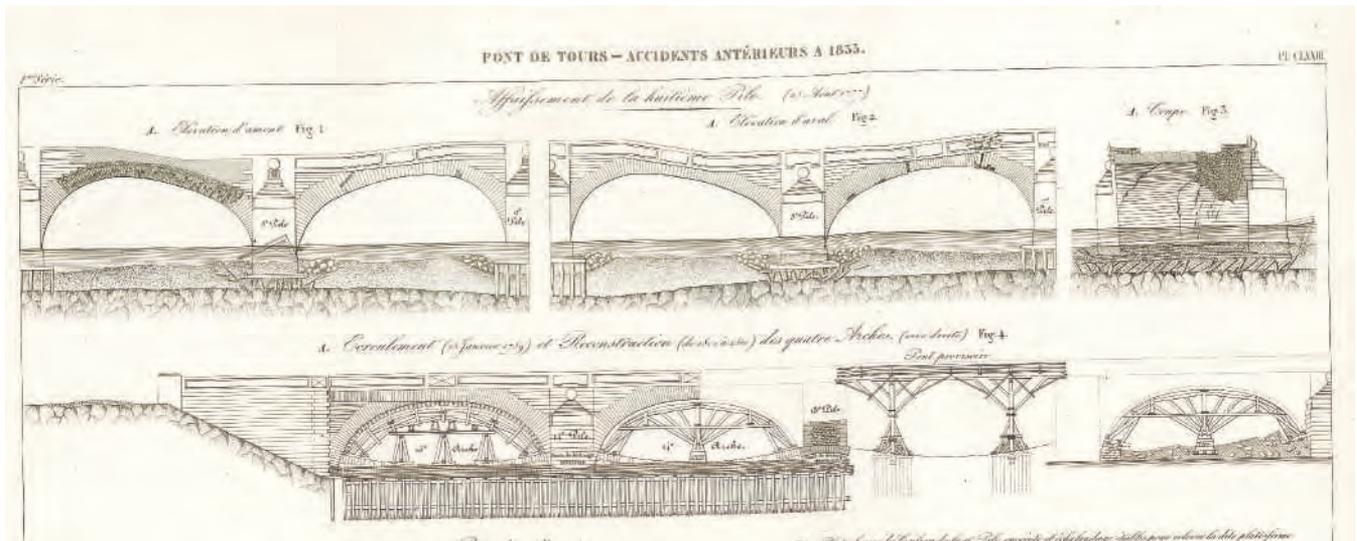


Figura 6. Puente de Tours, documentación de fallos en cimentación e intervenciones realizadas en el s XIX. Annales des Ponts et Chaussées, 1848. Biblioteca de la ETSICCP-UPM. El problema del puente de Deba, en lo que se refiere al comportamiento estructural, no es nuevo

2019. (Digamos, de paso, que en los viajes de prácticas que hacemos con los estudiantes de grado y máster, visitamos siempre puentes de piedra, ante los cuales los estudiantes experimentan una notable y desinteresada curiosidad, por cierto, porque no va a caer en los exámenes.)

Cuantitativamente, los puentes de piedra o ladrillo son muy importantes en el contexto del patrimonio que tenemos en España: cerca del 20% de los puentes de las redes españolas de carreteras y aproximadamente el 40% de los puentes de líneas ferroviarias convencionales son de piedra o ladrillo, o tienen elementos de esos materiales, como estribos y pilas. Sobre su estado, capacidad resistente y, en su caso, rehabilitación o refuerzo deben pronunciarse, ya lo hemos dicho, los ingenieros de caminos en el ámbito de sus competencias, y deben hacerlo con fundamento. Para comprender mejor la importancia de los puentes de piedra o ladrillo, piénsese, por ejemplo, que los puentes metálicos o mixtos apenas representan un 5% del total en España, mientras que el resto son de hormigón (del orden de 2/3 del total en el ámbito carretero y del 60% en el ferroviario de líneas convencionales). Para estos materiales, hormigón y acero, los

aspectos técnicos son más asequibles porque, con hormigón y acero, se siguen proyectando y construyendo puentes, cosa que no sucede con los de piedra o ladrillo, huérfanos de doctrina y de tratamiento normativo.

Conscientes de todo ello, organizamos en la Escuela, conjuntamente con la Fundación Juanelo Turriano, un curso de verano (julio de 2016) cuyas lecciones vieron la luz en forma de un bien editado libro [12]. El curso coincidió con una exposición de parte de los magníficos fondos bibliográficos que atesora nuestra Biblioteca, conjuntamente con la recientemente desaparecida Conchita García Viñuela (Directora de la Biblioteca). En realidad, fue el propio curso el que resultó ser una consecuencia de la exposición, enriquecida con algunas maquetas y con un ensayo en modelo reducido para explicar el funcionamiento mecánico de bóvedas y rellenos (figura 7).

El éxito del curso y de la exposición, junto a la rica base bibliográfica que se ha ampliado, han inspirado otra exposición en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos sobre los antiguos tratados españoles, exhibiendo los más representativos, creando animaciones, dibujos, croquis y paneles explicati-

vos para que, de un modo divulgativo y amable, el público pueda acercarse al mundo de los puentes más representativos de nuestra historia. Desafortunadamente, se ha decidido posponer este proyecto a causa de la situación de pandemia global en la que nos encontramos. Sin embargo, el material preparado ha sido fundamental para impartir clases del curso universitario mencionado antes.

A título de anécdota, S.M. el Rey Felipe VI pudo contemplar parte de los fondos expuestos en la Sala de Profesores de nuestra Escuela (figura 8) por iniciativa de la Dirección, deteniéndose especialmente en alguno de ellos, los que mostraban, a partir de excelentes grabados, secuencias de los procesos constructivos de estos puentes. Y es que en nuestra Escuela se impartió en otro tiempo una formación de excelencia en la construcción de obras de fábrica, especialmente puentes, de lo que dan buena prueba los documentos que se custodian en nuestra sin igual Biblioteca o que están en los archivos de las distintas Administraciones. Retomar esta disciplina es dar continuidad a aquella excelente tradición adaptándola a las necesidades de hoy y a un contexto mucho más rico, lo que permitirá ofrecer a los alum-

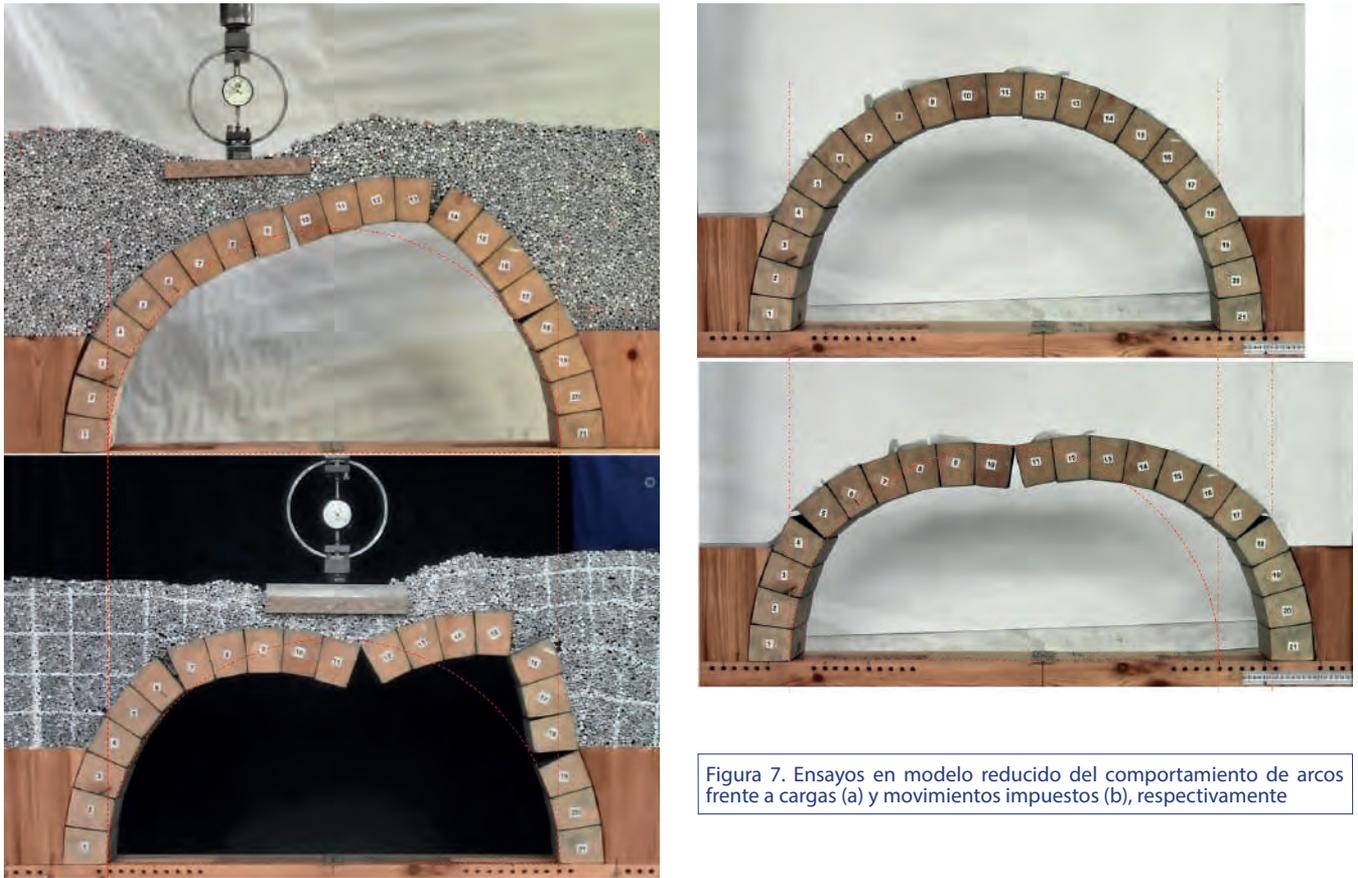


Figura 7. Ensayos en modelo reducido del comportamiento de arcos frente a cargas (a) y movimientos impuestos (b), respectivamente

nos del presente (ya lo hacemos a través de la asignatura citada) y, sobre todo, a los del próximo futuro, de nuevo esa formación de excelencia que les habilitará para entender de los puentes de piedra o ladrillo en toda su extensión técnica y cultural.

En definitiva, detectamos la necesidad imperiosa de estudiar en profundidad los tratados sobre construcción de puentes de piedra o ladrillo entre los siglos XVI y primeros años del XX, lo que está siendo objeto de la tesis doctoral de la autora segunda de este artículo. También hemos participado en una exposición en la Biblioteca Nacional [13]. Se trata, por orden cronológico, de los llamados *Veinte y un libros de los Yngenios*, y *Maquinas de Luanelo*, que aborda multitud de temas hidráulicos, entre ellos los puentes; la obra de Fray Lorenzo de San Nicolás, de la que importa principal, pero no únicamente, a nuestros efectos, el capítulo LXV de la primera parte

(1639) del *Arte y Uso de la Arquitectura*; el extenso y completo tratado sobre puentes que el jerónimo Fray Antonio de San José (el Padre Pontones) escribió entre 1759 y 1768 (figura 12); y, finalmente, la aportación del ingeniero militar Miguel Sánchez Taramas completando el *A Treatise containing the elementary part of fortification* (1746) de John Muller. Se ha recorrido así el panorama de la inge-

niería de puentes del Renacimiento a la Ilustración a través de una serie de personajes que, no siendo únicos, son representativos de una época y un conocimiento, destacándose los aspectos técnicos que aportan estos autores a los ciudadanos del presente, particularmente a los ingenieros que tenemos que entender cómo eran, se construían y se mantenían los puentes; pero también cómo uti-



Figura 8. Visita de S.M. el Rey a la exposición de la Sala de Profesores de la Escuela (23.09.2020)

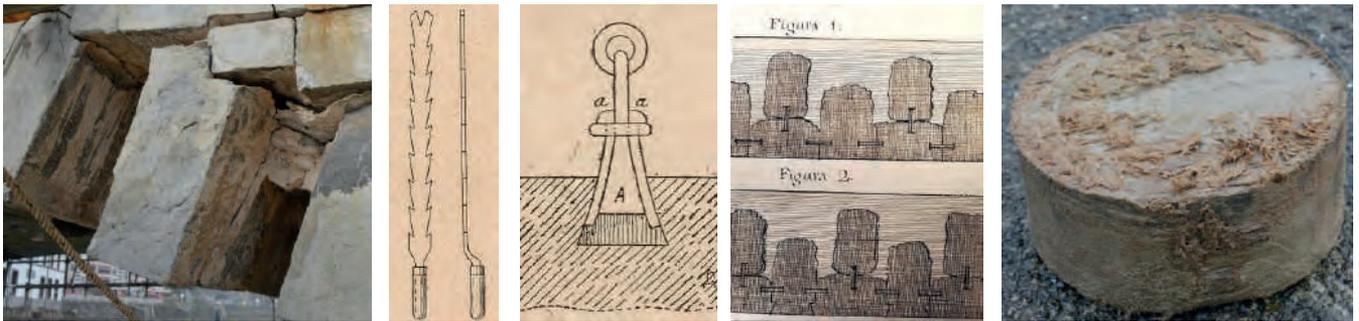


Figura 9. Configuración de dovelas y mortero (puente de Deba) útiles asociados al proceso constructivo (espátulas para disponer el mortero en las dovelas y holivelas para el izado de sillares, según Chaix, s. XIX, casi idénticos a los dispositivos encontrados en los Veintiún Libros...), grapas y pilote de madera (puente de Deba). Fotos de los autores

lizaban los tratados para transmitir estos conocimientos.

Es necesario decir que abordar ese estudio nos ha puesto frente al espejo del verdadero conocimiento, haciéndonos ver cuán lejos estábamos aún del entendimiento profundo de estos puentes, de la importancia ignorada de detalles constructivos (figura 9) y, asimismo, de la variedad tipológica y de criterios de proyecto y construcción. Tal análisis no se detiene en elementos meramente estructurales. Se adentra también en aspectos funcionales y estéticos, haciendo verdad el planteamiento vitruviano del inefable y deseado equilibrio entre la *Utilitas* (funcionalidad), la no tan obvia *Firmitas* (capacidad resistente y durabilidad) y la necesaria *Venustas*, la irrenunciable aspiración a la belleza. Entendemos que nuestra profesión, de la mano de nuestras Escuelas, ha de ir en pos de ese equilibrio cognitivo y de sensibilidad: se ha detectado la necesidad de conocer a fondo los puentes de piedra o ladrillo, en todas sus facetas, incluida la histórica, y dedicarle tantas investigaciones como requiera la profesión y que sus esencias se proyecten en los planes de estudios de los ingenieros.

### Ámbitos de estudio

**Catálogo de fuentes bibliográficas sobre la materia** que, partiendo de las más conocidas, amplía el

círculo a documentos a buen seguro menos conocidos o ignorados por completo. En ese sentido, la experiencia adquirida es que algunos tratados, de menor valor relativo desde un punto de vista histórico o libresco, contienen información de enorme interés técnico. La base de conocimiento que atesora la Biblioteca de la Escuela es excelente, pero hay mucho material también en la Fundación Juanelo Turriano, el CEHOPU, el Colegio de Ingenieros de Caminos, el Ministerio de Transportes, la Biblioteca Nacional, etc. El hecho de que muchos arquitectos fueran también pontífices, como Juan de Herrera o Vandelvira (puente de Ariza, p.e.), añade un territorio de búsqueda que abre las puertas, precisamente a partir del s. XVI, a los

autores de tratados de estereotomía, por citar un ejemplo. Fuente de información adicional de gran valor es la que pueden aportar los ingenieros militares, que se organizaron antes que los ingenieros civiles (de ahí la denominación distintiva), y que tiene en España el referente, entre otros, del ya citado Sánchez Taramas (s. XVIII). Cabe añadir que esas fuentes bibliográficas son muy poco conocidas entre los ingenieros, si bien han sido algo más estudiadas por historiadores, detectándose la necesidad de coordinar la labor de ambos grupos de profesionales, pues hay documentos de gran valor técnico que no han sido tan apreciados por los investigadores de la Historia, y documentos técnicos cuyo valor histórico ha sido ignorado por la Ingeniería.

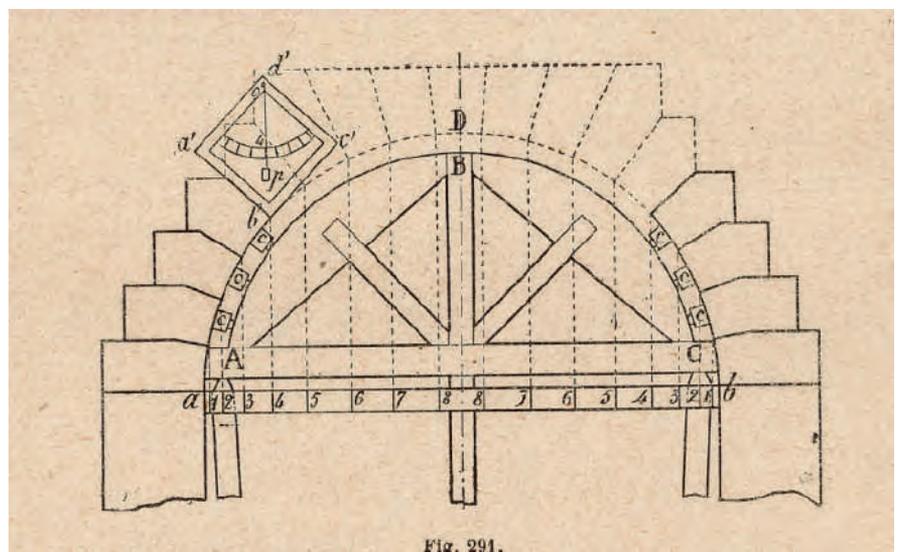


Figura 10. Procesos de replanteo de dovelas sobre los aprestes (piezas C) dispuestas sobre las bóvedas con la ayuda de un transportador. Tomado de J. Chaix. *Traité de coupe des pierres* (stéréotomie). Biblioteca de la ETSICCP-UPM

**Situar en el contexto europeo el panorama de los tratados de puentes.** Si bien el ámbito que cubre el estudio realizado es el geográfico español y el temporal aludido (siglos XVI a XX), es forzoso mencionar en qué contexto se sitúan esos tratados en comparación con las aportaciones de Vitruvio o de los coetáneos del propio Juan de Herrera; o de los franceses Gautier, Béliador, Perronet, Boistard, Morandière, Chaix (figura 10) o Séjourné; británicos como Gregory, Muller o Heyman; italianos como Castigliano, da Vinci; o alemanes como Wiebeking, por citar sólo algunos. Nos ha llamado la atención que la interrelación y el flujo de conocimientos era mayor y más intenso de lo que se supone, a pesar de que se trate de épocas consideradas casi remotas, al menos en el ámbito de la Ingeniería [14, 15].

**Elaborar un glosario de términos** que ayude a los técnicos de hoy a entender la jerga de aquellos tratadistas, con las explicaciones correspondientes, es importante. Ya lo fue el glosario publicado en 1996 [16] pero hemos detectado la necesidad de ampliarlo y actualizarlo. Cumplir ese objetivo es especialmente importante, dado que hace ya muchas décadas (principios del s. XX) que se dejaron de proyectar y construir estas nobles estructuras, con procedimientos y lenguaje propios, muchos de ellos comunes con la Arquitectura, que es necesario recuperar para entender más fácilmente los contenidos de aquellos tratados, y para reutilizarlos modernamente porque los salmeres, los cintreles (ver figura 14) o transportadores (figura 10), los cornijales o los aprestes, por citar sólo unos ejemplos, siguen siendo lo que eran y a ellos hay que referirse con el vocablo adecuado.

**Recopilar y sistematizar las reglas** relativas a la búsqueda de los mejores emplazamientos para el puente, a cuya decisión quedaba su-

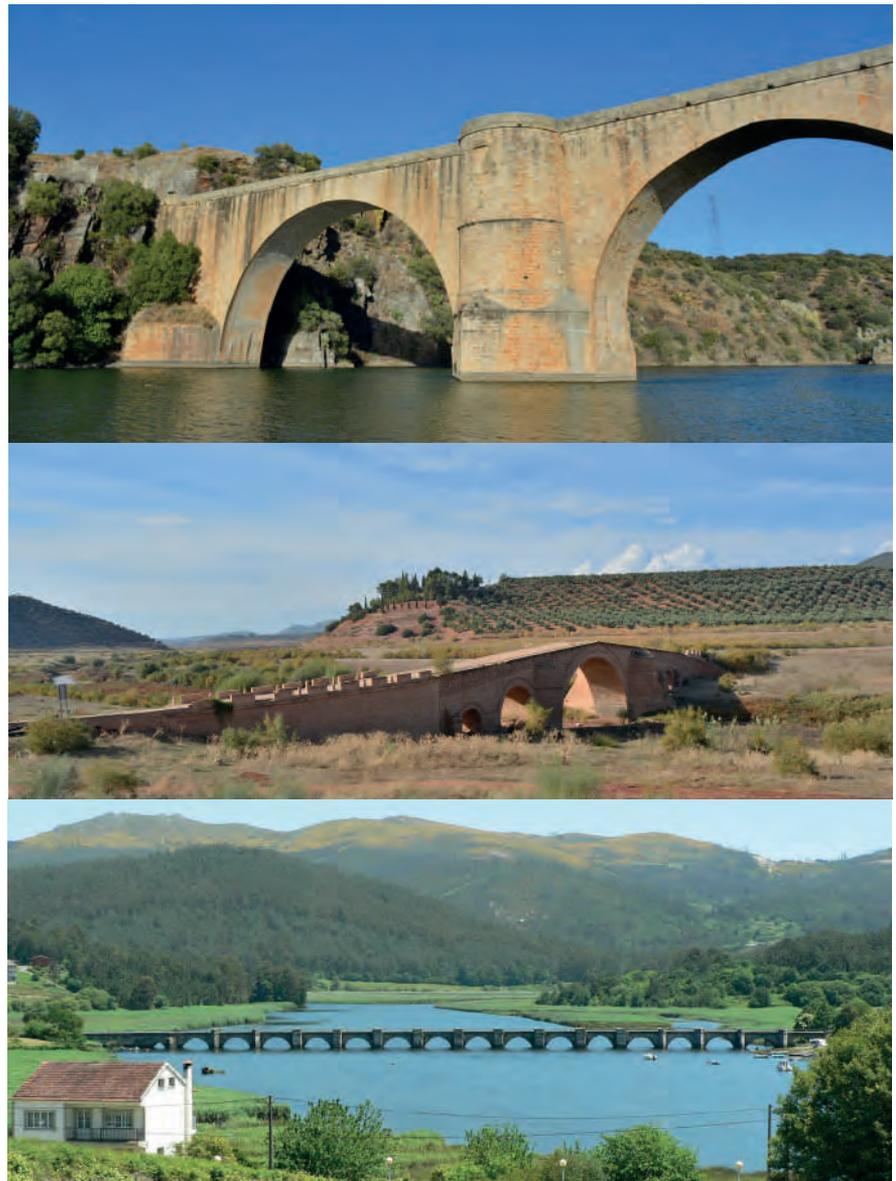


Figura 11. Puentes de Almaraz (Cáceres), Ariza (Jaén) y Nafonso (La Coruña). Fotos de los autores

peditado el trazado del camino y no al revés, como sucede a partir del s. XIX con el ferrocarril, reconocimiento del terreno en ambas márgenes y en el propio cauce, medición de caudales y dinámica fluvial, criterios para elegir la cota de la rasante y el número y luces de los vanos, etc. También, cuando proceda, los criterios urbanísticos y de deliberado protagonismo urbano (puentes de Segovia o de Toledo, en Madrid) o no, como los puentes de Almaraz, Jaraicejo, el ya citado de Ariza, o el de Nafonso (La Coruña) en pleno campo (figura 11), pero con la intención de que el puente sea un objeto arquitectónico

útil, solvente y bello, adjetivos que ya utilizamos más arriba. Lo relacionado con el emplazamiento es un aspecto importante pues la cimentación de estas estructuras se construyó sin los conocimientos que hoy se tienen de la Geotecnia y sin los medios constructivos de exploración y construcción de ahora. Eso hacía especialmente importante elegir cuidadosamente el emplazamiento del puente, cuestión hoy de importancia casi secundaria.

**Discriminar los criterios de proyecto y los métodos constructivos de todos los componentes de los**



Figura 12. Portadas del manuscrito del P. Pontones (izquierda) y del tratado de Bélidor

**puentes:** pozos, zapatas, plintos, zampeados, pilotes, muros, tímpanos, bóvedas, rellenos, tajamares, desagües,... Especialmente significativo es el caso de la cimentación, terreno fronterizo todavía hoy (o quizás especialmente hoy) con los especialistas en geotecnia y de los trabajos bajo tierra o bajo el agua. Se trata, quizás, de uno de los hechos diferenciales más claros entre la construcción de edificios y la de puentes (de ahí el título del tratado del P. Ponto-

nes, dado que en los puentes siempre había que lidiar con el agua, o de Bélidor, figura 12). Con excepciones como la de Venecia, entre otras no menores, las cimentaciones de las grandes catedrales no resultaban tan complejas y llenas de incertidumbres de todo tipo como las de los puentes, especialmente en ríos caudalosos. Conocer los criterios de proyecto y de construcción tiene importancia histórica y técnica, fundada ésta en aquella, con visión recíprocamente

enriquecedora. Tal beneficio se plasmará en un **mejor conocimiento de las cimentaciones** (figura 13) que son, hay que subrayarlo, el talón de Aquiles de los puentes de piedra o ladrillo, por lo demás extraordinariamente competentes.

Del dimensionamiento (acción de otorgar dimensiones) de los elementos de un puente hay reglas, como las que sintetizara Gaztelu [17], recogidas también en [18]. Lo que hemos podido cotejar hasta ahora es la validez de las reglas de proyecto de los ingenieros del pasado con los resultados de nuestros propios análisis, partiendo de la base de que una cosa era proyectar, para lo que se utilizaban reglas simplificadas sancionadas por la praxis y por la aplicación progresiva de los principios de la Mecánica y de la Resistencia de Materiales; y otra cosa bien distinta es comprobar el estado de un puente y emitir dictamen, con criterio fundado, acerca de la capacidad que ofrece, de los aspectos críticos, etc.

Fruto especialmente valioso del trabajo ha sido el **estudio de las cimbras** [19] que se utilizaron para la construcción de las bóvedas y los arcos, como se ha señalado más arriba (figura 10) o se muestra en

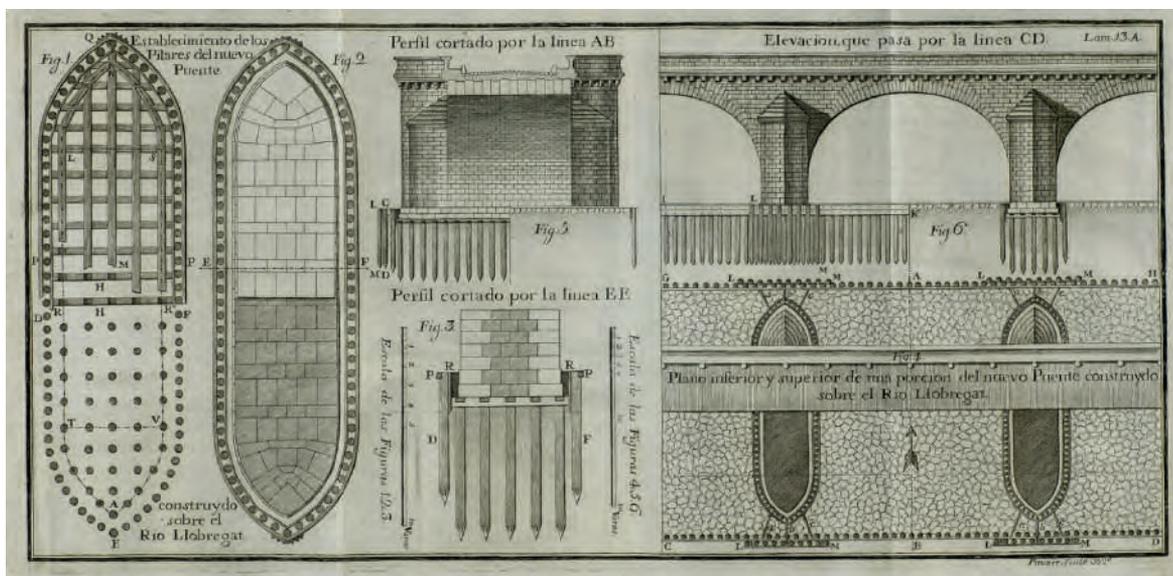


Figura 13. Recintos tablestacados y pilotes hincados de madera en la construcción de pilas en el cauce del río Llobregat (puente de Molins de Rei. Tratado de Sánchez Taramas

la figura 14. Un arco o una bóveda construidos se comportan como ya es bastante sabido por quienes nos dedicamos a esto, pero no son nada, sino mera carga sobre su soporte, que es la cimbra, hasta que se pone la dovela de clave y se retira esa cimbra. Hemos aprendido que la configuración final de las bóvedas depende también en buena medida de las cimbras que se pudieron utilizar, de dónde se apoyaban éstas, de cuál habría de ser la geometría que se otorgase a esas estructuras (“ingeniería efímera” en palabras de nuestro reconocido Julio Sánchez) para que el acabado final fuera formalmente el deseado. Por no hablar de cómo labrar las piezas, situarlas ordenadamente en su posición con ayuda de cintreles o transportadores de ángulos, o disponer el mortero en sus juntas (figuras 10 y 14). El estudio no ha hecho más que abrir las posibilidades de investigación en ese terreno. Sus consecuencias prácticas no sólo se cifran en mejorar el conocimiento histórico; sirven para orientar mejor las actuaciones de reparación, refuerzo o reconstrucción, como sucede en el citado puente de Deba o en el de Mantible (figura 15, a la que nos referiremos), y también para plantear, por qué no, la construcción de nuevos puentes de piedra.



Figura 14. Empleo de cimbras para la construcción de un puente sobre el río Tera (Zamora) (Foto Laurent, mediados del s. XIX)

**Documentar asimismo los criterios relativos a los acabados:** pavimentos, balconillos, impostas, hornillos, caces, sumideros, gárgolas, pretiles, guarda-ruedas, etc., todo ello para entender mejor aspectos tan importantes como las pendientes, los pavimentos y los enlosados inmediatamente situados bajo éstos, las impostas, albardillas, contra-bóvedas, rastrillos o los más ornamentales como escudos, florones, pináculos, hornacinas, etc. Especialmente importantes e ignorados son el sistema de drenaje, los pretiles y sus protecciones (guarda-ruedas, dispuestos para impedir que el impacto de los carros dañara a los

pretiles) (figuras 16 y 17). Algunos componentes no son estrictamente estructurales (los pretiles sí lo son, por ejemplo, aunque no lo parezca), pero están vinculados a la vida del puente y a su ornamentación. Además, sus fallos pueden llevar a daños relevantes a los usuarios, aunque no estén relacionados a un colapso global de la estructura, como es el caso de los tímpanos. Experiencias recientes, como la restauración del puente medieval de Langa de Duero (Soria, figura 1), ponen de manifiesto la sabiduría de los maestros del pasado, que aseguraron un drenaje longitudinal del puente muy eficaz, discurrendo incluso bajo un hermo-

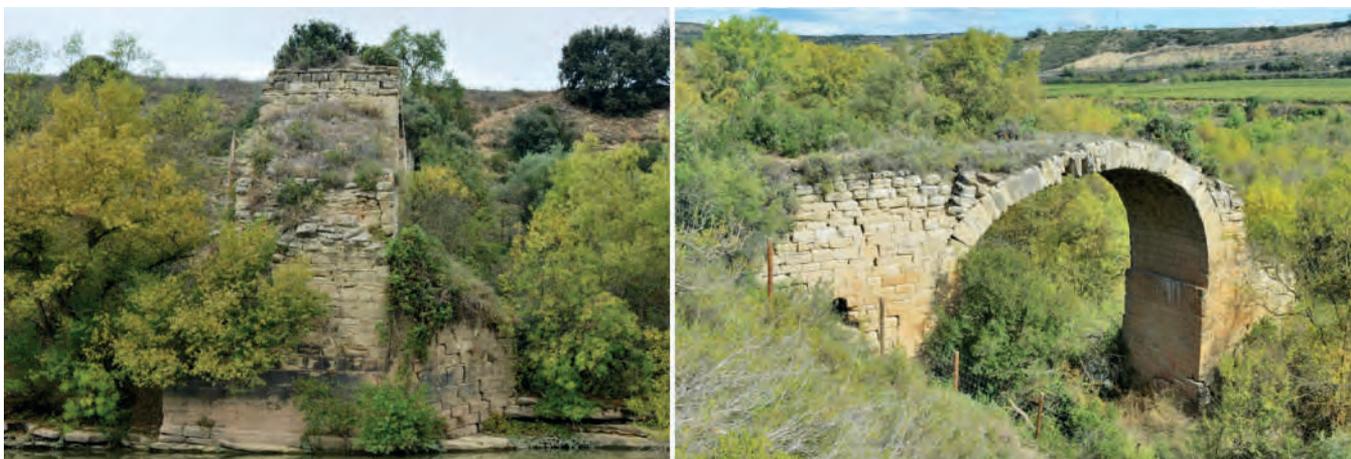


Figura 15. Puente Mantible (Logroño). Fotos de este equipo, cuando emitió un informe *motu proprio* remitido al Ayuntamiento para advertir del riesgo de colapso (noviembre de 2019). El texto recibió el informe favorable de la Comisión de Monumentos de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando y se convocó concurso para la restauración



Figura 16. Puente del P. Pontones sobre el río Zapardiel, en S. Vicente, cerca de Gozernarro (Valladolid). Se aprecian el pavimento (zahorra compactada) y los guardarruedas. Foto de los autores



Figura 17. Enlosado hallado bajo el pavimento del puente de Langa de Duero (Soria) en septiembre de 2020 (foto de José Vicente García)



Figura 18. Placa en el puente de Puente del Obispo (Jaén), sobre el Guadalquivir. Foto del equipo. El texto reza así: Este puente se llama del Obispo. Hízola toda a su costa D. Alonso de la Fuente del Sauce, Obispo que fue de Mondoñedo y después de Lugo y en el año 1500, de Jahen. Y dejó el paso libre de ella. Y es libre de todos, sin pagar tributo alguno. Comenzada el año mil y quinientos y cinco, y acabada el año mil y quinientos y ocho. Y concede a los que pasaran y rezaren un Ave-María, quarenta días de Perdón.

so enlosado destinado, sin embargo, sólo a dar soporte firme a una capa de rodadura más cómoda para personas, carruajes y ganados.

Enlazado con lo anterior debe hacerse referencia a **los trabajos de mantenimiento** bebiendo de las fuentes originales, que ya explicitaban lo que se debía hacer en el contexto del mantenimiento ordinario, especialmente en lo relativo al drenaje, la limpieza de los cauces y la orientación de las corrientes, como la construcción de manguardias y espigas (otros conceptos que actualizar con el léxico). Los curatores romanos, los funcionarios árabes o los fabriqueros (o mayordomos) de las catedrales son precedentes que invocar para indagar qué criterios semejantes se aplicaban a los puentes. Estas construcciones no han llegado hasta nosotros por milagro, sino gracias al desvelo escasamente reconocido de mantenedores y restauradores. Ejemplos de ello son las placas de los puentes de Alcántara (Toledo) o del Puente del Obispo (Jaén, figura 18).

Finalmente, **documentar la relación de medios auxiliares** para cada uno de los aspectos indicados anteriormente, fijando la atención en los medios para la construcción de cimentaciones (pilotes, pantallas, etc.), pasarelas de acceso, además de las ya citadas cimbras para las bóvedas. De entrada, se identifican los dispositivos de reconocimiento del terreno, de medición de caudales, grúas, norias, bombas, cabrestantes, polipastos, etc. (figura 19).

La motivación de este estudio ha nacido de la exigencia, sentida por los autores y por un número creciente de ingenieros profesionales y responsables de la conservación del patrimonio de puentes, de contar con un conocimiento más profundo de los puentes de fábrica, con particular interés en aquellos pertenecientes al patrimonio español.

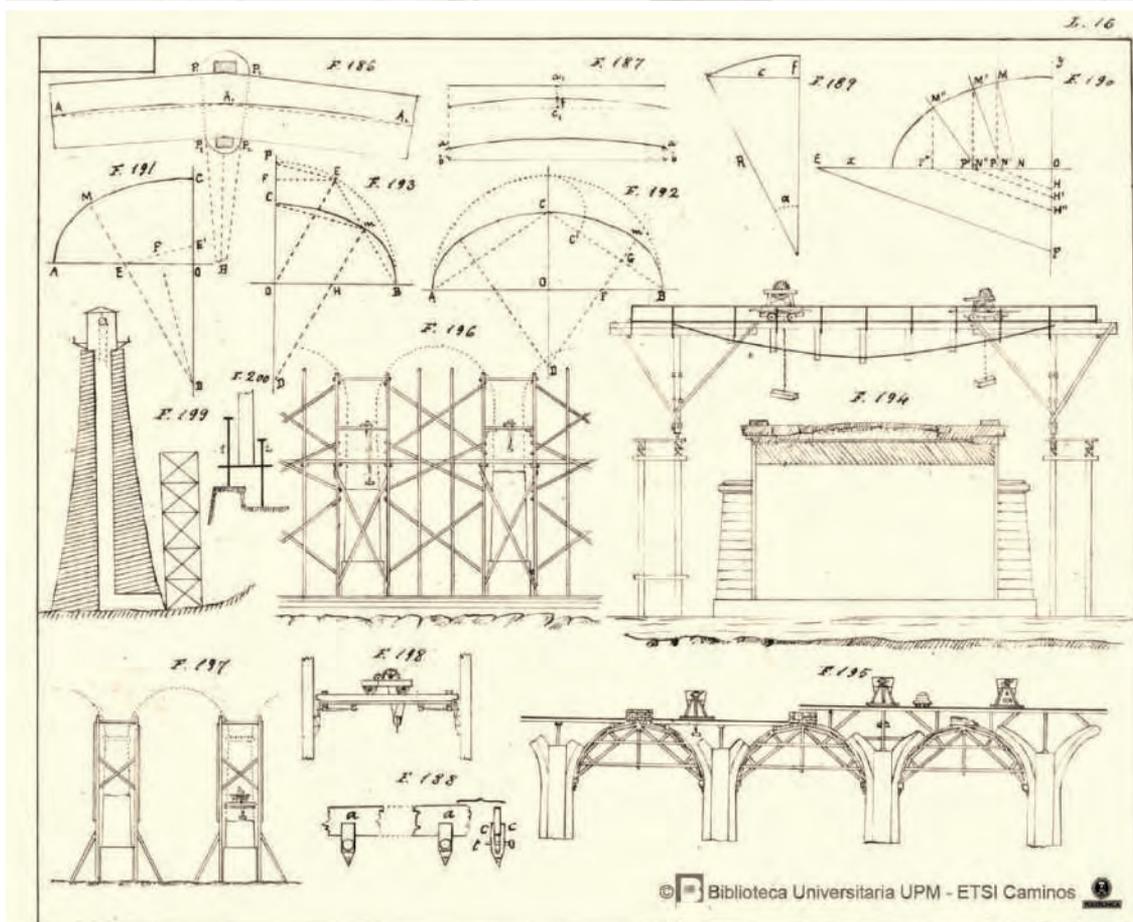
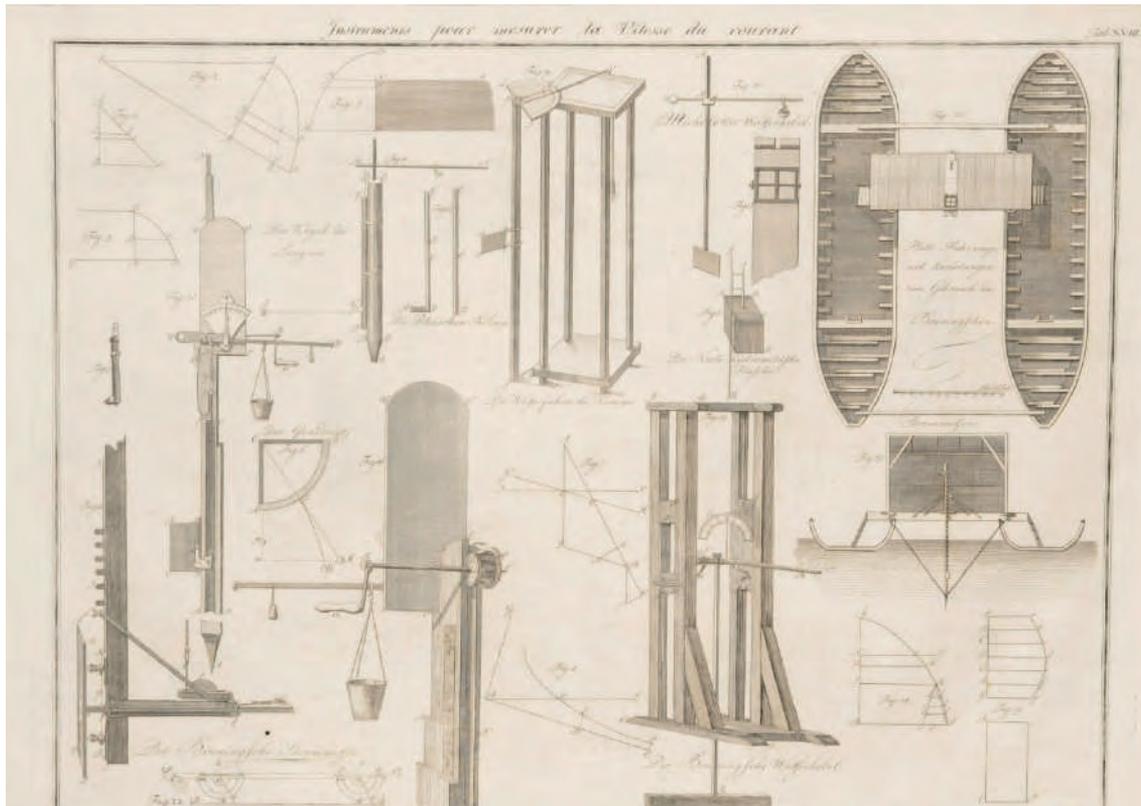


Figura 19. Arriba, instrumental utilizado para medir calados y velocidades de corriente. Wiebeking, Tab XVIII. Abajo, Procesos de construcción de bóvedas según Luis Gaztelu (s. XIX), catedrático de Puentes de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid. Ambos, en la Biblioteca de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid

## Referencias

- [1] C. Fernández Casado. Estética de las artes del ingeniero. Discurso de ingreso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Noviembre, 1976.
- [2] L. Fernández Troyano. Tierra sobre el agua: visión histórica universal de los puentes. Colección Ciencias, Humanidades e Ingeniería. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1999.
- [3] J.J. Arenas. Caminos en el aire: los puentes. Colección Ciencias, Humanidades e Ingeniería. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 2003.
- [4] M. Durán Fuentes. La utilidad de antiguos conocimientos constructivos en las obras de restauración de puentes históricos. Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Burgos, 7 - 9 de junio de 2007. [Online]. Available: [http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC5\\_026-M.Dur\\_\\_n.pdf](http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC5_026-M.Dur__n.pdf).
- [5] Comité de Puentes de carretera de la ATC-AIPCR. Grupo de trabajo sobre "Valor patrimonial de los puentes". Recomendaciones para caracterizar el valor patrimonial de los puentes. 2020. Pendiente de publicación y presentación.
- [6] J. León. A. Pérez, H. Corres. Reflexiones sobre el valor pedagógico de la historia del hormigón estructural. Actas de las II Jornadas de Enseñanza del Hormigón Estructural. ACHE. Noviembre de 2007.
- [7] E. Bauder. Las edades del puente de fábrica. Terminología y metáfora. Tesis doctoral dirigida por J. León y G. Aguado de Cea. UPM, 2007.
- [8] J.A. Martín-Caro. Análisis estructural de puentes arco de fábrica. Criterios de comprobación. Tesis doctoral dirigida por J. León. ETSICCP-UPM, 2001.
- [9] J.L. Martínez. Determinación teórica y experimental de diagramas de interacción de esfuerzos en estructuras de fábrica y aplicación al análisis de construcciones históricas. Tesis doctoral dirigida por J. León. ETSICCP-UPM, 2003.
- [10] A. Ramos. Caracterización estructural de los rellenos situados en el trasdós de bóvedas de edificios históricos. Tesis doctoral dirigida por J. León. ETSICCP-UPM, 2015.
- [11] M. Tena. Fundamentos para la gestión del envejecimiento y conservación sostenible de las estructuras del patrimonio arquitectónico. Tesis doctoral, dirigida por J. León. ETSICCP-UPM. 2019.
- [12] F.J. León y J. M. Goicolea (coord.). Los puentes de piedra (o ladrillo) antaño y hogaño. Fundación Juanelo Turriano. Colección "Lecciones Juanelo Turriano de historia de la ingeniería". Madrid, 2017.
- [13] J. León. Construcción y reparación de puentes según cuatro tratadistas españoles de la Edad Moderna. Capítulo del libro Sueño e Ingenio. Libros de ingeniería civil en España, catálogo de la exposición homónima en la Biblioteca Nacional, cuyo comisario fue el historiador Daniel Crespo. Fundación Juanelo Turriano y Biblioteca Nacional. 2020.
- [14] D. Crespo. Preservar los puentes. Historia de la conservación patrimonial de la ingeniería civil en España (siglo XVI - 1936). Fundación Juanelo Turriano. Colección "Lecciones Juanelo Turriano de historia de la ingeniería". Madrid, 2017.
- [15] D. Crespo. Sueño e Ingenio. Libros de ingeniería civil en España, catálogo de la exposición homónima en la Biblioteca Nacional, cuyo comisario fue el autor. Fundación Juanelo Turriano y Biblioteca Nacional. 2020.
- [16] Comité de Puentes de carretera de la ATC-AIPCR. Grupo de trabajo "Puentes de fábrica". Primer glosario de términos empleados en puentes de fábrica. Separata del número 70 de RUTAS. Enero-febrero, 1999.
- [17] L. Gaztelu. Práctica usual de los cálculos de estabilidad de los puentes, Madrid, 1896.
- [18] Comité de Puentes de carretera de la ATC-AIPCR. Grupo de trabajo "Puentes de fábrica". Criterios de intervención en puentes de fábrica. 2014.
- [19] B. Orfeo, L. Todisco, J. León, Construction process of vaults in masonry bridges: the importance of centrings. International Journal of Architectural Heritage. Conservation, Analysis and Restoration, 2021, doi:10.1080/15583058.2020.1861389. ❖

“EL SABER NUNCA HA ESTADO TAN CERCA”

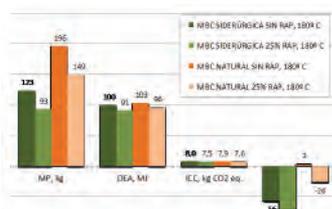


Descubre más en

[www.atc-piarc.com](http://www.atc-piarc.com)

# Análisis de ciclo de vida y árido siderúrgico.

## Valoración ambiental de mezclas bituminosas sostenibles



Life cycle assessment and steel slag aggregate  
Environmental assessment of sustainable  
bituminous mixtures

**José Manuel Blanco Segarra**

Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura  
Dirección General de Carreteras, MITMA

**Anna París**

PARMA Ingeniería

**Félix Pedroso**

ADEC Global

El respeto al medio ambiente y el cálculo del análisis de ciclo de vida deberían siempre formar parte de los criterios considerados a la hora de determinar las soluciones a adoptar en los proyectos de firmas de carreteras, incluidos los de mera renovación de su pavimento. Al diseñar una nueva estructura de afirmado o un nuevo pavimento, el proyectista considera el período durante el cual se espera que soporte la carga de tráfico acumulada que actuará durante ese período y desde la perspectiva del diseñador del pavimento, la vida del pavimento se expresa en términos de nivel de tráfico pesado que va a soportar durante un plazo de tiempo previsto.

Teniendo en cuenta el nuevo paradigma que constituye la denominada economía circular, así como las buenas prácticas disponibles, la Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura

del MITMA, planteó en 2017 el llevar a cabo una actuación de refuerzo con mezclas bituminosas en la carretera convencional N-435, a la altura de la intersección norte de acceso a Fregenal de la Sierra, de manera que se aprovechara cómo árido un residuo (las escorias) de la acería de horno de arco eléctrico existente en la cercana localidad de Jerez de los Caballeros.

La obra se ha ejecutado en noviembre de 2018, fabricándose la mezcla bituminosa en una instalación asfáltica situada a escasa distancia. En este artículo queremos hacer una valoración ambiental de lo que supone medioambientalmente, el empleo de las buenas técnicas disponibles, como es emplear residuos en la fabricación de mezclas bituminosas, a la vez que remarcar cómo el empleo de materiales en su lugar de origen mejora en mucho las valoraciones ambientales.

**E**nvironmental awareness and life cycle analysis calculations should always be part of the criteria considered when identifying the solutions to be adopted in road pavement projects. In the design of a new pavement structure or a new surfacing, the designer considers the period over which it is expected to carry the cumulative traffic load that will act over that period and from the surfacing designer's perspective, the life of the surfacing is described in terms of the level of heavy traffic it will carry over an expected period.

Taking into consideration the new paradigm that comprises the so-called circular economy, as well as the best practices available, the State Roads Demarcation in Extremadura of the now Ministry of Transport, Mobility and Urban Agenda, hereinafter

MITMA, proposed in 2017 to undertake a resurfacing project with bituminous mixtures on the N-435 conventional road, at the northern intersection of the access to Fregenal de la Sierra (Badajoz), so that a waste product (slag) from the electric arc furnace steel plant in the nearby town of Jerez de los Caballeros (Badajoz) could be used as aggregate.

The work was carried out in November 2018, with the bituminous mixture being manufactured at a mix plant located a short distance away. In this article we want to make an environmental assessment of what the use of the best available techniques means for the environment, such as the use of waste in the manufacture of bituminous mixtures, while highlighting how the use of materials in their place of source, greatly improves the environmental assessments.

## Introducción

Las especificaciones vigentes sobre secciones de firmes se han establecido con la consideración implícita de que los materiales que las componen puedan fabricarse, existan en los entornos de la obra —lo que a veces es difícil para determinados tipos y características de áridos— y tengan un buen comportamiento duradero.

Una alternativa al uso de especificaciones prescriptivas es el uso de especificaciones basadas en las prestaciones, en las que éstas contienen límites en el comportamiento de los materiales. Para un material bituminoso, las especificaciones básicas basadas en las prestaciones son límites establecidos en el módulo de elasticidad del material, la resistencia a las deformaciones plásticas y el comportamiento a fatiga. Para los materiales de hormigón, los límites se basarán en la resistencia, el contenido de agua y la trabajabilidad.

Desde hace décadas, los ingenieros en la Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura se

han animado a trabajar con novedades y buenas técnicas disponibles en cada momento en lo que respecta a criterios ambientales y de calidad, y ello ha llevado a la elaboración de proyectos en su día innovadores, que han ido incluyendo buenas técnicas ambientales y dando valor a materiales existentes en el lugar y que se encontraban al final de su vida útil, como es el caso del material reciclado procedente del fresado de mezclas bituminosas para su empleo mediante diversas técnicas

y porcentajes, en la fabricación de nuevas mezclas bituminosas.

Un nuevo paso en esta línea de actuación ha sido la de tomar en consideración materiales residuales consistentes en la escoria negra de la acería de horno arco eléctrico, existente en Jerez de los Caballeros (Badajoz), y redactar un proyecto y ejecutar una obra con árido siderúrgico procedente de dicha escoria negra. La obra ha consistido en el fresado y reposición de mezcla bituminosa fabricada con árido side-



Figura 1. Puesta en obra en la carretera convencional N-435 en Fregenal de la Sierra (Badajoz)

rúrgico en su fracción gruesa, del tipo AC 16 SURF S PMB 45-80/65 y que ha incluido un 25 % de material reciclado procedente del fresado del deteriorado pavimento existente en la carretera convencional N-435, entre los PP.KK. 92+500 y 93+000, a la altura de la intersección “en T” con giro a la izquierda que sirve de acceso norte a Fregenal de la Sierra (Badajoz), situada a 25 km de la localidad de Jerez de los Caballeros en la que se encuentran la acería así como la planta asfáltica empleada para la obra.

En los apartados que siguen se pretende comparar los parámetros ambientales que tendría una mezcla bituminosa en caliente habitual frente a los de la mezcla bituminosa en caliente fabricada simultáneamente con dos tipos de residuos: el árido siderúrgico y un 25 % de RAP.

Además, en los cálculos realizados se ha adoptado un promedio de distancias de transporte de árido habituales (20 a 50 km) para así considerar la ventaja de disponer de una planta y un árido en el entorno próximo de una obra, a distancias menores a las habituales a los lugares de fabricación de los áridos de gravera o cantera.

En una futura actuación de este tipo, que fuese de mayor envergadura, podría estudiarse asimismo los aspectos ambientales derivados de realizar tal tipo de mezclas a, por ejemplo, tres temperaturas distintas, considerando su realización mediante la técnica semicaliente.

## Método

A continuación, se presenta la valoración ambiental de la mezcla bituminosa AC16 S SURF PMB 45-80/65 producida con árido grueso siderúrgico, en un caso con un 25% de RAP y en el otro sin RAP, y fabricada

Tabla 1. Composición de las mezclas bituminosas AC16 S SURF PMB-45/80-65, kg/t de mezcla

COMPONENTE	MB CON ÁRIDO SIDERÚRGICO		MB CON ÁRIDO NATURAL	
	SIN RAP	25% RAP	SIN RAP	25% RAP
Árido fino natural (0/4 mm)	525,09	400,29	572,82	436,02
Árido grueso natural (4/20 mm)	-	-	381,88	285,88
Árido grueso siderúrgico (4/20 mm)	429,62	321,62	-	-
RAP (0/20 mm)	-	250,00	-	250,00
Polvo mineral de aportación, CaCO <sub>3</sub>	28,64	21,44	28,64	21,44
Betún PMB 45/80-55	45,30	35,30	45,30	35,30
SUMA	1.028,64	1.028,64	1.028,64	1.028,64

Tabla 2. Densidades de la mezcla de áridos y de la mezcla bituminosa compactada

COMPONENTE	MB CON ÁRIDO SIDERÚRGICO		MB CON ÁRIDO NATURAL	
	SIN RAP	25% RAP	SIN RAP	25% RAP
Densidad de la mezcla de áridos, t/m <sup>3</sup>	2,956	2,888	2,700	2,700
Densidad aparente de la MBC, t/m <sup>3</sup>	2,582	2,529	2,390	2,390

Tabla 3. Propiedades y condiciones de las materias primas consideradas

Propiedad, condición	Ud	SIN RAP
Calor específico del árido natural	kJ/kg °K	0,880
Calor específico del árido siderúrgico	kJ/kg °K	0,780
Calor específico del betún	kJ/kg °K	2,093
Humedad de los áridos naturales	%	1,5
Humedad del árido siderúrgico	%	1,5
Humedad del RAP	%	4,0
Humedad del polvo mineral de aportación	%	0,0

siempre a 180 °C. Además, se comparan los resultados obtenidos con los que le hubieran correspondido a esta misma mezcla bituminosa si se hubiese elaborado enteramente con áridos naturales.

En las valoraciones aquí efectuadas se ha seguido la metodología de la Guía para la aplicación de una valoración ambiental de las alternativas disponibles en los proyectos de construcción y conservación de carreteras del Gobierno de Aragón, la cual se ha utilizado para establecer sucesivamente los límites del sistema del producto, el alcance temporal de los análisis, la división en procesos unitarios, las entradas y salidas del sistema y las categorías de impacto. Los cálculos se han realizado mediante una herramienta de cálculo de ciclo de vida que permite tomar

en consideración más de cincuenta variables en la determinación de consumos y emisiones vinculados a las operaciones de aprovisionamiento de materias primas, fabricación en central, transporte y puesta de obra de mezclas bituminosas.

Las composiciones de las mezclas objeto de nuestra comparación se han resumido en la Tabla 1. En todos los casos se ha supuesto la incorporación de un 3 % s/a de polvo mineral de aportación y el rechazo de la misma proporción de polvo mineral de los áridos.

Las densidades estimadas (de las mezclas de áridos y las aparentes) de las cuatro mezclas bituminosas comparadas se han reflejado en la Tabla 2. En los cálculos se han considerado que la granulometría

Tabla 4. Distancias de transporte de materias primas y mezcla bituminosa a central

Material	CENTRAL 1	CENTRAL 2
Árido fino natural (0/4 mm)	20 km	1 km
Árido grueso natural (4/20 mm)	50 km	1 km
Árido grueso siderúrgico (4/20 mm)	10 km	-
RAP (0/20 mm)	1 km	1 km
Polvo mineral de aportación, CaCO <sub>3</sub>	100 km	100 km
Betún PMB 45/80-55	100 km	100 km
Transporte de mezcla de central a obra	20 km	50 km

Tabla 5. Composición de las mezclas bituminosas AC16 S SURF PMB-45/80-65, kg/t de mezcla

Característica	Ud	SIN RAP
Capacidad de la central de fabricación	t/h	200
Producción diaria de la central	t	800
Potencia de los motores eléctricos	kW	546
Fuente de alimentación motores eléctricos	-	Red eléctrica
Horas de funcionamiento de la central	Ud.	8
Potencia de la caldera de aceite térmico	Kcal/h	450.000
Horas de funcionamiento de la caldera	Ud.	4
Tipo de combustible utilizado	.	Fuelóleo
Temperatura ambiente y de los acopios	°C	20
Temperatura de fabricación	°C	180
Potencia de la pala cargadora	kW	150
Horas de funcionamiento pala cargadora	Ud.	8
Producción del equipo de puesta en obra	t	800
Potencia de los equipos de puesta en obra	kW	543
Horas de trabajo equipo de puesta en obra	Ud.	10

del RAP reproduce, aproximadamente, la de una mezcla AC16 S y que su contenido de betún es de un 4 % s/m. Los huecos en mezcla son el 5,3 % en las cuatro mezclas.

Las propiedades y condiciones relacionadas con las materias primas que afectan al consumo de combustible en el tambor secador de la central de fabricación, y los valores adoptados, se presentan en la Tabla 3.

Las mezclas bituminosas con árido siderúrgico han sido producidas en una central de fabricación ubicada entonces en el T. M. de Jerez de los Caballeros (CENTRAL 1). En la Tabla 4 figuran las distancias de transporte de materias primas hasta dicha central, así como la correspondiente al transporte de la mez-

cla bituminosa hasta la obra. En la columna contigua se han considerado las que corresponderían a una central alternativa —supuesto que los proyectistas emplean habitualmente en el cálculo de los costes de proyecto y que hemos denominado CENTRAL 2— produciendo la misma mezcla, pero enteramente con áridos naturales.

Finalmente, la Tabla 5 muestra los valores seleccionados en los cálculos en relación con las características de ambas centrales, los medios de transporte y los equipos de puesta en obra que completan la relación de variables que afectan a los impactos ambientales de la fabricación, transporte y puesta en obra de las mezclas bituminosas. Los impactos están calculados por m<sup>2</sup> de

superficie pavimentada, para una capa de 5 cm de espesor.

## Resultados

Los resultados obtenidos para la solución proyectada —mezcla bituminosa en caliente producida a 180 °C en la central 1, con árido siderúrgico y un 25% de RAP— y la alternativa convencional —mezcla bituminosa en caliente, producida a 180 °C en la central 2, con áridos naturales y sin RAP— son presentados en la Figura 2, distinguiéndose los impactos correspondientes a cada uno de los cuatro procesos unitarios (PU) considerados:

1. PU1: Fabricación y transporte de materias primas
2. PU2: Producción en central
3. PU3: Transporte de central a obra
4. PU4: Puesta en obra de la mezcla bituminosa

Las mezclas con áridos siderúrgicos se han considerado calientes con y sin un 25 % de RAP y las mezclas convencionales se han considerado como mezclas en caliente, con y sin un 25 % de material reciclado procedente del fresado de firmes. De todas ellas se han obtenido los siguientes parámetros de valoración ambiental:

- Consumo de materias primas (MP y kg)
- Demanda de Energía Acumulada (DEA, MJ)
- Indicador de Cambio Climático (ICC, kg CO<sub>2</sub> eq).
- Residuos evitados (RE, kg)

Se ha considerado a su vez que la instalación de fabricación de la mezcla en caliente, con árido siderúrgico y con reciclado en caliente al 25 % de RAP, se encuentra a 20 km

de la obra y que una mezcla convencional de cualquier proyecto tipo tiene una distancia promedio de 50 km.

Así, se han realizado, para los cuatro parámetros ambientales, las valoraciones de las siguientes mezclas:

1. AC16 S SURF PMB-45/80-65, con árido siderúrgico, en su fracción gruesa, sin RAP.
2. AC16 S SURF PMB-45/80-65, con árido siderúrgico, en su fracción gruesa, con un 25 % de RAP.
3. AC16 S SURF PMB-45/80-65, con árido convencional sin RAP.
4. AC16 S SURF PMB-45/80-65, con árido convencional con RAP.

El tercero de estos cuatro supuestos de mezcla, es decir una mezcla bituminosa en caliente tipo AC16 S SURF PMB-45/80-65, con árido convencional sin RAP, es la solución habitual contemplada en la mayor parte de proyectos que hasta ahora se realizan en España. Lo es igualmente el establecer unas distancias promedio del lugar de fabricación de los áridos (canteras o graveras) de 20 a 50 km hasta las instalaciones asfálticas y unas distancias promedio de 50 km desde las plantas asfálticas hasta las obras. Ello sin olvidar que, en no pocos casos, en función de las exigencias de calidad de los áridos, pueden manejarse unas distancias superiores a los 200 km desde la cantera hasta la planta asfáltica.

### Interpretación de los resultados

En la figura 2 puede apreciarse cómo el uso de árido siderúrgico y material reciclado procedente del fresado de firmes supone importantes ventajas ambientales en la valoración de los parámetros ambientales estudiados.

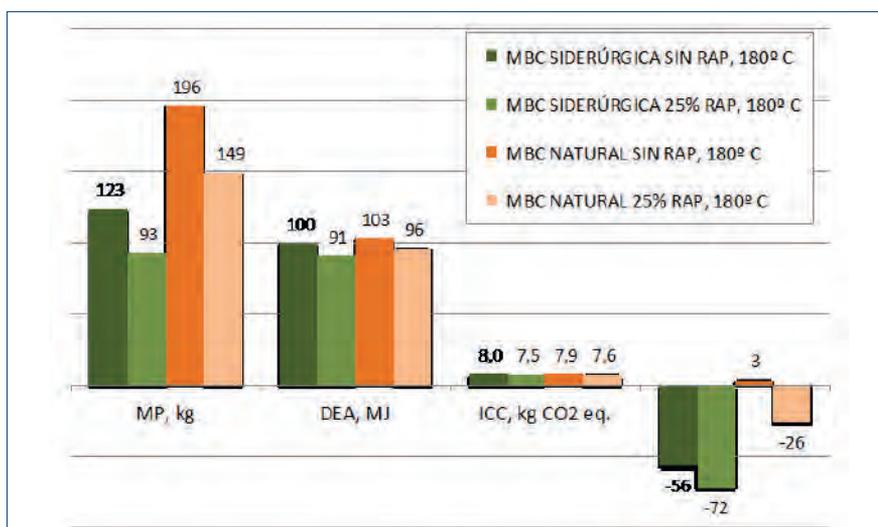


Figura 2. Comparación de las alternativas de mezcla bituminosa con áridos siderúrgicos y naturales para una temperatura de fabricación de 180°C.

### Conclusiones

Todos los impactos ambientales se han calculado por m<sup>2</sup> de superficie pavimentada para una capa de 5 cm de espesor.

El empleo de material reciclado procedente del fresado de firmes, frente al de una mezcla convencional, reduce el consumo de materias primas (MP) de 196 a 149 kg/m<sup>2</sup> lo que representa una reducción del 24 %. Cuando además la comparativa en el consumo de materias primas se realiza entre una mezcla convencional sin reciclado y una mezcla siderúrgica con el 25 % de material fresado, el consumo se reduce en un 53% (de 196 kg a 93 kg).

Haciendo las mismas comparaciones en lo que respecta a la demanda de energía acumulada (DEA) en el primer caso se pasaría de 103 a 96 MJ, reduciéndose en un 7 %, lo que representaría un ahorro de 120 GJ o 34 MWh por jornada de trabajo; y en el segundo caso, es decir, el comparar una mezcla bituminosa en caliente con árido natural sin reciclado frente una mezcla bituminosa siderúrgica con un 25 % de material fresado, la demanda energética acumulada se reduce en un 12 %.

El Indicador de cambio Climático (ICC) es muy similar en todos los casos supuestos, si bien es ligeramente inferior en la mezcla fabricada con árido siderúrgico y material fresado.

En cuanto a residuos evitados (RE) la diferencia resulta ser de 75 kg entre una mezcla bituminosa en caliente fabricada con árido siderúrgico y con el 25 % de material fresado y una mezcla bituminosa convencional, es decir sin árido artificial ni RAP.

Así pues, la ventaja del empleo de árido siderúrgico se justifica sobre todo en el ahorro de recursos naturales y en la reutilización de subproductos que de otro modo serían residuos que habría que llevar a vertedero.

Si se considera una jornada de extendido de aglomerado de 800 t/día, el cual es un promedio habitual en las operaciones de extendido de mezclas bituminosas en las actuaciones de conservación de carreteras, el empleo de árido siderúrgico y de material fresado en la fabricación de la mezcla bituminosa representaría un ahorro de más 600 t de materias primas por jornada de trabajo. Asimismo, el empleo de estos dos subproductos generaría un ahorro

de más de 600 t diarias de residuos que, en caso contrario, habrían de ser llevadas a vertedero.

El Indicador de Cambio Climático (ICC) es muy similar en todos los resultados, aunque el de valor más bajo se da en el caso de la mezcla de la mezcla con árido siderúrgico y 25 % de RAP. Dicho pequeño ahorro en emisiones se debe sobre todo a la menor distancia de la planta asfáltica a la obra (en el caso del árido siderúrgico 20 km frente a 50 km) y a que en las hipótesis se ha tenido en cuenta que el árido natural se encuentra a una distancia de 1 km de la planta y el árido siderúrgico se encuentra a 10 km de la planta asfáltica —es decir, considerando que la planta asfáltica está instalada en la cantera de áridos, práctica habitual en obras en Extremadura—, por lo que este aspecto beneficia al ICC del árido natural.

También es de señalar que se ha considerado que el contenido de betún es idéntico en una mezcla convencional que en una mezcla siderúrgica, pese a que habitualmente, por el factor densidad, una mezcla siderúrgica lleva un menor contenido de betún. Factores ambos, el igual contenido de betún y la distancia del árido natural a la planta asfáltica (se ha adoptado 1 km) ha penalizado los resultados de ICC para la mezcla siderúrgica, y aun así, pese a estas penalizaciones consideradas, el menor valor es el que resulta de la mezcla siderúrgica con un 25 % de RAP.

La evaluación de la sostenibilidad es un tema complejo de llevar a cabo; la disponibilidad de datos fiables, la comparabilidad de las soluciones convencionales respecto a las soluciones más sostenibles, presentan retos importantes para los profesionales. En cualquier caso, las carreteras son un patrimonio público y, por lo tanto, las decisiones sobre adquisición de materiales utilizando criterios de sostenibilidad debe ser una premisa irrenunciable para los promotores de los proyectos y de las obras.

Los diseñadores que consideren nuevos materiales ecológicos deben ser capaces de considerarlos dentro del marco de especificaciones vigentes en cuanto a las especificaciones basadas en el módulo elástico, la resistencia a las deformaciones plásticas y la resistencia a la fatiga del material. Si las especificaciones prescriptivas se cumplen, el material sostenible no debe suponer problema alguno en la toma de decisiones en cuanto a su calidad para la puesta en obra y para la durabilidad de la mezcla.

Con los valores y resultados expuestos en este artículo pretendemos ofrecer al lector un orden de magnitud de lo que supone ingeniar en la redacción de los proyectos y primar, en los diseños de las secciones de firmes, además de la calidad y la durabilidad de las mezclas bituminosas, la importancia de la realización de las valoraciones ambientales

en las tomas de decisiones en los proyectos.

## Referencias

- [1] Ministerio de Fomento; Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG3; Orden FOM/2523/2014 de 12 de diciembre; BOE 03/01/2015.
- [2] Orden Circular 40/2017 Sobre Reciclado de Firmes y Pavimentos Bituminosos
- [3] Nota de Servicio 1/2019 sobre instrucciones para la redacción de los proyectos supervisados por la subdirección general de conservación.
- [4] Mañas, P., Ortiz, J. y del Castillo, J.; Guía para la aplicación de una valoración ambiental de las alternativas disponibles en los proyectos de construcción y conservación de carreteras. Revista Carreteras, núm. 217, Enero-Febrero de 2018.
- [5] París, A. Moncunill, C. y Ortiz J.; El análisis del ciclo de vida como herramienta para la valoración ambiental de la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente; Revista Carreteras, nº 150, 2006. ❖

# Los sistemas de contención

## De los guardarruedas, malecones y quitamiedos a los sistemas ensayados



**Carlos Casas Nagore**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

### Los orígenes. Los guardarruedas y los pretilos.

*“En los sitios donde las paredes son muy altas se han puesto unos guarda ruedas, piedras de 4 pies de largo, 2 introducidos en la tierra y lo restante elevadas, para evitar que los carros arruinen las paredes y ellos no se despeñen”* (Tratado legal y político de caminos públicos y posadas, Tomás Manuel Fernández de Mesa, 1755; descripción de la carretera de Reinosa a Santander).

Puede afirmarse que los guardarruedas fueron los primeros sistemas de contención dispuestos en las carreteras. La descripción de Fernández de Mesa es perfecta y muestra su doble objetivo: que los carros no se acerquen a estructuras delicadas (los muros o paredes que sostienen a la carretera en este caso) y de este modo se garantiza también la seguridad.

Inicialmente fueron piedras sin excesivo tratamiento. Con el paso de los años se fueron puliendo, si bien sin un diseño uniforme entre las distintas carreteras. A mediados del

siglo XIX la uniformidad fue abriéndose paso, coincidiendo con las sucesivas promociones de ingenieros de caminos, de manera que la inmensa mayoría de guardarruedas de esa



A la izquierda, guardarruedas de finales del XVIII (carretera de Teruel a puerto de Escandón). A la derecha, guardarruedas clásico a partir de mediados del siglo XIX. Museo de carreteras de Teruel

época ya tiene diseño troncocónico y tamaño similar. Así los definió Pardo en su libro "Carreteras" de 1892:

*"Los guardarruedas o guardacantones sirven también de defensas, y se usan aislados o en combinación con malecones o pretilles interrumpidos. Se hacen de sillería, y por lo general troncocónicos y terminados en un casquete esférico muy rebajado; sus dimensiones medias vienen a ser 0,20 m de diámetro en la coronación, 0,30 en la base y de 0,50 a 0,70 de altura, sin contar la parte empotrada en el suelo, que no ha de bajar de 0,40 m. En el interior y proximidad de las poblaciones, se instalan a menudo grandes guardarruedas moldurados, que son ya verdaderas obras de ornato".*

Hacia la década de 1850, una vez superado el reinado de Fernando VII y las agitaciones y guerras civiles posteriores, se reanudó decididamente la construcción de nuevas carreteras en España. Sus sistemas de defensa siguieron siendo los guardarruedas, los malecones (en muchas ocasiones de tierra) y los pretilles. De esa época datan los pretilles discontinuos, que permitían ahorrar material. Así lo describía Espinosa en su Manual de Caminos de 1855:

*"En la obras que se construyen como accesorias de una carretera se incluyen lo guarda-ruedas que se colocan en los terraplenes o inmediaciones de las avenidas de un puente, en el primer caso con el objeto de que no se aproximen a la orilla los carruajes o caballerías evitando así desgracias. Los malecones que sustituyen, cuando es posible, a los guarda-ruedas en los terraplenes o laderas, tienen el mismo objeto y la ventaja de ser más baratos, aunque ocupan mayor espacio. Los pretilles, tanto cuando se construyen en los puentes como en los costados del camino en países de montaña, tienen también el objeto indicado".*



Guardarruedas y pretilles alternados. Carretera de Lapeña a Ansó. Foz de Biniés. Fotografía de 1929. Unidad de Carreteras de Huesca, MITMA.



Pretilles discontinuos en los accesos y continuos en el puente. Carretera de Huesca a la estación de ferrocarril de Sabiñánigo. Puente sobre el río Isuela. Año 1929. Unidad de Carreteras de Huesca, MITMA.

*"La colocación de guarda-ruedas, debe ceñirse a los puntos puramente indispensables, como no sea en países abundantes de piedra; del empleo de estos se ha abusado en la ejecución de las carreteras construidas antiguamente en España, invirtiendo sumas de consideración, tanto por el gran número empleado como por su labra esmerada, cosa inútil en esta clase de objetos. En los terraplenes elevados pueden sustituir a los*

*guarda-ruedas los malecones contruidos de tierra, y cubiertos de tepes para conseguir su mayor duración".*

*"En los caminos abiertos en ladera suele ser indispensable, para la seguridad de los pasajeros, el construir obras de defensa en las márgenes del lado de la caída; en este caso no tienen buena aplicación los malecones por el mucho espacio que ocupan y suelen colocarse guarda-ruedas*

*toscamente labrados, separados de 2 en 2 metros o a mayores distancias; también suelen construirse pretilas cuando la mampostería es abundante y en este caso para que sea más económica su construcción se hacen interrumpidos por trozos de 2 metros de longitud próximamente, separados por un intervalo de la misma distancia u otra según convenga; a veces en estos intervalos suelen colocarse guardarruedas”.*

A finales del siglo XIX poco había cambiado, salvo la toma de conciencia de que muchos de estos elementos, en especial los guardarruedas, no eran más que “quitamiedos”. Esta curiosa palabra aparece ya en el citado libro “Carreteras”, de Manuel Pardo (1892), donde incide en que este tipo de protecciones no evitan el accidente, solo lo atenúan:

*“No hay para que decir que los pretilas, malecones y guardarruedas no deben considerarse como defensas eficaces para asegurar la circulación, pues no tienen suficiente resistencia para ello: sirven, no obstante, en muchos casos, para impedir o atenuar desgracias”.*

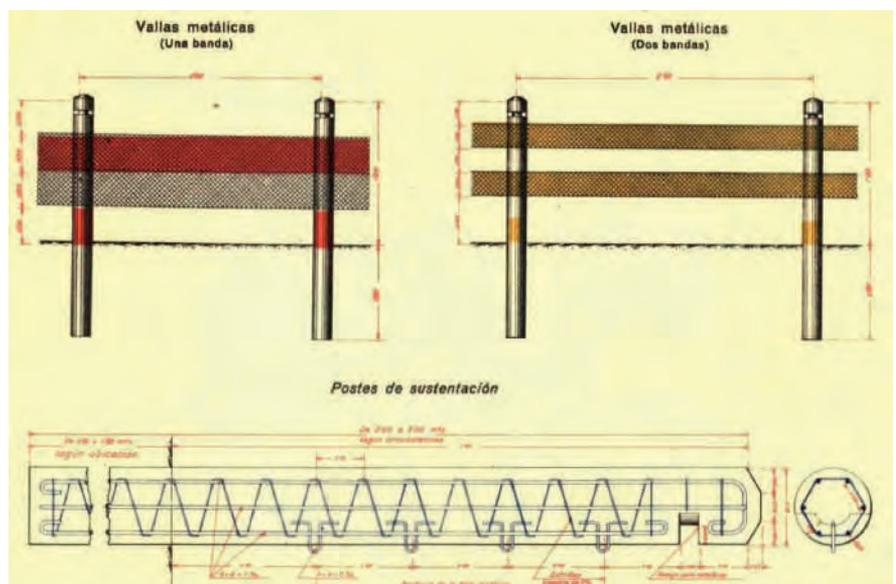
Ya en el siglo XX, muchos guardarruedas y pretilas se fabricaron de hormigón en masa. En el museo de carreteras de Teruel se expone un molde, procedente de la provincia de Huesca, para fabricar este tipo de elementos.

## Las vallas metálicas de protección.

Con el desarrollo de los vehículos automóviles y el incremento de la velocidad el problema de las salidas de la vía se agudizó. Inicialmente en algunos tramos se colocaron vallas de madera en el exterior de algunas curvas peligrosas. Evidentemente, representaban el auténtico concepto de “quitamiedos” al que se refería



Barrera de madera y vehículo en la Ridge Road. California, Estados Unidos. Hacia 1920.



Modelos de vallas ancladas directamente a poste circular de hormigón armado. Instrucción de Carreteras de 1939. El color (rojo o amarillo en las figuras) corresponde al de la carretera en la que estuvieran instaladas.

Pardo. Como sistemas de contención no eran eficientes.

En la década de 1930 aparecieron en las carreteras españolas las vallas de protección del tránsito, inicialmente con postes de madera. Fueron bendecidas y normalizadas por la Instrucción de Carreteras de 1939. Se disponían en el exterior de las curvas que presentaran mayor peligro y también en tramos rectos, donde pudiera haber desniveles importantes.

Las posteriores a 1939 eran mallas metálicas que se sujetaban a postes de hormigón armado, espa-

ciados entre 2 y 2,5 metros. El anclaje a los postes podía ser directo mediante grapas o bien incluyendo muelles. En el primer caso los postes tenían la sección circular, mientras que en el caso de anclaje con muelles la sección del poste era cuadrada. Lo normal es que los postes sobresalieran del terreno 1,20 m y estuvieran empotrados hasta una profundidad de entre 0,80 a 1,80 m, en función del tipo de suelo.

Por su parte, la malla metálica era de alambre galvanizado de 5 mm de diámetro, formando cuadrículas de 5 cm de lado. La Instrucción admi-



D. Gil Garrido Oliver, constructor del puente de Santa Cruz de Moya, en un tramo de los accesos al puente protegido con valla metálica acorde con las Instrucción de Carreteras de 1939. El puente se inauguró en 1963.



Cañón de la Vid. Grapevine (California). Barrera de separación. Año 1947.

tía disponer el sistema con una sola banda (de 0,60 m de ancho) o con dos bandas (en este caso de 0,20 m cada una).

### La evolución de pretilos y malecones: las barreras de hormigón tipo New Jersey.

Un problema que se planteó en tramos con alta intensidad de tráfico y trazado complicado fue encontrar

una barrera que permitiera separar ambos sentidos de circulación. En 1946 se instaló el primer modelo de barrera de hormigón en una zona montañosa de Grapevine, en la carretera US99 (California). Se trataba de un modelo parabólico con 71 cm de altura.

Actualmente no se permite la colocación de un sistema de contención que no haya superado un ensayo de choque, llevado a cabo lógicamente

en instalaciones especializadas y homologadas. En el caso de las primeras barreras de hormigón también se siguió esta práctica, solo que en tramos de carretera abiertos al tráfico.

Fue en New Jersey. Allí se instalaron este tipo de barreras para intentar rebajar el número de accidentes en la ruta US22, a su paso por el condado de Hunterdon. Inicialmente se colocaron barreras de hormigón de 48 cm de altura y 76 cm de anchura, también con sección parabólica. Estas barreras se comportaron bien frente al impacto de vehículos ligeros, ya que conseguían redireccionarlos. No obstante, el resultado con camiones no era aceptable. El diseño se fue modificando y poniéndolo en práctica, en un proceso de prueba-error que duró hasta 1969, cuando se diseñaron definitivamente unas barreras de 81 cm de altura y 60 cm de ancho con ángulos de inclinación de 84 y 55 grados en sus caras. Son las conocidas desde entonces como “barreras New Jersey”. En España se colocó la primera barrera de este tipo en la carretera N-IV, cerca de Madrid.

Con posterioridad a esas primeras experiencias aparecieron otros diseños alternativos para las barreras de hormigón. En 1971 se publicó la primera Orden Circular española relativa a sistemas de contención. Al tratar sobre las barreras rígidas de hormigón distinguía dos tipos: las barreras bajas de apoyos discontinuos ensayadas en diversos países europeos y las barreras altas continuas. No se consideraban adecuadas las primeras, salvo en casos de velocidades muy pequeñas y ángulos de impacto muy bajos. Respecto a las segundas, con un diseño similar al de las barreras New Jersey, se recomendaban para su colocación como pretilos de puentes, teniendo en cuenta su rigidez. Para el resto de casos, en tramos fuera de estructuras e incluso en medianas, ya se recomendaban las barreras metálicas, que habían hecho su aparición unos cuantos

años antes. Los dibujos de la Circular se tomaron de publicaciones de 1967.

En mayo de 1986 se publicó una Nota Informativa sobre el proyecto y construcción de barreras rígidas de Seguridad. Se apostó por una barrera similar a las New Jersey, pero adaptada al tipo de vehículos europeos de la época, con menor altura de la parte inclinada a 55°. El modelo preveía la posibilidad de un recrecimiento del firme, permitiendo dejar un resguardo en la parte inferior de la barrera.

Se establecieron criterios para la colocación de este tipo de barreras, tanto en medianas como en estructuras o márgenes de la carretera. En el caso de estructuras se distinguía entonces entre los casos con resguardo detrás de la barrera (en la que se permitía un sistema basado en barrera semirrígida y una barandilla) y en los que no existía dicho resguardo, en cuyo caso se propuso una solución de pretil ligero, con la cara típica de estas barreras de hormigón, rematado con una baranda.

Como novedad, en 1986 se diseñaron modelos para los extremos de estas barreras de seguridad, así como diseños para el anclaje de barreras semirrígidas (metálicas) a una barrera rígida.

### Las barreras metálicas.

Durante la década de 1960 se colocaron en España tramos de barrera metálica de una sola onda, con postes de madera. Se abrió así el paso de las que serían denominadas “barreras semirrígidas”.

A finales de esa década se fueron ensayando nuevos perfiles metálicos de sección abierta, con la novedad de que se analizó la efectividad de muchos de ellos mediante ensayos de choque. La Orden Circular 229/71



Barrera metálica de una sola onda y postes de madera. Antigua carretera N-211; puerto de Bañón (Teruel).

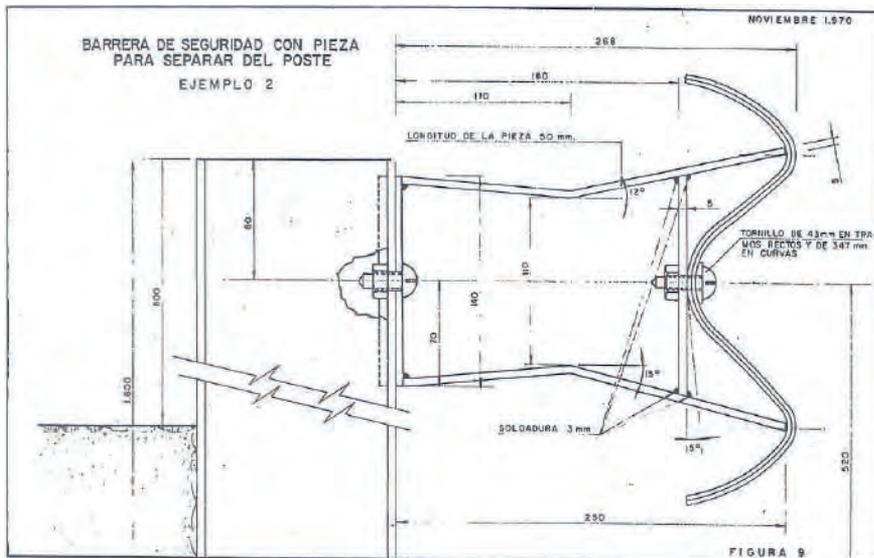
C.V. de febrero de 1971 describía el funcionamiento de este tipo de barreras: *“la resistencia a flexión del elemento continuo se agota pronto ante un impacto, quedando entonces resistiendo a tracción sujeto a los postes. Éstos suelen deformarse e incluso desprenderse en las zonas próximas al impacto, pero la barrera de seguridad continúa resistiendo atirantada por los postes más alejados de uno y otro lado del punto de choque”*.

Entre los nuevos perfiles diseñados y ensayados se fue imponiendo el de doble onda, originario de Estados Unidos. Durante muchos años ha sido el perfil más utilizado en España.

Los postes que se proponían para este tipo de perfiles eran variados. Se continuaba con los de madera, tan utilizados en las primeras barreras de una sola onda, otros eran de hormigón (herencia de las vallas metálicas) y se implantaron los primeros perfiles metálicos, alguno de sección circular, pero en el caso de la barrera bionda, tan utilizada posteriormente, con perfiles tipo IPN.

Como ya se ha citado, en Estados Unidos y en varios países europeos comenzó en la década de 1960 el análisis del comportamiento de las barreras mediante ensayos de choque, lanzando expresamente vehículos de diversos tipos contra dichas barreras, con distintas velocidades y ángulos de impacto.

En 1971 se fijaron oficialmente, por primera vez en España, una serie de criterios para analizar la conveniencia o no de instalar una barrera de seguridad, o al menos para establecer las prioridades. En medianas, se obligaba a colocar barrera de seguridad cuando la anchura de dicha mediana fuera inferior a 5 m y no hubiera separación arbustiva; en los márgenes de carreteras se podría instalar una barrera en función de la caída vertical y de la distancia (y se incluyó un gráfico para determinarlo); en obras de fábrica debían colocarse siempre, pudiendo elegir entre una barrera rígida o una metálica, y finalmente se daban criterios para proteger a los usuarios frente a los obstáculos fijos.



Barrera de seguridad metálica con perfil de doble onda. OC de 1971.

La inmensa mayoría de las carreteras españolas no habían sido acondicionadas en aquella época con criterios modernos, de manera que sus márgenes eran un continuo serial de obstáculos. La Orden Circular de 1971 tuvo en cuenta este hecho e incluyó un texto propio de una rendición ante la evidencia: *“Este criterio solo deberá aplicarse a aquellas carreteras modernizadas donde ya se haya tenido en cuenta el alejamiento o supresión de todos los obstáculos fijos peligrosos. No tiene sentido aplicar este criterio a una carretera, por buenas que sean sus características geométricas, si a lo largo de ella existen infinidad de árboles, postes, obras de fábrica, casas, zanjas, cunetas profundas, aceras, etc., que harían costosísima la instalación”*.

En cuanto al diseño y colocación de las barreras, se incluyeron separadores *“para amortiguar el impacto, disminuir el peligro de que el vehículo quede detenido instantáneamente en el poste y lograr que el punto de gravedad de la barrera suba ligeramente después del impacto”*. Por otra parte, se aumentó la altura de las barreras sobre la calzada hasta los 65-70 cm. Puede observarse en tramos abandonados de carretera en los que todavía están instaladas barreras anteriores

(por ejemplo, las de una sola onda) que la altura de estos sistemas era escasa, del orden de 10 cm más bajas.

Finalmente, en esta época aparecen los anclajes de los extremos de la barrera al terreno. La Orden de 1971 obligaba a anclar los extremos iniciales y dejaba abierta la opción de solo atirantar los extremos finales. El objetivo era doble: eliminar el peligro de choque contra el afilado terminal (las famosas “colas de pez” o el simple perfil de la barrera) y robustecer dichos extremos para que el sistema funcionara perfectamente en toda su longitud. Por desgracia, cincuenta años después, todavía se pueden ver sistemas sin anclaje en el extremo de la barrera en algunas carreteras secundarias.

### 1991. La era de los Catálogos y del integrismo.

En julio de 1991 se redactó la Orden Circular 317/91TyP, antecesora de la OC 321/95TyP, de Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos. Se introdujo el concepto de nivel de contención basado en ensayos a escala real de acuerdo con el Comité Europeo de Normalización. Para seleccionar en la práctica

el nivel de contención de la barrera a colocar se introdujo la clasificación del tipo de accidente entre tres opciones: muy grave, grave o normal, y se definieron diversos aspectos hoy básicos, como la anticipación del comienzo de los sistemas, la prolongación de la terminación y la disposición transversal de las barreras, teniendo en cuenta su deformación en el caso de proteger un desnivel.

Una de las novedades fue la modificación de los anclajes de los extremos, abandonando los esquemas de 1971 que habían provocado algún accidente al tener forma de rampa (con la barrera girada), inadecuada si un vehículo se salía de la vía junto en ese punto.

Ahora bien, la gran novedad fue la inclusión de un Catálogo de sistemas de contención, aconsejando utilizar solamente los sistemas incluidos en él. Dicho Catálogo se actualizaría periódicamente para eliminar sistemas obsoletos o para recoger *“únicamente aquellos sistemas cuya eficacia haya sido comprobada experimentalmente y sancionada por la práctica”*. Durante más de diez años, sucesivas resoluciones fueron incluyendo en el Catálogo nuevos sistemas patentados que habían superado los ensayos de choque.

No pasaban de ser unas Recomendaciones, pero en los años siguientes se registraron posturas integristas en cuanto a la obligación de seguir estrictamente lo indicado en ellas.

Evidentemente, parece lógico que un sistema de contención que vaya a instalarse en una carretera haya sido ensayado previamente a escala real y se hayan analizado las consecuencias del choque. No obstante, a nadie se le escapa que es imposible ensayar todos los casos que se dan en la práctica ya que aparecen múltiples variables, comenzando por el tipo de terreno en el

que se hincan los postes, la longitud real a implantar, los diversos tipos de vehículos del mercado (muchos más que los que se ensayan), los ángulos de impacto, la velocidad de los vehículos, la disponibilidad de bermas en las carreteras, muchas de ellas con un ancho estricto, etc.

Como es lógico, las Normas europeas y las propias Recomendaciones tuvieron que simplificar todas esas variables, estableciendo unos ensayos normalizados limitados para que un nuevo sistema obtuviera la homologación.

Por otra parte, la implantación de sistemas tan variados provocó un problema serio a la hora de mantener las barreras, en especial cuando resultaba obligado reponer algún tramo en plazos muy cortos (como suelen ser todas estas operaciones).

Como remate de una situación tan incierta, el número de variables y las indefiniciones para la aplicación de las Recomendaciones en casos concretos aumentaron notablemente al añadir a los sistemas originales los de protección de motociclistas.

En definitiva, en la década de 1990 se produjo un gran avance para implantar, lo mejor posible, los sistemas de contención en unas carreteras que cada vez registraban mayor tráfico y mayores velocidades. Eso sí, siempre que no se abandonase el sentido común a la hora de implantar unos sistemas tan variados y que habían superado unos ensayos complejos, pero limitados. La lucha entre ese sentido común y el integrismo duró años.

## Usuarios olvidados: los motoristas.

La elección de una barrera de seguridad tiene que tener en cuenta muchos factores, en un delicado

equilibrio que afecta a la seguridad. Un sistema muy rígido puede servir para contener el accidente de un vehículo pesado, pero aumentar notablemente la lesividad de los ocupantes de un vehículo ligero que impacte contra ese sistema. Por su parte, un sistema con menor nivel de contención favorece la seguridad de los automóviles ligeros pero puede ser incapaz de contener adecuadamente a un camión. La decisión no es sencilla y actualmente las Recomendaciones tienen en cuenta, entre otros factores, la gravedad del posible accidente y la distribución de las intensidades de tráfico.

No obstante, desde que se desarrollaron las barreras metálicas, unos usuarios se vieron afectados negativamente en todo caso: los motoristas. Por una parte, el sistema no contenía al motorista que pudiera colarse bajo la barrera y precipitarse por el talud o impactar con el obstáculo que supuestamente protegía dicha barrera. Por otra parte, el impacto del cuerpo del motorista con los postes de la barrera provocó accidentes gravísimos.

Inicialmente se trató de evitar el perfil IPN con sus cortantes aristas. Los sistemas incluidos en el Catálogo desde 1991 excluían la utilización de ese tipo de poste, proponiendo la utilización de postes tipo C o posteriormente perfiles cerrados (tubulares).

Aparecieron en el mercado diversos elementos que recubrían los proscritos postes IPN, intentando disminuir la gravedad del impacto y evitar aristas cortantes. Hay que tener en cuenta que la inmensa mayoría de sistemas de barrera metálica de doble onda que se habían colocado en España durante muchos años utilizaban postes IPN.

En octubre de 1997 el Congreso de los Diputados instó al Gobierno a que *“utilicen en la elección de futuros sistemas de contención vial criterios*

*que contemplen no solo la protección de los vehículos sino también la protección de la integridad física de los motoristas con sistemas sobradamente conocidos y utilizados en otros países”*.

En el caso de las carreteras estatales españolas, siete años después se publicó la Orden Circular 18/2004 (de 29 de diciembre de 2004) sobre criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas. Si bien los sistemas podían ser continuos o puntuales, se limitaba la implantación de estos últimos para casos excepcionales.

En España hay miles de kilómetros de barrera metálica colocada en los márgenes de la calzada. Un primer problema era definir en qué lugares estaría justificada la colocación de estos sistemas continuos de protección. Se eligieron el exterior de curvas de radio inferior a 400 m en autovías o autopistas (en 2008 se aumentó a 750 m) y de 250 metros en el resto de carreteras; también se incluyeron el exterior de curvas que tuvieran una velocidad específica inferior en 30 km a la del tramo colindante y determinados ramales de enlace.

El sistema continuo a colocar debía ser inicialmente el incluido en el Catálogo. Por supuesto, como sucedía con el resto de sistemas, se actualizaría el Catálogo con nuevos sistemas que hubieran pasado los ensayos según la Norma Europea. De hecho, en los años siguientes se fueron incluyendo varios sistemas patentados (en el año 2006 ya había tres en el Catálogo).

Mientras tanto, se mantuvieron los sistemas de protección puntuales y se instaba a que los postes se adecuaran a los incluidos en la Orden de 1995. En 2009 se propició la utilización de sistemas con marcado CE, que fue obligatorio desde el 1 de enero de 2011.

## 2001. Colorido corporativo.

Una Nota de Servicio del Ministerio de Fomento en el año 2001 estableció el color Ral 5002 azul nuclear para las barandas, pretilos metálicos y barandillas de la red estatal de carreteras. Fue el comienzo de la adopción de su propio color por otras Administraciones. El colorido llegó a los citados sistemas de contención abandonando el habitual verde de camuflaje natural que estos elementos solían tener.

## 2014. El proyecto de instalación de sistemas de contención en España, hoy día.

Los sistemas de contención son elementos de las carreteras que se disponen para proporcionar cierto nivel de contención a un vehículo que circule fuera de control, limitando los daños a los ocupantes del vehículo, a otros usuarios y a personas u objetos próximos.

Limitan los daños, es decir, no los evitan totalmente. Cuando un vehículo impacta con un sistema de contención ya existe el accidente y una alta probabilidad de que se produzca algún daño, aunque sea pequeño; de lo que se trata es de que ese accidente sea menos grave que el que se produciría si no existiera el sistema. De ahí se obtiene la primera conclusión: no se deben colocar sistemas de contención donde el accidente provocado por una salida de la vía sea previsiblemente más leve que el que supone impactar contra el sistema.

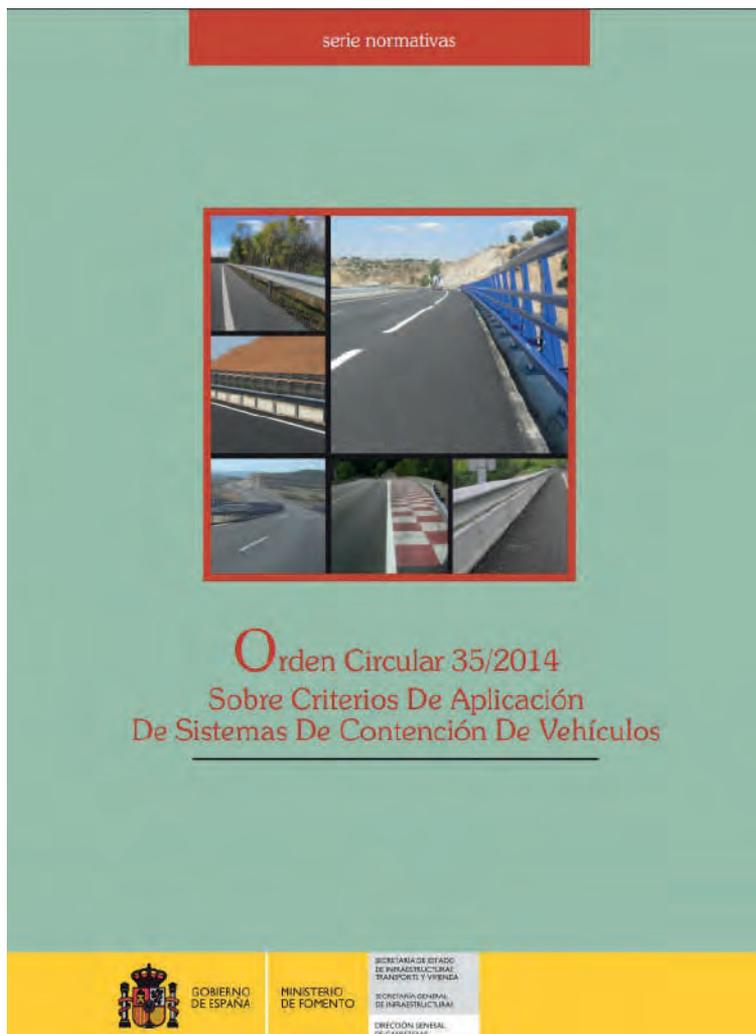
Hay que señalar que en España es obligatorio que los sistemas de contención que se coloquen tengan el marcado CE y que se empleen según las disposiciones empleadas en los ensayos acreditados. Para conseguir ese marcado CE deben llevarse

a cabo una serie de pruebas que incluyen ensayos de choque. Las Normas que evalúan el comportamiento de las barreras y establecen las condiciones para los ensayos de choque son la serie UNE-EN 1317.

La UNE-EN 1317-2 define las clases de comportamiento, los criterios de aceptación para el ensayo de choque y los métodos de ensayo para barreras de seguridad. En esta Norma aparecen unos conceptos que luego serán necesarios para definir el sistema a colocar: los niveles de contención, la deformación del sistema de contención cuando recibe el impacto y la “severidad” del impacto. Este último concepto utiliza una palabra inexistente en el idioma español. Sería más correcto que se

hubiera traducido como “lesividad”. En este caso, el traductor ha sido poco severo.

El entonces Ministerio de Fomento publicó la Orden Circular 35/2014, sobre Criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos, que entró en vigor el 2 de junio de 2014. Sobre esta Circular, a la que acompañaba el anexo con las Recomendaciones, hay que señalar que se refiere a elementos de contención permanentes (es decir, no incluye los elementos provisionales que se instalan en tramos de obra) y que solo aconseja a los gestores de las carreteras estatales (no se entiende por qué no hay normas y recomendaciones únicas para toda la red de carreteras, en lugar de la atomización por



Orden Circular 35/2014.

territorios, cuando se trata de algo tan idéntico geográficamente como las carreteras).

Siguiendo la Circular de 2014 se puede proyectar (y conservar) el elemento de seguridad que pueda necesitarse. Veámoslo brevemente en diez pasos:

**Paso 1.-** Identificar los elementos o situaciones potenciales de riesgo. Sin calificar o evaluar de momento ese riesgo, se procede a localizar cuáles son los elementos que pueden precisar la colocación de un sistema de contención.

**Paso 2.-** Evaluar el riesgo en función de la magnitud de los daños y lesiones previsibles, tanto para los ocupantes del vehículo como para terceros. Las Recomendaciones definen tres grados de riesgo: muy grave, grave o normal.

**Paso 3.-** Concretar el riesgo del accidente. Hasta ahora se han detectado los riesgos y se han evaluado en función de la previsible gravedad. No obstante, hace falta concretar un poco más.

Por ejemplo, un árbol de gran tamaño en el margen de una carretera con velocidad de proyecto superior a 80 km/h supone un riesgo (está incluido entre los riesgos potenciales del paso 1) y está calificado como riesgo de accidente normal. Ahora bien, ese árbol puede encontrarse a 25 m del borde de la calzada. ¿Sigue existiendo el riesgo? ¿Debe protegerse? ¿Y si está en un tramo recto?

Aquí entra en juego la tabla nº 1 incluida en las Recomendaciones. En función del tipo de carretera, de su alineación, del talud lateral y del riesgo de accidente establece la distancia por debajo de la cual sí que se debe considerar que existe ese riesgo de accidente.

**Paso 4.-** Estudio de alternativas. Una vez analizada la carretera, de-

tectados los riesgos potenciales, calificada su gravedad y concretados los puntos con riesgo de accidente, debe plantearse en dichos puntos una actuación para mejorar la seguridad.

Como ya se ha comentado anteriormente, la colocación de un sistema de contención limita las consecuencias de un accidente, pero el impacto con el sistema ya es de hecho un accidente. Por eso, su instalación debe ser la última alternativa siempre que no se pueda o no sea económicamente viable otra solución. ¿Qué alternativas se pueden considerar? He aquí unas sugerencias:

- Ampliar la plataforma o la sección transversal cuando el terreno sea llano.
- Eliminar el obstáculo o desnivel (muchas veces es lo más sencillo).
- Diseñar de nuevo el elemento que supone el obstáculo o desnivel.
- Trasladar el obstáculo a otra zona.
- Disminuir la "severidad" del impacto, con estructuras eficaces o seguridad pasiva.
- Estudiar soluciones de drenaje más seguras.

La colocación del sistema de contención debe ser siempre la última solución.

Si finalmente existe una posibilidad de accidente (normal, grave o muy grave) y no se encuentra otra alternativa viable, está justificada la colocación de un sistema de contención.

**Paso 5.-** Variables del sistema de contención. Hay que tener en cuenta que no vale cualquier sistema para cualquier tramo de carretera. Hay una serie de variables que deben tenerse en cuenta.

La primera de ellas es el nivel de contención. Pensemos en la variedad de vehículos que circulan por la carretera. No es lo mismo instalar un sistema para contener a un vehículo pesado que a un automóvil pequeño. En principio, podría pensarse que siempre será conveniente instalar un sistema que "pueda con todos", pero hay que tener en cuenta dos cosas: por un lado el coste y por otro que lo que es bueno para un vehículo pesado puede no serlo para un vehículo ligero. Los sistemas con mayor nivel de contención suelen ser más rígidos y por ello menos seguros para vehículos ligeros.

De todos modos, en este primer momento interesa calificar los sistemas según el nivel de contención. Eso lo hace la Norma UNE-EN 1317, en función de los obligados ensayos de choque. Cada elemento de contención que ofrece el mercado debe tener definido su nivel de contención.

Una segunda variable es el desplazamiento transversal del sistema cuando recibe el impacto. Aparecen dos importantes conceptos, que deben ser facilitados también por el fabricante del sistema:

La deflexión dinámica es el máximo desplazamiento lateral producido durante el impacto, medido desde la cara del sistema más próxima al vehículo. Por decirlo de otro modo, representa el desplazamiento lateral máximo que sufrirá el vehículo que impacta con el sistema. Se mide en unidad de longitud (normalmente en metros).

Por su parte, la anchura de trabajo es la distancia entre la cara más próxima al vehículo antes del impacto y la posición lateral más alejada que durante el choque alcanza cualquier parte esencial del conjunto del sistema de contención y el vehículo. Viene a representar el espacio que necesita el sistema para poder funcionar correctamente. También se mide en

unidad de longitud, solo que se han definido una serie de rangos, de manera que hablaremos de anchuras de trabajo entre W1 y W8.

¿Para qué nos van a servir al diseñar nuestro sistema? Muy sencillo:

La deflexión dinámica la tendremos que considerar cuando tengamos un desnivel lateral (que puede ser un fuerte talud, una estructura o un muro). Se trata de que el vehículo que impacta no termine cayendo por el desnivel si la deformación del sistema es excesiva. Por su parte, la anchura de trabajo es la que necesita el sistema para trabajar bien y está relacionada con la existencia de elementos u obstáculos laterales que pueden coartar el desplazamiento libre del sistema y con él su efectividad.

Porque, ¿cómo funciona una barrera de seguridad? Un ejemplo muy sencillo es el de dos chiquillos que sujetan una cuerda y un tercero llega corriendo y se deja recoger por dicha cuerda. Enseguida nos viene a la cabeza lo importante que es que los niños que sujetan la cuerda lo hagan fuertemente. Si falla un “anclaje” es como si no hubiera sistema (de ahí que en la práctica la zona de los anclajes de las barreras tenga postes más hincados y más próximos entre sí). Solucionado lo anterior, la cuerda se deforma con el impacto y recoge al niño devolviéndolo a la zona por donde había venido. Si los niños están en el borde de un precipicio, el niño caerá por él a causa de la deformación. Si, por el contrario, los niños que sujetan la cuerda están junto a una pared, el pobre niño que impacta topará con dicha pared y el sistema no habrá funcionado.

Finalmente, el tercer concepto que necesitamos manejar es el índice de “severidad” (de lesividad, para entendernos). Imaginemos un sistema de contención consistente en una pared rígida, como la que se utiliza



Ensayo de choque. Cidaut.

en determinados ensayos de seguridad de vehículos. Desde el punto de vista exclusivo de su nivel de contención y de su desplazamiento es el sistema perfecto: es válido para contener todo tipo de vehículos con deflexión dinámica nula y anchura de trabajo igual a su espesor. Ahora bien, el grado de lesividad es máximo. No es admisible.

Aparece por ello el denominado “índice de severidad”. Su definición se encuentra en la Norma UNE-EN 1317 y establece 3 niveles: A, B y C, de menor a mayor lesividad.

**Paso 6.-** Elección del sistema. Llegados a este punto, surgen dos preguntas: ¿qué sistema interesa colocar? ¿Para qué tipo de usuarios?

Existen numerosos tipos de barreras de seguridad y de pretilas. Ahora bien, no todos los sistemas del mercado nos van a servir.

El primer paso es definir el nivel de contención del sistema que se va a instalar. Hemos llegado a un punto crítico y muy difícil. Por una carretera circulan todo tipo de vehículos: camiones articulados, camiones rígidos, autobuses con distintas alturas de su centro de gravedad, vehículos

ligeros de muy distintos tipos y pesos, motocicletas, ciclistas y hasta peatones. Como se ha indicado, la barrera que puede ser buena para un vehículo pesado puede ser lesiva para los ocupantes de uno ligero; aun así, si el riesgo de accidente es muy grave, es probable que interese una barrera con mayor nivel de contención...

Parece evidente que se necesita establecer unos criterios que permitan buscar un equilibrio entre todas las variables, de manera que la seguridad conseguida sea la máxima posible, aun sabiendo que es imposible buscar un sistema que satisfaga a todos. Las Recomendaciones de 2014 han incluido una tabla que, en función del riesgo de accidente y de la intensidad del tráfico pesado, permite obtener el nivel de contención que puede ser instalado.

Estos sistemas no van a servir, en general, para camiones articulados, salvo los de muy alto nivel de contención. La mayor parte de los sistemas instalados en las carreteras pueden ser eficaces para los vehículos automóviles ligeros.

¿Y los motoristas? Las barreras de seguridad metálicas han sido

siempre un problema muy serio para la seguridad de los motoristas, debido al obstáculo que supone cada poste de la barrera. Ha costado mucho evolucionar hacia sistemas continuos, complementarios de la barrera de seguridad, como ya se ha visto. Las Recomendaciones señalan que estará justificado disponer esta protección adicional en el lado exterior de determinadas alineaciones curvas y de ramales de salida, a la par que prohíbe los sistemas que utilicen postes IPN o similares.

A continuación se deben analizar las limitaciones físicas en el lugar donde se va a instalar el sistema que obliguen a limitar la deflexión dinámica (casos de desniveles próximos) o la anchura de trabajo del sistema (si existen obstáculos próximos).

Debe elegirse un sistema con el “índice de severidad” de la clase A; solo en algún caso concreto se puede admitir el B, pero nunca el C. Además, es importante que el sistema sea también seguro para terceros, evitando sistemas que puedan desprender piezas o partes metálicas de más de 0,5 kg o piezas no metálicas de más de 2 kg de peso. Se puede conocer la existencia de este riesgo observando el resultado del ensayo de choque.

Todavía queda algún filtro más. Hay que analizar el tipo de terreno, ya que puede condicionar la elección de un sistema u otro en función de la facilidad para cimentar o anclar; también debe observarse si hay alguna limitación en cuanto a la longitud a disponer (teniendo en cuenta que los sistemas deben disponer además tramos de anticipación), o bien si la zona a proteger es muy corta (no hay que olvidar que la longitud mínima a disponer es la que se haya ensayado).

**Paso 7.-** Comprobación de las características del sistema elegido. De entrada, dos consejos fundamen-

tales: el primero es que no se debe elegir un sistema que no disponga del marcado CE, y el segundo es que debe exigirse siempre la ficha con las características del sistema, deducidas de los resultados del ensayo de choque.

Estas características que el fabricante debe facilitar son el nivel de contención, el “índice de severidad”, la deflexión dinámica, la anchura de trabajo, el material empleado, su durabilidad y unos esquemas que indiquen la longitud mínima del sistema utilizada en el ensayo, los sistemas de anclaje, el tratamiento de los extremos (en el caso de transiciones a otros sistemas) y el detalle de los elementos que componen el sistema, incluso los pares de apriete de las uniones atornilladas.

Exactamente igual hay que proceder cuando se vaya a colocar un sistema complementario para la protección de motociclistas. Se requiere que tenga marcado CE y que la colocación se ciña exactamente a las características de su ficha, coincidiendo con las condiciones del ensayo de choque.

**Paso 8.-** Colocación del sistema. La colocación del sistema debe seguir exactamente las especificaciones de su ficha de marcado CE.

En primer lugar, no hay que olvidar que la longitud a instalar debe ser, como mínimo, la de los ensayos de choque y que habitualmente será necesario disponer además de unos tramos de anticipación.

Históricamente se colocaron sistemas que podrían ser válidos todavía, si no fuera porque su longitud es a veces absurdamente corta. Los vehículos que se salen de la calzada lo hacen con un determinado ángulo, que no es recto y brusco. No tiene sentido proteger un obstáculo con un tramo de barrera que cubra solamente dicho obstáculo. Las Re-

comendaciones vigentes establecen la longitud necesaria para las anticipaciones.

También está regulada la disposición transversal, no solamente en cuanto a la distancia al borde de la calzada (siempre mayor de 0,50 m y siempre dejando completamente libre el arcén), sino también en cuanto a la altura de la barrera sobre la calzada, especialmente si existen bordillos.

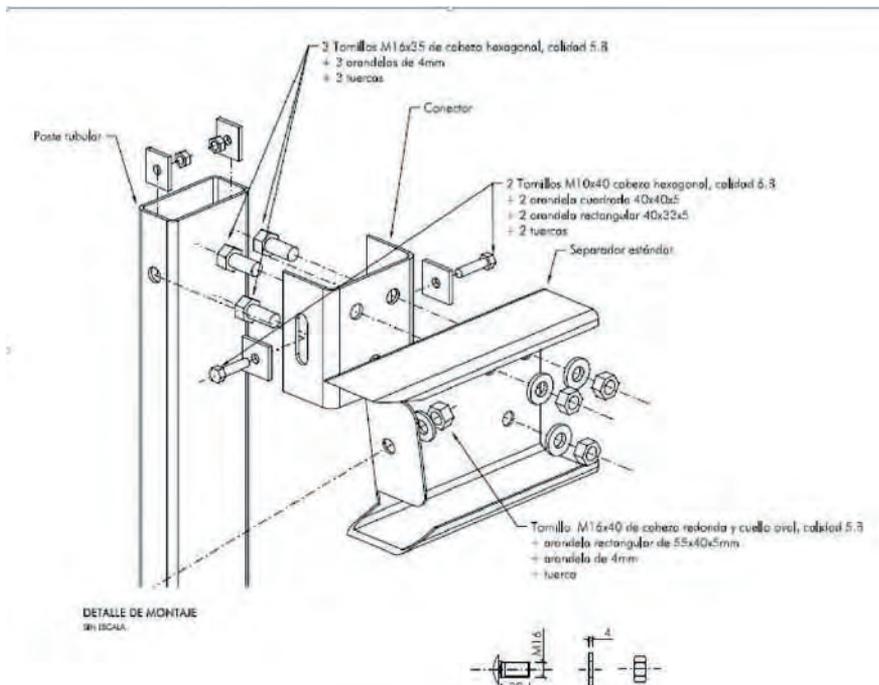
**Paso 9.-** Otros sistemas. No siempre va a ser necesario instalar varias decenas de metros de barrera de seguridad para proteger al usuario del impacto con algún obstáculo. Un caso muy conocido es el de los elementos de drenaje en accesos a la carretera (los conocidos como pasos “salvacunetas”). Normalmente suponen un obstáculo rígido y muy peli-groso, próximo a la calzada.

Hace muchos años, en la provincia de Teruel, se instalaron una serie de dispositivos que permitían suavizar la zona del obstáculo (con una inclinación de 1:6) y efectuar la limpieza de la cuneta. Actualmente este tipo de sistemas debe estar homologado y haber superado los ensayos de choque.

Otros sistemas a considerar son los atenuadores de impacto (recogidos en la UNE-EN 1317) y los lechos de frenado, cuyas características están definidas en la Norma de Trazado.

**Paso 10.-** La conservación. ¿Qué sucede cuando un accidente ha dañado un tramo de barrera?

La Orden Circular de 2014 comienza por afirmar que se considerarán eficaces los sistemas actuales. En cierto modo, esta prevención evita la inabordable tarea de suprimir todos los sistemas que no se ajusten a las Recomendaciones (de hecho, el marcado CE es relativamente reciente).



Detalle de la ficha de un sistema

te y los sistemas llevan muchos años instalados).

Salvado lo anterior, dicha Orden permite reponer puntualmente los daños causados en un tramo de barrera, siempre que no se utilicen postes IPN. En el caso de pretilas obliga a sustituir totalmente el sistema si se ha dañado más del 50% de su longitud.

Normalmente, estas tareas de Vialidad están gestionadas mediante la Agenda de Vialidad. Este tipo de daños se incluyen en el apartado de "deterioros de Vialidad", para cuya reparación suelen otorgarse plazos muy cortos (del orden de 3 días). No hay que olvidar que un sistema dañado no va a funcionar correctamente en el caso de un nuevo accidente.

Al margen de ese tipo de reparaciones obligadas, hay una tarea

periódica importante: la de inspeccionar el estado de todos los sistemas. Gracias a estas inspecciones se suelen detectar bastantes fallos, la mayor parte de ellos relacionados con el correcto par de apriete de los tornillos e incluso con la ausencia de algunos de ellos. No olvidemos que las barreras están sometidas a esfuerzos térmicos, que a la larga pueden afectar a su inicialmente correcta instalación.

Otro problema que puede surgir es el recrecimiento del firme, en el marco de un proyecto de rehabilitación. El recrecido de los sistemas debería ser completo en estos casos, pues las tolerancias que establecen las fichas de los ensayos de choque raramente son mayores que el espesor recrecido. No obstante, en este caso, las Recomendaciones permiten también cierta tolerancia, indi-

cando que no es necesario elevar las barreras si la diferencia entre la altura teórica del sistema y la real es inferior a 7 cm.

Y un detalle importante: los equipos de conservación deben tener siempre a mano una llave dinamo-métrica. Recordemos una vez más que los sistemas deben instalarse siguiendo exactamente las características que se indican en su ficha.

## Epílogo.

De los guardarruedas, malecones, pretilas de mampostería o de piedra y quitamiedos hasta los sistemas basados en ensayos reales de choque se ha recorrido un largo camino para mejorar la seguridad vial.

Decidir la instalación de un sistema y las características de éste supone la búsqueda de un difícil equilibrio para satisfacer al mayor número de usuarios, debiendo ser conscientes de que lo que es bueno para unos puede ser menos eficaz para otros. También se debe tener conciencia de que los sistemas existentes han superado unos ensayos de choque limitados a una serie de circunstancias y variables que son menores, como es lógico, que las que se dan en la realidad de nuestras carreteras.

Unas Recomendaciones no son unas Normas. No son un dogma. Su objetivo es dotar de una serie de criterios a los que deben asumir la compleja responsabilidad de instalar un sistema de contención.

Que no nos abandone nunca el sentido común. ❖

# Reducimos emisiones, reforzando el firme

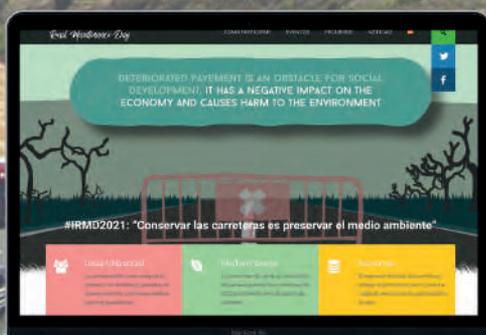


#IRMD2021

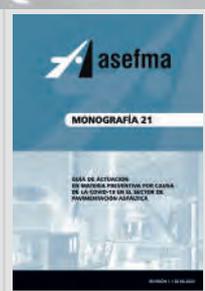
[www.roadmaintenanceday.com](http://www.roadmaintenanceday.com)



**EMI** I+D+i  
**PAV** [www.emipav.eu](http://www.emipav.eu)



**Investigación y difusión**  
monografías técnicas



## Contacto:

Avda. General Perón 26, 28020 Madrid (España)  
(+34) 911 293 660 | [asefma@asefma.com.es](mailto:asefma@asefma.com.es)

[twitter.com/asefma\\_es](https://twitter.com/asefma_es)  
[facebook.com/asefma](https://facebook.com/asefma)  
[instagram.com/asefma](https://instagram.com/asefma)  
[linkedin.com/company/asefma](https://linkedin.com/company/asefma)



# Entrevista In Memoriam

## José Ramón Pérez de Lama



José Ramón Pérez de Lama falleció en Sevilla el pasado 17 de noviembre de 2020 a los 94 años.

Nació en Madrid en 1926, donde cursó la carrera de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos trasladándose a Sevilla con motivo del Servicio Militar. Desde allí ha desarrollado una ingente labor profesional en el mundo del Transporte de la que merecen destacar 4 etapas en el ámbito público o asociativo, si bien también tuvo importantes responsabilidades en Dragados y Construcciones.

Como director del Canal Sevilla-Bonanza ejecutó las cortas de Olivillos y la Isleta en el río Guadalquivir que son un antes y un después para la navegación. También le tocó desviar 20 km del río Guadaira que deja todo preparado para el próximo traslado del puerto de Sevilla al sur.

Siendo Concejal de Tráfico y Transportes y luego Alcalde de Sevilla, puso en marcha la construcción del Metro aunque luego se paró casi dos décadas. Bajo su impulso se construyeron los túneles por los que circula el Metro actual.

Como director de la demarcación de Andalucía de la Dirección General de Carreteras del Ministerio, le correspondió liderar la construcción de la red de carreteras que se hicieron en Andalucía previas a la Expo 92.

Posteriormente en 1995 promovió la creación de ITS Andalucía desde donde como Presidente impulsó importantes proyectos de innovación en la materia y la posterior fundación de ITS España en 2002, entidad de la que fue Consejero hasta su fallecimiento.

La presente entrevista se publicó en video en el III Congreso Iberoamericano ITS en julio de 2020. Se resumen en ella discusiones de los últimos 25 años diversos ámbitos de la movilidad.

### ¿Qué haría usted si le propusieran volver a ser otra vez Alcalde o Concejal de Movilidad de Sevilla o de cualquier otra ciudad?

En primer lugar quiero decir que no aceptaría de ninguna de las maneras.

En segundo lugar les pediría que hicieran llegar unas sencillas ideas a la persona que finalmente aceptara

el cargo, por si le fuera de utilidad, no por decirle lo que tiene que hacer. Las sugerencias serían:

- 1.- Analice la situación actual.
- 2.- Debe fijar un objetivo
- 3.- Es importante contar con un buen equipo técnico
- 4.- Debe preparar un Plan
- 5.- Por último, la "Publicidad" o Plan de Comunicación. Hay que con-

tar lo que se va a hacer y lo que se va haciendo a todos los interesados.

### ¿Cómo se analiza la situación actual?

Básicamente se trata de preguntarse dónde estamos en lo importante a grandes rasgos.

Empezar por conocer la población de la que estamos hablando,

tanto residentes como visitantes y sus necesidades de movilidad.

Saber cuánto se mueven y cuánto desplazamiento de mercancías requieren, de dónde a dónde, los motivos, modos de transporte utilizados, horas, velocidad e itinerario de los desplazamientos.

También es fundamental conocer con una estimación suficiente los "Efectos" producidos por la movilidad: accidentes, emisiones nocivas, consumo energético, atascos, coste económico personal y público, falta de confortabilidad y equidad en los desplazamientos y distorsiones en cuanto al uso razonable del suelo. Todo ello y en la medida de lo posible de forma sencilla y todo lo sintético que seamos capaces pero con datos aunque sean aproximados.

Además, puede ser muy útil tener una breve evolución de los datos anteriores a corto, medio y largo plazo. Todo esto sin dedicarle demasiado tiempo que nos haga detenernos en la acción.

### **En su opinión, ¿Cuáles son los parámetros fundamentales que se deben tener en cuenta a la hora de establecer un objetivo para mejorar la movilidad?**

Todo se resumiría en la pregunta ¿A dónde queremos ir?, ¿qué movilidad queremos alcanzar de forma realista?

Para ello resulta de gran utilidad fijar pronto un primer objetivo, aunque luego requiera sus lógicos ajustes al afinar en los trabajos.

El Objetivo para ser de utilidad debe estar cuantificado en términos de: Cantidad de movilidad por motivos de desplazamiento, reparto modal, nº de accidentes, emisiones no deseadas, atascos y velocidad co-

mercial de transporte público, equidad en los desplazamientos, etc.

Es evidente que los Objetivos se retroalimentan con el plan, ya que estamos limitados por los recursos necesarios para ejecutar el plan.

### **¿Puede concretar un poco más el tema del equipo necesario?**

Aquí se trata de tener clara la respuesta a la pregunta de con quien quiero conseguir el Objetivo y desarrollar el Plan. Por tanto me refiero tanto al equipo interno de colaboradores como al que se desarrolla cooperando con otras entidades con las que se solapan mis competencias.

Creo que es importante rodearse de buenos profesionales, Técnicos, Ingenieros si se me permite, pero siempre con criterio técnico. Así evitaremos cualquier tentación ideológica que en la gestión divide a las sociedades y a los equipos. Dejemos la ideología a la hora de establecer los objetivos y el plan, y que la técnica los ejecute para optimizar recursos y aumentar la probabilidad de éxito.

Es importante contar con gente con experiencia cualificada, que después de años de trabajo identifican de un vistazo las situaciones y conocen las consecuencias más probables de las acciones. Nuestro equipo lo debemos seleccionar, si podemos, sobre todo por su capacidad técnica y actitud, su ilusión por cambiar las cosas si es que toca cambiarlas.

Por ello es muy aconsejable el desarrollo de equipos de gente joven con esas características, que debidamente mentorizados por expertos se convertirán en grandes profesionales. De esta manera haremos el gran favor a nuestras organi-

zaciones y a la sociedad, sea cual sea el resultado de nuestra gestión.

A la hora de formar equipos, a mi me gusta decir "Busca gente buena y que hagan lo que quieran", y en muchos casos los resultados superan con creces las expectativas.

En la medida de lo posible debemos integrar e integrarnos con otras entidades en el trabajo a realizar.

### **¿Podría ampliar un poco el tema de la colaboración con otras entidades?**

En cuanto a la colaboración con otras entidades lo más eficaz, cuando las personas lo permiten, es la colaboración sincera y tratar de integrar los diversos objetivos en uno común, por más difícil que parezca. Lo esencial es el respeto institucional que lleva a respetar las competencias de los demás e informar en tiempo de lo que les afecta de nuestras acciones por si tiene algo que decir o que ajustar en sus propios planes de trabajo.

Cuantas veces diferentes administraciones se pelean por tener una u otra competencia a la hora de ejecutar proyectos que afectan a unos y otros. Aquí es especialmente útil una regla definida por un gran ingeniero del Ayuntamiento de Sevilla, José Luis Prats, que decía: Si aquí hay un problema o un fallecido, ¿A quien va a llamar el juez?. Pues, esa persona que decida, y los demás le ayudamos. Es de justicia que quien tiene la responsabilidad, también tenga la competencia para decidir y si además tiene sentido común escuchará a los demás.

### **En cuanto al Plan que comenta, ¿cuál debe ser su contenido en esencia?**

Se trata de un plan sencillo que describa las principales acciones y



Pérez de Lama en 2007 presidiendo las Jornadas de ITS Andalucía

proyectos que nos conducen a los objetivos señalados y que también debe ser entendible por todos. Que responda básicamente a la pregunta de Cómo y por dónde queremos ir al objetivo.

No se trata aquí de inventar nada. En el mundo hay cientos de miles de ciudades con estos problemas y que han desarrollado todo tipo de proyectos.

Como en medicina, los buenos doctores tienen claro el tratamiento más adecuada una vez hecho el diagnóstico, así como sus efectos principales y secundarios que pueden afectar a otros. Además del conocimiento por haberlo estudiado, los buenos técnicos en medicina, tienen la experiencia de haber aplicado durante décadas ese conocimiento en sus pacientes. En la movilidad pasa algo parecido. Hay técnicos que además de hacer un buen diagnóstico de la situación, aciertan no sólo en el tratamiento, sino en la estimación de la evolución futura tras el mismo. Ese es el caso de Ulises Wenzel, que por ejemplo, se equivocó por muy poco en la estimación del uso de un sistema tan

novedoso como el Transmileno en Bogotá.

### **La Comunicación en Movilidad, no parece tarea fácil. ¿Cómo enfoca usted la cuestión de Contarlo a los afectados o interesados?**

El objetivo aquí es buscar complicidades, cuantas más mejor. Hacerles partícipes ya que es un tema que afecta a casi todos. Incluida también la comunicación interna para que nuestro equipo no sólo ejecute, sino que asuma el plan como propio.

Un caso paradigmático es el Pacto por la Movilidad en Barcelona. Participó todo el mundo, se escuchó a todo el que quiso hablar. El Ayuntamiento hacía de árbitro entre los comerciantes que discutían con los vecinos, los transportistas, los ciclistas o los taxistas... Al final se explicaban las posibilidades técnicas y se encontraba una solución que era aceptable por todos y que casualmente coincidía casi siempre con lo que los técnicos habían previsto, pero ahora con la fuerza de la

ciudad respaldando su propio proyecto. Eso reducía de forma drástica las dificultades planteadas y por tanto los tiempos de despliegue de los proyectos.

Distinto es de la dejación de responsabilidades y someter continuamente a votación cualquier cosa. Así está garantizado que terminamos en cualquier parte menos donde queremos ir.

### **Entonces, esto de la Movilidad ¿es sencillo o complejo?**

Es sencillo en lo esencial, pero técnicamente se puede complicar todo lo que se quiera ya que es una materia con multitud de elementos a tener en cuenta. Por suerte, tenemos muy buenos técnicos con amplia experiencia para ayudarnos en esto.

Me parece que aquí es importante no dejar de comentar tres ideas a los gestores, e incluso a algunos técnicos, que no llevan muchos años en el transporte.

- 1.- Efectivamente, como parece, esto del Tráfico y el transporte es un problema de flujo capacidad en el que hay una red viaria y de transporte que se debe dotar y adaptar para asumir una demanda de viajes en diferentes modos de transporte. Pero no sólo es eso.
- 2.- A medio plazo, existe una importante influencia en la demanda de los diferentes modos por parte de los cambios en la Oferta. Una bajada de calidad percibida espanta a usuarios del transporte público y viceversa. Del mismo modo una nueva infraestructura viaria, una mayor frecuencia de transporte, mejora de la calidad, etc. promueven una mayor demanda de los correspondientes modos.

Hay ocasiones en que queriendo solucionar un problema con un nuevo paso inferior, dicho paso atrajo a nuevos usuarios y la demanda resultante ya no era asumible por un semáforo aguas abajo, y el nuevo atasco además de tener nuestra firma, permanece allí durante décadas.

3.- Por último, una cuestión apasionante es la relación con el uso y valor del Suelo y la Movilidad que se podría resumir en dos postulados evidentes:

- Influencia del uso del suelo y su valor en la movilidad
- Influencia de la movilidad en el valor y uso del suelo

### ¿Podría explicar un poco más la relación entre el uso del suelo y la movilidad?

Son cuestiones cotidianas que se muestran evidentes tras un breve análisis.

La influencia del uso del suelo y su valor en la movilidad, la vemos cada día al ver que cerca de donde se trabaja o no se ha utilizado el suelo para viviendas o bien estas son muy caras. Así las personas que trabajan allí tienen cada día un largo desplazamiento al trabajo de forma obligatoria. Las empresas, la sociedad y las autoridades deberían coordinarse para que todo aquel que quisiera, pudiera ir andando al trabajo. Algo parecido con los centros comerciales, de formación, etc.

Del mismo modo apreciamos la Influencia de la movilidad en el valor y uso del suelo. Muchos comercios cerca de la boca de una estación de metro facturan mucho más que en un tranquilo barrio en las afueras. Del mismo modo, una empresa tenderá a situarse en un lugar donde puedan acceder con facilidad sus trabajadores, clientes



Pérez de Lama saludando al Conde de Barcelona, Juan de Borbón

y proveedores, ya sea en transporte público o en vehículo privado. La gente prefiere vivir en una casa con buenas comunicaciones de transporte público y también viario. Así el precio del alquiler de una zona se ve alterado por las infraestructuras y condiciones de la movilidad de su entorno.

### ¿Tiene solución la Movilidad?

A mí me gusta utilizar la expresión de mi compañero Sebastián de la Rica, uno de los padres de la Ingeniería de Tráfico en España, que la movilidad tiene soluciones, no existe una solución única.

Para identificarlas, como todo en la vida, hay que identificar primero cuál es el problema que queremos solucionar.

La movilidad es un tema complejo, como ya se ha comentado, no sólo por la relación oferta demanda. Al tratarse de un servicio destinado a facilitar el desarrollo de actividades de las personas, la relación anterior es dinámica, afecta y es afectada por las actividades desa-

rolladas en cada lugar así como el valor del suelo.

Los técnicos que han estudiado muchas ciudades y tienen en experiencia pueden aportarnos la soluciones que necesitamos como en cualquier otra disciplina: Una estructura de un edificio, una red de suministro eléctrico, de agua o telecomunicaciones.

Hay muy buenas herramientas como son el aparcamiento, el transporte público y la planificación que ya comento en otro momento.

Todo viaje en vehículo privado comienza y termina en un aparcamiento. En Sevilla, durante muchas décadas en los viajes al centro era la única ocasión en la que el transporte público superaba al privado. El motivo fundamental era que no había dónde aparcar el coche.

El Transporte público por su parte es el modo de transporte que aporta más seguridad vial, reducción de emisiones, consumo energético y atascos. Hay que tenerlo en la base de toda política de movilidad inteligente. Como bien dice el profesor Vassallo "El usuario que utiliza



El Grupo de Trabajo ITS de la Comisión de Transportes del CICCIP preparando el Libro verde de los ITS

el transporte público en hora punta, hace tanto bien a la sociedad, que las autoridades no deberían escatimar en recursos para que esté satisfecho y no se le ocurra dejar este modo de transporte”.

Como toda herramienta debe estar en manos de un buen profesional.

### ¿Tiene alguna recomendación específica para los técnicos?

A los técnicos les propongo que siempre procuren cuantificar. Incluso para el dimensionamiento general, y que aunque se enamoren de su disciplina y sus proyectos concretos, eso no les ciegue para centrarse en encontrar las mejores soluciones en cada caso.

En movilidad es cierto que hay cuestiones que deben resolverse con semáforos y control del tipo que sea. En realidad poco más del 5% de las ocasiones.

Una buena ordenación viaria. Ahora parece que se ha inventado la jerarquización viaria con las sur-

perislas en alguna ciudad importante en España. No digo que no sea una buena idea, sino que la ordenación viaria racional se viene aplicando desde hace décadas desde la ingeniería de tráfico eliminando itinerarios permitidos con un criterio más allá de dejar pasar el coche y dotando de plazas de aparcamiento con criterios más complejos que el simple aparcar cuantos más coches mejor. Con una buena reorganización de la ordenación viaria se pueden resolver más del 25% de los problemas singulares que aparecen.

En cambio, con una adecuada planificación, se pueden resolver más del 70% de los problemas, y lo que es mejor, evita que surjan.

### ¿Tiene alguna propuesta para entender mejor la movilidad?

Llevamos más de 10 años trabajando en el modelo REFNO Redes, Nodos y Flujos.

La base son nodos dinámicos de un tamaño manejable, unas 30.000 personas, donde produce actividad humana, y que como he dicho son

dinámicos que cambian de tamaño e incluso desaparecen.

Los Nodos como centros de ordenación y poder local, a la vez con libertad y supeditados o coordinados con el general. Así se genera una legislación coordinada, local y general orientada a los fines.

Esos nodos se conectan para formar redes por las que se producen flujos de los elementos estratégicos:

- Movilidad de personas
- De mercancías incluso por tuberías
- Agua
- Energía
- Información
- Flujos monetarios
- Flujos afectivos

Con estas herramientas resulta más fácil acertar para entender lo que ocurre y lo que es más importante, lo que puede suceder en un futuro más o menos cercano.

Ahora ya no nos sorprende que el alquiler de viviendas sea por habitaciones, y que lo que se publicita, más que el precio, es si tiene cerca el metro, si tiene wifi, y los watsios que se permiten en el enchufe.

### Y todo esto ¿Cómo se paga?

Hay múltiples soluciones pero me centraré en el valor añadido que produce la movilidad, así como el uso y valor del suelo y las actividades desarrolladas sobre el mismo.

Del mismo modo que la movilidad no es un fin en si misma, sino un medio para facilitar otras actividades, esa capacidad “facilitadora” le proporciona un valor estratégico.

El valor de la movilidad se ha visto con claridad con la crisis del covid19. Un viaje que no se puede hacer es una cafetería a la que no se acude, un restaurante donde no se almuerza, un espectáculo al que no se acude, algunas compras que no se hacen, un trabajo que no se desarrolla, etc.

Por ello los grandes centros comerciales nos regalan dos horas de aparcamiento si acudimos a ellos. Con gran gusto nos pagaría también el transporte público. Casualmente, al menos en España, los impuestos asociados a una compra en el centro comercial, o de las actividades anteriormente descritas, son superiores a los beneficios del centro comercial o de los titulares de las actividades. El transporte público además de generar actividad y bien para toda la sociedad, es inmediatamente rentable por los impuestos que genera con ese mismo viaje.

Por otra parte, desde hace años venimos trabajando en lo que hemos llamado el modelo PLH.

Consiste en descomponer el valor de un edificio en tres diferentes:

- El suelo como si fuera zona verde, o un simple espacio de aparcamiento en rotación.
- El edificio en si. El material de construcción empleado que como todo se deteriora con el tiempo.
- La licencia de edificabilidad. El derecho a construir y las actividades permitidas.

A primera vista parece que en la actualidad el coste de los edificios se ha disparado por el valor del suelo que crece sin parar. Hay que añadir el coste y valor de una construcción que se puede tasar con bastante objetividad y la licen-

cia que parece un coste importante pero inferior a los anteriores.

Un análisis detallado del valor real de una licencia en un edificio nos lo puede dar el supuesto de que la municipalidad nos concediera el derecho a edificar una planta más en un edificio. El valor de la licencia por metro cuadrado sería la diferencia entre el valor potencial de venta, menos el de construcción y si se quiere la repercusión proporcional del suelo como zona verde. Nos sorprendemos al ver que el valor de la licencia puede rondar entre el 60 y 90% del total en muchos sitios.

El valor económico de una licencia debe retornar en el 100% de los casos y de su valor a la autoridad que la concede y no quedarse más de la mitad por el camino de la especulación como ocurre en muchos casos en la actualidad. Esto podría desarrollarse, pero lo dejo ahí por ahora.

A los más iniciados en la política municipal no se les escapa que los planes de urbanismo de las ciudades a menudo terminan teniendo una muy importante misión de plan de financiación municipal. Hay importantes arquitectos con una sorprendente capacidad recaudatoria que casualmente son sistemáticamente seleccionados por los alcaldes de las ciudades más necesitadas de fondos.

Con esta perspectiva vemos como el transporte y las infraestructuras generan una plusvalía importante cuando aparecen en propiedades anteriores de terceros y lo hacen en el valor de sus licencias de edificabilidad según he explicado.

El proceso contrario es muy útil para visualizarlo: cerremos una estación de metro para siempre. Las farmacias, las cafeterías, las ofici-

nas, las viviendas del entorno sufren una repercusión importante. El precio del alquiler en la zona cambió dramáticamente y ese es el valor que estaba aportando la parada de metro.

Es justo que los beneficiados contribuyan a financiarla por tanto y no sólo con galerías comerciales internas o promociones inmobiliarias anejas a los proyectos, que también son buenas ideas.

En Cataluña para financiar el transporte público existe un recargo en el impuesto anual de bienes inmuebles. Sólo falta que no se pague lo mismo si se tiene una parada de metro a 1 minuto, a 5, a 15, o a más de 30. Sería una forma sencilla e inteligente de aplicar en la actualidad el modelo urbanístico que he expuesto a la movilidad.

### ¿Y el pago por uso?

Yo soy favorable, por supuesto, pero no podemos tener una visión miope de querer financiar sólo el coste y mantenimiento de la infraestructura. Se debe utilizar para contribuir a financiar el conjunto del Sistema de Transporte.

Así es clave que se cuente con los Operadores de Transporte Público, la cadena logística y que suministran vehículos. Si no los tenemos en cuenta, y se financian también sus necesidades aunque sea en parte, los tendremos en contra y con razón. Me refiero a financiar en parte los déficits del transporte público, promover renovación de flotas, agrupamientos empresariales en logística, etc.

En definitiva, es la Infraestructura la que tiene que estar al servicio del Transporte y no al contrario y todos al servicio del usuario. Si le damos un buen servicio, el usuario no tendrá problemas en pagar por él y si



Reunión de ITS España con el alcalde Alfredo Sánchez Monteseirín

alguno requiere subsidios allí acudiría el sistema.

### ¿No es utópico el tema que comentaba antes de los equipos y la gente joven?

Dejar equipos bien formados de profesionales competentes con experiencia es obligación de todo gestor responsable.

Tenemos multitud de ejemplos paradigmáticos de ello. Explicaré algunos:

El caso de Julio García Ramón en Barcelona que aprovechaba sus colaboraciones con la universidad para identificar a los mejores alumnos, motivarlos para trabajar en movilidad en el Ayuntamiento de Barcelona y conseguir que todos quedaran como funcionarios antes de jubilarse.

Hoy en día es gusto pasearse por el CTAG (Centro Tecnológico de Automoción de Galicia) donde trabajan cientos de ingenieros muy jóvenes y muy expertos en el ITS de la Automoción. Hace 15 años no había nada y el equipo desarrollado

garantiza empuje de calidad durante décadas.

En el otro lado del océano se puede citar el caso del Intransit en la República Dominicana, donde su directora con dilatada experiencia en el sector, ha conseguido desarrollar para esta nueva entidad un auténtico equipo de alto rendimiento con una importante composición de jóvenes con poca experiencia pero gran actitud, formación y más ilusión.

Este "subproducto" de nuestra gestión, ha demostrado muchas veces ser un gran activo para las entidades. El paso de gobiernos de muy diferente color político apoyándose en ellos así lo ha demostrado.

Además la gente joven son la clave. Muy especialmente la Universidad por su función de apertura al conocimiento de manera universal. Tiene gran valor su renovación constante. Resulta impresionante la energía y capacidad de los jóvenes de 20 años. El mundo está en sus manos y lo bueno es que lo saben. Esa experiencia la tuve de cerca no hace mucho en las tertulias a las que me invitaban en el Colegio Mayor Guadaira de la Universidad de

Sevilla. Me acordaba que casualmente me tocó a mí reconducir el cauce del Río Guadaira, aunque a aquel Colegio Mayor no necesitaba ser reconducido, antes bien lo contrario. También recientemente lo he experimentado en la Escuela de Arquitectura presentando un concurso.

### ¿Y la ideología? ¿Hay espacio para la ideología en la Movilidad? ¿Es el coche de derechas y la bicicleta de izquierdas?

Lo derechas e izquierdas ni lo comento. Entiendo que me dirijo a gente con alguna formación y no por menospreciar la pregunta que está bien traída.

En la definición de objetivos y en el plan diseñado es donde hay espacio para la ideología. Todos queremos reducir al máximo los fallecidos, las emisiones nocivas, los atascos, la falta de equidad, etc. pero si tenemos 100 millones de euros o dólares, cada persona individual hará una elección distinta en el posible reparto del uso de los recursos entre priorizar los diferentes objetivos. Unos pondrán mucho peso al presupuesto destinado a la seguridad vial, otros a los atascos, otros al cuidado del medio ambiente, etc. Y eso es bueno, que cada uno opine distinto. Viene a ser como la selección nacional de fútbol, que cada uno tiene la suya.

Es misión del gobernante responsable, y de cualquier gestor, personal o colegiado, escuchar, decidir y responsabilizarse de las consecuencias de sus decisiones. Los objetivos establecidos son como el ADN de su gestión y no se pueden cambiar de forma importante a la ligera sin pérdida de eficacia, eficiencia y prestigio.

### ¿Tiene alguna propuesta ilusionante para su ciudad?

Mi propuesta la llamo Smart City Sevilla Sur. (me gusta más el término wisecity o philosopolis).

Se trata de una utopía al alcance de la mano y que se financia sola.

Las características principales son:

- Población de unas 30.000 personas, como se marcaba en REF-NO.
- Frente a Gelves, al otro lado del cauce del río Guadalquivir. El límite de la ciudad debe estar, de forma aproximada, a la misma distancia del Guadalquivir que del nuevo cauce del Guadaira.
- A partir de un Transporte público confortable y regular que sale del centro de la ciudad y llega en 10 minutos a la torre del oro. En esta ciudad todo el mundo podrá ir andando o en bicicleta al trabajo, al colegio, etc., si así lo desea.
- Se dispondrán de tantas viviendas, zona verdes, centros comerciales y en general servicios a la comunidad educación, sanitarios, etc. como requieran los puestos de trabajo allí ubicados.
- Ciudad sostenible y conectada: económica, social y medioambientalmente. Atención desde el diseño a las necesidades de acondicionamiento, consumo energético, ciclo integral del agua y todos los residuos, uso de energías renovables, etc. Lo mismo con las redes de telecomunicaciones públicas y privadas, preparadas para los próximos 50 años.
- Debe estar preparada para cuando en el futuro el puerto

de Sevilla se desplace al sur y se reducirá progresivamente el espacio dedicado a oficinas en función de los puestos de trabajo aportados por el nuevo puerto y su zona industrial de influencia.

Hemos lanzado un concurso en la escuela de arquitectura de Sevilla y tenemos al menos a 4 estudios de arquitectura mentorizando a algunos alumnos para presentar propuestas.

### ¿Y para el resto de ciudades?

Propongo la creación de un premio NOBEL o similar de la Movilidad. Impulsado, respaldado y reconocido por importantes ciudades de todo el mundo.

Debemos reconocer y poner de manifiesto a entidades, proyectos y personas que lo han hecho bien en el sector de la movilidad.

En la medida de lo posible con criterios objetivos y cuantificados, fundamentalmente de cumplimiento de los objetivos y planes planteados.

Para la primera edición a mí me gustaría proponer a la ciudad Montería en Colombia, donde se logró implantar un sistema para sustituir los mototaxis de largo recorrido por motocarros gestionados por las madres de familia y que alimentan el sistema de transporte público troncal. Los transbordos se gestionan con una tarjeta inteligente de transporte.

Ha sido una revolución, no sólo para la seguridad vial, y el transporte en general, sino para la economía y cohesión social de la zona. Es un ejemplo paradigmático de algo muy bien hecho en Iberoamérica y que debemos ayudar a conservar.

### ¿Qué sentimientos le generan los proyectos retrasado o no realizados y en especial el Canal Sevilla Bonanza?

A veces pena y ansiedad por tener cosas aparentemente sencillas al alcance de la mano que no se ponen en marcha, pero cuando lo piensas bien hay motivos para la esperanza y la tranquilidad sobre todo pensando en la gente joven y en el futuro.

Desde luego que, en Sevilla, hubiera sido mejor poner en marcha el Metro cuyos túneles me correspondió construir casi sin medios a mitad de la década de los 70 del siglo pasado, antes que la gran ampliación viaria del año 92 que casualmente también me tocó a mí desarrollar en su mayor parte en el ámbito metropolitano y de accesos a la ciudad.

De haber construido primero el metro, ahora tendríamos otro reparto modal mucho más favorable al transporte público. Es difícil que alguien que se compra un segundo y tercer coche, luego vuelva al transporte público, si además vive en una urbanización de las afueras donde se va en vehículo privado. No es sencillo volver a meter ni el genio en la lámpara ni la cerveza en la botella después de derramarse.

En cuanto al Canal Sevilla Bonanza, para los que no conozca el proyecto, es como una autopista fluvial de Sevilla a Sanlúcar de Barrameda donde desemboca el Guadalquivir.

Sevilla hace 500 años era el primer puerto del mundo, y eso no va a repetir, pero tiene importantes activos estratégicos que hoy no está explotando. La historia de Siglos del puerto de Sevilla muestra su progresivo desplazamiento al sur en muchas ocasiones. Que el Puerto de

Sevilla se desplazará al Sur empujado por la ciudad, eso es un dato.

Si no se ha hecho todavía es porque no han llegado ni el momento ni los responsables destinados a realizarlo. Cuando esto ocurra, descubrirán que el 80% del proyecto ya está ejecutado.

Confío en que más pronto que tarde será una realidad. Entre atracar un Crucero, o un carguero, en Algeciras, Cádiz o hacerlo en la feria de Sevilla tras un agradable paseo por el Coto de Doñana, hay una diferencia notable y a lo comentado en REFNO me remito para no extenderme.

### Los afectos

No descubro nada si digo que este es un aspecto esencial para el

ser humano y por tanto para sus sociedades. En ITS Iberoamérica esto lo tenemos muy claro y lo utilizamos con frecuencia.

Las ciudades tienen que buscar aliados, identificar otras con las que nos podamos complementar de forma inteligente. Así establecer relaciones de amistad, comerciales y de todo tipo que pueden ser el origen de grandes proyectos y sobre todo una vacuna contra el provincianismo.

En mi época de Alcalde pude hermanar la ciudad con Guadalajara en México. Es más conocida la relación de Sevilla con Kansas City que da nombre a la vía principal con destino a Madrid donde hay una famosa estatua, lo mismo que la réplica de "Giralda" situada en Kansas City.

### Para terminar ¿Podría resumir lo dicho en algunas conclusiones?

- Pensar en las personas. Sus necesidades. Pagarles lo justo. En qué se les puede mejorar la vida.
- Ser utópicos y ambiciosos pero sin dejar de pisar el terreno
- Tener claro dónde vamos, con quien sabiendo que el destino es dinámico como la vida misma
- Aprender de la experiencia del conocimiento de los demás
- Confiar en la gente joven ❖



# LOS PAVIMENTOS DE LAS CARRETERAS

## LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

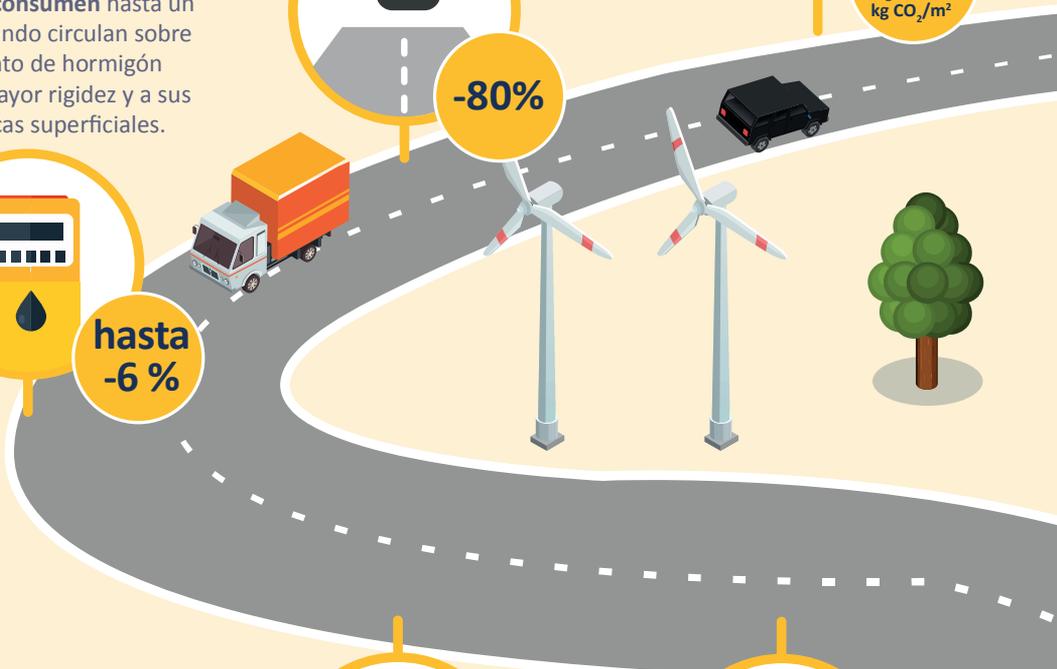
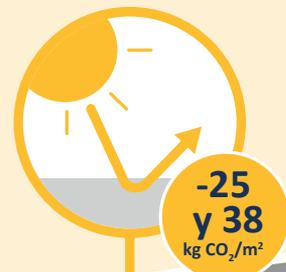
Los pavimentos de hormigón reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> del tráfico rodado.

El color claro de las superficies de hormigón refleja una gran cantidad de luz solar, lo que contrarresta parcialmente el calentamiento global.



Los vehículos **consumen** hasta un 6% **menos** cuando circulan sobre un pavimento de hormigón gracias a su mayor rigidez y a sus características superficiales.

Las operaciones de mantenimiento de los pavimentos de hormigón son mínimas, lo que permite **reducir la congestión del tráfico**.



## 100% CIRCULAR

Los pavimentos de hormigón, **construidos con materiales locales, son durables y 100 % reciclables.**



Al término de su vida útil, los pavimentos de hormigón se pueden demoler y triturar, **reciclandolos** y utilizándolos como la base de un nuevo firme.



Los pavimentos de hormigón tienen una **vida útil** de más de 40 años, muy superior, incluso el doble, que otro tipo de pavimentos. Esto permite reducir el consumo de recursos naturales (arena y áridos).

# HORMIGÓN CONVIERTEN EN SOSTENIBLES

## UNA MAYOR RESILIENCIA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los pavimentos de hormigón muestran una mayor resiliencia al cambio climático y a fenómenos meteorológicos extremos.

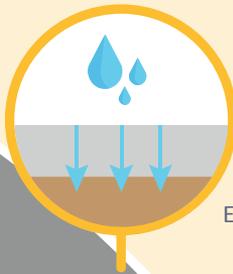
Los pavimentos de hormigón resisten **temperaturas extremas**.



Los pavimentos de hormigón **resisten las inundaciones** gracias a que mantienen sus prestaciones estructurales, aunque se produzca un hundimiento de la cimentación.



Los pavimentos **porosos** de hormigón permiten que el agua de las tormentas se filtre al suelo o que se almacene bajo el pavimento para ser drenada más tarde.



El hormigón es un material inerte que **no filtra contaminantes** al suelo.



## GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA

El hormigón contribuye a una gestión ecológica del ciclo del agua.



# El consumo de cemento no consigue recuperarse del covid y cierra el año con una caída cercana al 10%

- El primer año de la década se cierra con unos consumos absolutos similares a los de la España de mediados de los años 60 del siglo XX.
- Las previsiones para 2021 apuntan a que el consumo de cemento cerrará el ejercicio en un intervalo entre el -3 y el +3%.
- Las exportaciones vuelven a cerrar en números rojos y caen un 3,4% en 2020. España deja de liderar el ranking de la Unión Europea y pasa al segundo puesto por detrás de Alemania.
- Tras la aprobación del estatuto electrointensivo, la patronal confía en una revisión a la baja de los peajes eléctricos, que permita reducir más el diferencial de costes.
- Oficemen celebra la reciente constitución del Foro de Alto Nivel de la Industria, que desarrollará actividades en base al Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, y contará con una dotación de recursos públicos de 2.853 millones de euros para los próximos tres años.

El consumo de cemento en España ha retrocedido un 9,7% durante el conjunto del 2020, lo que lo sitúa en un valor absoluto de 13.287.557 toneladas, 1.431.387 t. menos que en 2019, según los últimos datos de la Estadística del Cemento, presentados el 27 de enero de 2021 por Oficemen en rueda de prensa. A un arranque de año con cifras mensuales ya en negativo en enero y febrero, se sumaron luego las grandes caídas del confinamiento: solo en

los meses de marzo, abril y mayo, se perdieron más de 1,2 millones de toneladas frente a 2019.

Las tasas de variación de año móvil (acumulado de los últimos doce meses) mes a mes del consumo de cemento, el mejor indicador para conocer la tendencia real del sector, también entraron en números rojos en abril, una senda de la que Oficemen no espera salir en 2021.

La ligera mejoría experimentada al cierre del año se debe a la evolución en positivo de diciembre, en comparación con el mismo período del año anterior, aunque hay que tener en cuenta que ese fue el mes con menor consumo de todo 2019. En concreto, en diciembre de 2020 el consumo de cemento ha crecido un 8,2%, lo que ha permitido alcanzar las 1.022.433 toneladas. No obstante, en valores absolutos, es la tercera cifra mensual más baja del año, por debajo únicamente de los meses de marzo y abril, en pleno confinamiento.

El sector inicia así la década de los 20 de nuevo con unas cifras de consumo casi idénticas a las que tenía nuestro país en 1967, hace más de 50 años, aunque aún por encima de las vividas durante los peores años de la crisis, entre 2013 y 2017. En los últimos nueve años, tan solo 2019 dio un ligero respiro al sector superando el nivel del inicio de las series históricas, en el año 1967. ❖



# ASEFMA anuncia una caída del 10,1% en el consumo de betún en España para mezclas asfálticas en 2020 y advierte del grave déficit acumulado

La producción española de mezclas bituminosas baja hasta los 17 millones de toneladas en 2020, según las primeras estimaciones a cierre de ejercicio. Los fabricantes españoles de mezclas asfálticas señalan con preocupación que se está produciendo la mitad de lo que correspondería a un país como España.

El presidente de la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), Juan José Potti, anunció el 4 de febrero de 2021 durante la Asamblea General Ordinaria de la entidad que la industria española del asfalto había cerrado 2020 con una cifra estimada de producción de mezcla bituminosa de 17 millones de toneladas, lo que supone una caída del 10% respecto al ejercicio anterior y el fin de la ligera tendencia alcista iniciada en 2016.

“32,5 millones de toneladas es la cifra de producción de asfalto que correspondería a España para mantener en un estado de conservación su red de carreteras atendiendo a la longitud de la misma, tráfico y condiciones climatológicas”, explicó Juan José Potti. “El déficit de producción acumulada en los últimos diez años es de 136,6 millones de toneladas”, lo que corresponde con el déficit de las infraestructuras viarias españolas señalado por la Asociación Española de la Carretera (AEC) de 7.008 millones de euros para reposición y refuerzo de firmes.

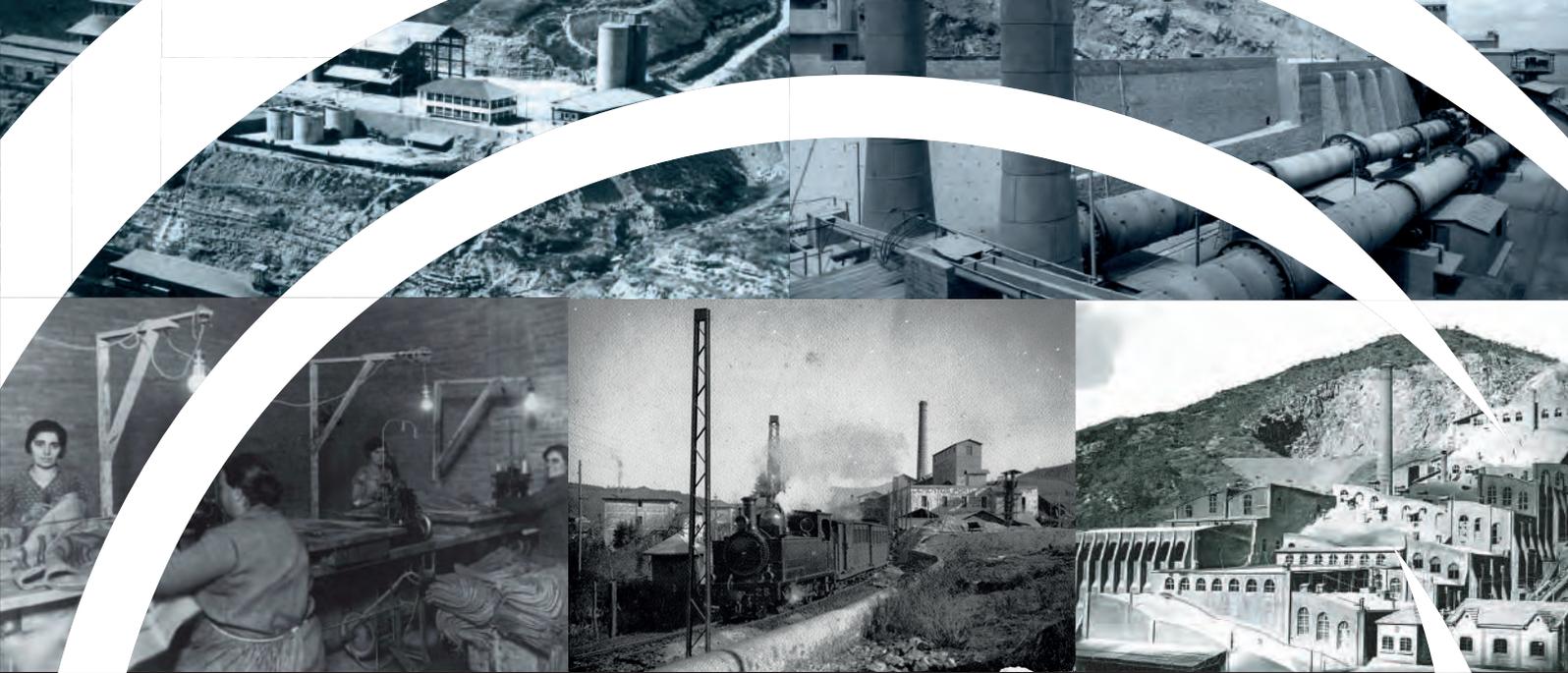
El presidente de ASEFMA también refirió a los últimos datos oficiales de EAPA correspondientes la

producción europea de la industria del asfalto en 2019. “España vuelve a ocupar un puesto que no le corresponde”, subrayó. “Sigue ocupando la séptima posición en producción de asfalto (18,8 millones de toneladas) por detrás de Alemania (40), Francia (35,8), Italia (30,1), Reino Unido (25,2), Turquía (23,5) y Polonia (19)”.

En referencia a la contribución de la industria del asfalto a la neutralidad climática y específicamente en la reducción de emisiones, Juan José Potti recordó que la producción

de asfalto es un indicador de la inversión en carreteras y que el deterioro de la red viaria aumenta el consumo de combustible y, por extensión, las emisiones de CO2 del transporte por carretera. En esta línea destacó el cambio de filosofía de ASEFMA cuyo lema ahora es “Reduciendo emisiones, reforzando el firme” y propuso que las obras de rehabilitación tomen como denominación “obras para la reducción de emisiones entre dos puntos kilométricos”. ❖





Desde 1925, comprometidos  
con la industria del cemento



**NUESTRA HISTORIA CREA VALOR.  
EL VALOR CREA FUTURO**

# Nuevo grupo de trabajo transversal

## Cambio climático y resiliencia en carreteras

Los efectos sobre nuestras infraestructuras de los eventos meteorológicos, muchos de ellos intensificados por el cambio climático, son cada vez más evidentes. La Asociación Técnica de la Carretera no es ajena a esta creciente inquietud, por lo que en apoyo al resto de Comités se ha creado, en el seno del Comité Técnico de Medio Ambiente, un Grupo de Trabajo Transversal sobre cambio climático y resiliencia en carreteras, que pretende asimismo ser espejo del correspondiente comité técnico en PIARC que viene abordando las consideraciones relacionadas con el cambio climático ya desde los dos ciclos anteriores.

Este Grupo de Trabajo (GT) se constituye como un foro neutral, objetivo e independiente, donde técnicos, tanto del sector público como de la empresa privada, con competencias en distintos ámbitos territoriales, podrán compartir sus inquietudes en relación a la mejor forma de adaptar la red de carreteras española al cambio climático y conseguir una red más resiliente, en un entorno cambiante y que nos mueve a actuar con rapidez. Dada la transversalidad del GT, la experiencia de todos los sectores es necesaria, por eso el grupo está abierto a la incorporación de todos aquellos técnicos que sientan la necesidad de incorporar las consideraciones climáticas en su campo de trabajo, bien desde el punto de vista del diseño, de la conservación o de la gestión de los activos.

El pasado 10 de febrero de 2021 se mantuvo la primera reunión del



nuevo GT, estableciendo como objetivos los siguientes:

- Avanzar en el conocimiento de los efectos del cambio climático en las carreteras.
- La inclusión de la resiliencia frente al cambio climático en la toma de decisiones en todas las fases del ciclo de vida de una carretera (desde el planeamiento y proyecto hasta la explotación, el mantenimiento y la conservación).

De la primera reunión mantenida, cabe destacar la voluntad de trabajar de forma coordinada y desinteresada en esta materia, movidos por la inquietud de avanzar en un tema que lleva años tratándose, pero en el que todavía no se ha profundizado de forma práctica lo suficiente.

Los datos, no nos vamos a engañar, son cada vez más alarmantes. Por ello, este GT pretende avanzar en una metodología, basada en el marco de PIARC, en la que se puedan apoyar los distintos gestores para una toma de decisiones informada. A su vez, se intentará cuantificar median-

te variables objetivas los costes que suponen los eventos extremos en la red, las ventajas de implantar un mantenimiento preventivo. Se pretende también uniformizar los conceptos básicos en materia de resiliencia y efectuar una revisión de los principales proyectos de I+D+i relacionados con cambio climático, con objeto de aprender y rentabilizar los resultados de las distintas investigaciones sobre esta materia financiadas en el ámbito europeo e internacional.

Un aspecto fundamental de este Grupo es la importancia de difundir sus trabajos, a través tanto de publicaciones como de jornadas que permitan la diseminación, divulgación e implantación de forma generalizada de buenas prácticas en la materia en el sector de la carretera en España. Se trata de contar con una red de carreteras preparada para los retos actuales y futuros, resiliente, que preste el mejor servicio al usuario, en óptimas condiciones de funcionalidad y seguridad vial, conjugando el mayor respeto al medio ambiente con la eficiencia en el gasto público. ❖

# Jornada Técnica Digital

## Nuevo Enfoque en Firmes

Jueves 8, 15, 22 y 29 de abril 2021

Estas Jornadas que se plantean desde el Comité de Firmes de la Asociación Técnica de Carreteras, pretenden ser un punto y seguido del desarrollo del diseño y construcción de firmes en España.

Inicialmente previstas de forma presencial para finales del año pasado, quieren ser una llamada de atención sobre el estado del arte en el diseño y construcción de firmes y sobre los trabajos en marcha en el Comité en un momento entre Simposios Nacionales, cuya próxima celebración se prevé para finales de 2022, y también pretenden ser un incentivo para el sector en el sentido de generar interés sobre el desarrollo de nuevas experiencias que puedan permitir conocer las ventajas e inconvenientes

de su implementación y su comportamiento a corto y largo plazo.

EL NUEVO ENFOQUE, al que alude el nombre de las Jornadas, se refiere a la ampliación de los requisitos tradicionales de capacidad estructural, seguridad y comodidad que deben cumplir los firmes, con los de sostenibilidad, resiliencia, conectividad y movilidad autónoma, que vienen a cubrir las necesidades de una sociedad en continuo cambio que tiene como obligación el mantenimiento de su bien máspreciado, la TIERRA, pero dando a su vez respuesta a los nuevos retos de desarrollo, resistencia al cambio climático y movilidad.

El objetivo que se plantea es presentar la panorámica de las posibles

tecnologías aplicables a la construcción de firmes con el objetivo último de establecer el campo idóneo de utilización en base al cumplimiento de todos los requisitos del NUEVO ENFOQUE. Se presentarán los avances en la línea de trabajos que se están realizando en el Comité de Firmes, de acuerdo con su Plan de Actividades 2020-2023. Igualmente se presentarán casos concretos en los que se hayan aplicado estas tecnologías y sus resultados a corto o largo plazo.

La organización técnica ha previsto, dentro del marco tecnológico existente para su desarrollo, proporcionar una visión completa, pero concisa y ágil, de todas las posibilidades que los firmes tienen planteadas en este momento. ❖

**08 ABRIL 2021**  
EL NUEVO ENFOQUE APLICADO AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FIRMES

**15 ABRIL 2021**  
TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FIRMES DEL NUEVO ENFOQUE

**22 ABRIL 2021**  
LAS TECNOLOGÍAS QUE YA SON UNA REALIDAD EN EL NUEVO ENFOQUE DE FIRMES: LOS RECICLADOS Y LAS MEZCLAS FABRICADAS A BAJA TEMPERATURA

**29 ABRIL 2021**  
TECNOLOGÍAS INNOVADORAS EN EL CAMINO HACIA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS FIRMES

**#JuevesdeFirmesATC**

Asociación Técnica de Carreteras

GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA  
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

AGENDA 2030

Más información: [www.atc-piarc.com](http://www.atc-piarc.com)

## Jornada Técnica Digital

# Recomendaciones para caracterizar el valor patrimonial de los puentes

11 de mayo 2021

¿Qué se entiende por valor patrimonial de los puentes? Cualquiera con sensibilidad detecta que un puente puede reunir, a un tiempo, el valor del uso, el de objeto arquitectónico (en sentido etimológico) y el de la obra de ingeniería (ouvrage d'art, obra de arte, dicen certeramente los franceses). Los maestros de la Lógica enseñan que una forma de apreciar las cosas es imaginar que se carece de ellas. Del cotidiano y aparentemente gratuito don que es el patrimonio construido, se puede pasar, en un tris (o poco a poco, con grandes dosis de desidia) a la pérdida de esa herencia, en sentido lato. Los casos recientes de colapsos de puentes son ejemplos de la acumulación súbita de reconocimientos y lamentos tardíos por lo perdido. Con cierta frecuencia constatamos también la desaparición de puentes por riadas, accidentes y la ilimitada estupidez humana concretada en las guerras, entre cuyas primeras víctimas están la verdad y los puentes, como dice el maestro Javier Rui-Wamba.

El sintagma “valor patrimonial” entraña algo de difuso, de inconcreto, incluso de enigmático. Por “valor” no entendemos aquí el económico. Afirmar que éste podría equivaler a lo que supondría construir un puente que sustituyese al analizado es simplificar groseramente la cuestión. En eso no hemos querido entrar. Es más, precisamente la detección de los valores no económicos es parte del leitmotiv del encargo que ha resuelto este grupo.

Aquí por “patrimonio” entendemos el conjunto de bienes que constituyen los puentes a lo largo de su vida con significados varios, tangibles o intangibles. Esta definición es una síntesis de las varias que da el DRAE pero que, cada una por sí misma, no acaba de encajar en el concepto poliédrico de puente. Ni siquiera el puente es un objeto aislado: forma parte inseparable de un camino, y éste de un territorio al que contribuye a vertebrar decisivamente. Por eso el puente es expresión del ser civilizado, que se asienta en un territorio y lo explota racionalmente. Es expresión de su dimensión social y cultural, faceta a menudo ignorada.



Este documento quiere ayudar a que las Administraciones, los profesionales y la sociedad en general valoren los puentes que usamos y gozamos. No ha sido fácil tarea. Ni siquiera hay solución única, cosa frecuente en ingeniería. Los integrantes de este grupo de trabajo, profesionales de formaciones diversas y de experiencias también distintas, hemos llegado a la conclusión de que este trabajo no podía

abordarlo una sola persona. Para que se utilicen los criterios que proponemos, que habrán de ser revisados periódicamente para depurarlos, la tarea había de abordarla un equipo variado, formado por personas de visiones diferentes y complementarias. Y ese grupo tenía que encuadrarse en la ATC.

En el grupo nos hemos limitado a enunciar el problema y a identificar un elenco de “valores” o de significados, si se prefiere, que puedan ayudar a enriquecer el valor completo de cada uno de los puentes. Los criterios que proponemos no son únicos, ni unívocos, ni están todos, pero constituyen, con suficiente nivel de detalle, una pauta sólida. Los significados que se destacan son revisables. También lo son los criterios con los que, en un alarde de arrojo, este grupo se atreve a cuantificar ese “valor completo”. La Historia demuestra que la percepción, la valoración y la relación del ser humano con lo construido han ido variando con el tiempo. Por lo tanto, es más que previsible que la cuantificación propuesta se vea modificada en el futuro. Sabemos que los puentes han sido, son y serán piezas indispensables en nuestra sociedad y, por tanto, merecedoras de un reconocimiento mayor que el que han recibido. En especial en estos tiempos de banalización y hasta de displicencia hacia lo construido, cuando se ven los puentes como mero objeto de consumo, de derecho adquirido, no de un logro del que los pueblos se sienten legítimamente orgullosos. ❖

Más información: [www.atc-piarc.com](http://www.atc-piarc.com)

## VI Premio SANDRO ROCCI para Jovenes Profesionales



La Asociación Técnica de Carreteras, Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera, convoca el VI Premio Sandro Rocci 2021 abierto a los jóvenes profesionales (nacidos posteriormente a 1986) que manifiesten un interés en el sector de la carretera y de los transportes.

La finalidad de este premio es promover la realización de trabajos

técnicos por los profesionales jóvenes que trabajen dentro del sector de la carretera en cualquiera de los campos de interés de la Asociación Técnica de Carreteras.

Tiene por objeto fomentar el interés y la especialización de las nuevas generaciones en el ámbito de la tecnología de carreteras, así como el desarrollo de nuevas ideas en esos campos. También se pretende incen-

tivar la participación de los jóvenes en las actividades de la Asociación Técnica de Carreteras.

Próximamente en nuestra web podrás descargar las bases del concurso. ❖

Más información:

[www.atc-piarc.com](http://www.atc-piarc.com)

### Anteriores ganadores del “Premio Sandro Rocci para Jovenes Profesionales”

2018- DAVID LLOPIS CASTELLÓ

“Calibración de la velocidad de operación inercial como medida sustitutoria de las expectativas de los conductores”

2016- JAIME ANTONA ANDRÉS

“Herramienta de detección precoz de anomalías en estaciones de toma de datos de tráfico”

2013-JAVIER MARTINEZ CAÑAMARES

“Recomendaciones para ampliación de tableros de puentes de fábrica mediante losa volada”

2011-JOSÉ MARÍA ZAMORA PÉREZ

“Conservación integral obras de drenaje transversal”

# Composición de la Junta Directiva de la ATC

<b>PRESIDENTE:</b>	- D. María del Rosario Cornejo Arribas
<b>CO-PRESIDENTES DE HONOR:</b>	- D. Francisco Javier Herrero Lizano - D. Pere Navarro Olivella
<b>VICEPRESIDENTES:</b>	- D.ª Mª del Carmen Picón Cabrera - D.ª María Consolación Pérez Esteban - D. Jorge Enrique Lucas Herranz
<b>TESORERO:</b>	- D. Pedro Gómez González
<b>SECRETARIO:</b>	- D. Pablo Sáez Villar
<b>DIRECTOR:</b>	- D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría



## VOCALES:

- Presidente Saliente:
  - D. Luis Alberto Solís Villa
- Designados por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana:
  - D.ª María Rosario Cornejo Arribas
  - D.ª María del Carmen Picón Cabrera
  - D.ª Ana Cristina Trifón Arevalo
  - D. Alfredo González González
  - D. Ángel García Garay
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
  - D.ª Ana Isabel Blanco Bergareche
  - D.ª Sonia Díaz de Corcuera Ruiz de Oña
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
  - D.ª María Consolación Pérez Esteban
  - D. Xavier Flores García
  - D. David Merino Rueda
  - D. Jesús Félix Puerta García
  - D. Carlos Estefanía Angulo
  - D. Juan Carlos Alonso Monge
- En representación de los órganos responsables de vialidad de los ayuntamientos
  - D.ª Margarita Torres Rodríguez
- Designados por los órganos de la Administración General del Estado con competencia en I+D+i:
  - D.ª Ana de Diego Villalón
  - D. Antonio Sánchez Trujillano
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
  - D. Félix Edmundo Pérez Jiménez
  - D. Manuel Romana García
- Representantes de las sociedades concesionarias de carreteras:
  - D. Bruno de la Fuente Bitaine
  - D. Antonio Belmonte Sánchez
- Representantes de las empresas de consultoría:
  - D. José Luis Mangas Panero
  - D. Juan Antonio Alba Ripoll
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
  - D. Jesús Díaz Minguela
  - D. Francisco José Lucas Ochoa
  - D. Sebastián de la Rica Castedo
  - D. Juan José Potti Cuervo
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
  - D. Jorge Enrique Lucas Herranz
  - D. José Luis Álvarez Poyatos
  - D. Camilo José Alcalá Sánchez
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
  - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados
  - D. Alonso Pérez Gómez
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
  - D. Alfredo García García
  - D.ª Anna París Madrona
  - D. Rafael Ángel Pérez Arenas
  - D. Enrique Soler Salcedo
- Entre los Socios de Honor:
  - D. Pedro Gómez González
  - D. Francisco Javier Criado Ballesteros

## Comités Técnicos de la ATC

### COMITÉ DE VIALIDAD INVERNAL

- Presidente D. Luis Azcue Rodríguez
- Secretaria D.ª Lola García Arévalo

### COMITÉ DE FINANCIACIÓN

- Presidente D. José Manuel Blanco Segarra

### PLANIFICACIÓN, DISEÑO Y TRÁFICO

- Presidente D. Fernando Pedraza Majarrez
- Secretario D. Javier Sáinz de los Terreros Goñi

### TÚNELES DE CARRETERAS

- Presidente D. Rafael López Guarga
- Vicepresidente D. Ignacio del Rey Llorente
- Secretario D. Juan Manuel Sanz Sacristán

### CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidente D. Vicente Vilanova Martínez-Falero
- Presidente Adjunto D. Pablo Sáez Villar
- Secretario

### FIRMES DE CARRETERAS

- Presidente D. Francisco Javier Payán de Tejada González
- Secretario D. Francisco José Lucas Ochoa

### DOTACIONES VIALES

- Presidente D. Carlos Azparren Calvo
- Secretario D. Emiliano Moreno López

### PUENTES DE CARRETERAS

- Presidente D. Álvaro Navareño Rojo
- Secretario D. Gonzalo Arias Hofman

### GEOTECNIA VIAL

- Presidente D. Álvaro Parrilla Alcaide
- Secretario D. Manuel Rodríguez Sánchez

### SEGURIDAD VIAL

- Presidente D. Roberto Llamas Rubio
- Secretaria D.ª Ana Arranz Cuenca

### CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE

- Presidente D. Antonio Sánchez Trujillano
- Secretaria D.ª Laura Crespo García

### CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

- Presidente D. Andrés Costa Hernández
- Secretaria D.ª María del Mar Colas Victoria

## Socios de la ATC

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

- **Socios de número:**
  - Socios de Honor
  - Socios de Mérito
  - Socios Protectores
- **Otros Socios:**
  - Socios Senior
  - Socios Júnior
- **Socios Colectivos**
- **Socios Individuales**

### Socios de Honor

2005 - D. ENRIQUE BALAGUER CAMPHUIS  
 2005 - D. ÁNGEL LACLETA MUÑOZ (†)  
 2008 - D. JOSÉ LUIS ELVIRA MUÑOZ  
 2008 - D. FRANCISCO CRIADO BALLESTEROS  
 2011 - D. SANDRO ROCCI BOCCALERI (†)  
 2011 - D. JOSÉ MARÍA MORERA BOSCH  
 2012 - D. LUIS ALBERTO SOLÍS VILLA  
 2012 - D. JORDI FOLLIA I ALSINA (†)  
 2012 - D. PEDRO D. GÓMEZ GONZÁLEZ  
 2015 - D. ROBERTO ALBEROLA GARCÍA  
 2019 - D. PABLO SÁEZ VILLAR  
 2020 - D.ª M.ª DEL CARMEN PICÓN CABRERA

### Socios de Mérito

2010 - D. FRANCISCO ACHUTEGUI VIADA  
 2010 - D. RAMÓN DEL CUVILLO JIMÉNEZ (†)  
 2011 - D. CARLOS OTEO MAZO (†)  
 2011 - D. ADOLFO GÜELL CANCELADA  
 2011 - D. ANTONIO MEDINA GIL  
 2012 - D. CARLOS DELGADO ALONSO-MARTIRENA  
 2012 - D. ALBERTO BARDESI ORUE-ECHEVARRIA  
 2013 - D. RAFAEL LÓPEZ GUARGA  
 2013 - D. ÁLVARO NAVAREÑO ROJO  
 2013 - D.ª MERCEDES AVIÑO BOLINCHES  
 2014 - D. FEDERICO FERNANDEZ ALONSO  
 2014 - D. JUSTO BORRAJO SEBASTIÁN  
 2014 - D. JESÚS RUBIO ALFÉREZ  
 2014 - D. JESÚS SANTAMARÍA ARIAS  
 2015 - D. ENRIQUE DAPENA GARCÍA  
 2015 - D. ROBERTO LLAMAS RUBIO  
 2015 - D. FÉLIX EDMUNDO PÉREZ JIMÉNEZ  
 2017 - D. VICENTE VILANOVA MARTÍNEZ-FALERO  
 2017 - D. ÁNGEL GARCÍA GARAY  
 2018 - D. LUIS AZCUE RODRÍGUEZ  
 2018 - D. FERNANDO PEDRAZO MAJÁRREZ  
 2019 - D. ÓSCAR GUTIÉRREZ-BOLIÍVAR ÁLVAREZ  
 2019 - D. ALFREDO GARCÍA GARCÍA  
 2020 - D. CARLOS CASAS NAGORE  
 2020 - D. ANDRÉS COSTA HERNANDEZ

### Socios Protectores y Socios Colectivos

#### Administración General del Estado

- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MITMA
- DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. MINISTERIO DEL INTERIOR
- SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. MITMA

#### Comunidades Autónomas

- COMUNIDAD DE MADRID
- GENERALITAT DE CATALUNYA
- GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA DE VIVIENDA, OBRAS PÚBLICAS Y VERTEBRACIÓN DEL TERRITORIO
- GOBIERNO DE ARAGÓN, DEPARTAMENTO DE VERTEBRACIÓN DEL TERRITORIO, MOVILIDAD Y VIVIENDA
- GOBIERNO DE CANARIAS
- GOBIERNO DE CANTABRIA
- GOBIERNO DE NAVARRA, DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO
- GOBIERNO VASCO
- GOBIERNO VASCO, DIRECCIÓN DE TRÁFICO
- JUNTA DE ANDALUCÍA
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
- JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA - LA MANCHA, CONSEJERÍA DE FOMENTO
- JUNTA DE EXTREMADURA, CONSEJERÍA DE MOVILIDAD, TRANSPORTE Y VIVIENDA, DIRECCIÓN GENERAL DE MOVILIDAD E INFRAESTRUCTURAS VIARIAS.
- PRINCIPADO DE ASTURIAS
- XUNTA DE GALICIA, CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE

#### Ayuntamientos

- AYUNTAMIENTO DE BARCELONA
- MADRID CALLE 30
- AREA METROPOLITANA DE BARCELONA

#### Diputaciones Forales, Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells

- EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE ÁLAVA
- EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE BARCELONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE GIRONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE TARRAGONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ÁVILA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE HUESCA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE LEÓN
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SALAMANCA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEGOVIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALLADOLID
- CABILDO INSULAR DE TENERIFE
- CONSELL DE MALLORCA, DIRECCIÓN INSULAR DE CARRETERAS

#### Colegios Profesionales y Centros de investigación y formación

- INSTITUTO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
- CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE, CEDEX
- ESCUELA DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DE BARCELONA, CÁTEDRA DE CAMINOS
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL

## Asociaciones

- AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN
- ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, ACEX
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASEMETRA
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ÁMBITO NACIONAL, SEOPAN
- ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS, ATEB
- FORO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE, ITS ESPAÑA
- FUNDACIÓN REAL AUTOMÓVIL CLUB DE CATALUÑA, RACC

## Sociedades Concesionarias

- ABERTIS AUTOPISTAS ESPAÑA, S.A.
- ACCIONA CONCESIONES, S.L.
- AUCALSA, AUTOPISTA CONCESIONARIA ASTUR - LEONESA, S.A.
- AUDENASA, AUTOPISTAS DE NAVARRA, S.A.
- AUTOPISTAS DEL ATLANTICO, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S.A.
- CEDINSA CONCESIONARIA, S.A.
- CONCESIONARIA VIAL ANDINA, S.A.S. (COVIANDINA)
- SACYR CONCESIONES, S.L.
- TÚNEL D'ENVALIRA, S.A.

## Empresas

- 3M ESPAÑA, S.L.
- A. BIANCHINI INGENIERO, S.A.
- ABALDO COMPAÑIA GENERAL DE CONSTRUCCIÓN, S.A.
- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- ACEINSA MOVILIDAD, S.A.
- AECOM INOCSA, S.L.U.
- A.E.R.C.O., S. A. SUCURSAL EN ESPAÑA
- AERONAVAL DE CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES, S.A. (ACIAS)
- AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
- ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
- ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
- ALVAC, S.A.
- AMIANTIT ESPAÑA S.A.U.
- API MOVILIDAD, S.A.
- APPLUS NORCONTROL S.L.
- ARCS ESTUDIOS Y SERVICIOS TÉCNICOS, S.L.
- ASFALTOS Y PAVIMENTOS, S.A.
- AUDECA, S.L.U.
- BARNICES VALENTINE, S.A.U.
- BECSA, S.A.U.
- BENITO ARNÓ E HIJOS, S.A.U.
- BETAZUL, S.A.
- CAMPEZO OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.
- CEPESA COMERCIAL PETROLEO, S.A.
- CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- CINTRA SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- COMSA INSTALACIONES Y SISTEMAS INDUSTRIALES, S.L.U.
- CONSERVACIÓN INTEGRAL VIARIA, S.L. (CONSVIA)
- CONSTRUCCIONES MAYGAR, S.L.
- CONSTRUCCIONES SARRIÓN, S.L.
- CORSAN - CORVIAM, CONSTRUCCIÓN, S.A.
- CPS INFRAESTRUCTURAS MOVILIDAD Y MEDIOAMBIENTE, S.L.
- CYOPSA - SISOCIA, S.A.
- DILUS, INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS, S.A.
- DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
- DRAGADOS, S.A.
- DRIZORO, S.A.U.
- EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS GESTIÓN Y DESARROLLO, S.L.
- ELSAMEX GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.L.
- EMPRESA DE MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LA M-30, S.A. (EMESA)
- ESTEYCO, S.A.
- ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.
- ESTRUCTURAS TÉCNICAS Y SERVICIOS DE REHABILITACIÓN, S.L. (ETYSER)
- FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.
- FCC INDUSTRIAL E INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS, S.A.U.
- FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
- FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
- FIBERTEX ELEPHANT ESPAÑA, S.L. SOCIEDAD UNIPERSONAL
- FREYSSINET, S.A.
- GEOCONTROL, S.A.
- GEOTECNIA Y CIMIENTOS, S.A. (GEOCISA)
- GIRDER INGENIEROS, S.L.P.
- GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
- HIDRODEMOLICIÓN, S.A.
- HUESKER GEOSINTÉTICOS, S.A.
- IDEAM, S.A.
- IDOM CONSULTING, ENGINEERING, ARCHITECTURE, S.A.U.
- IKUSI, S.L.U.
- IMPLASER 99, S.L.L.
- INCOPE CONSULTORES, S.L.
- INDRA SISTEMAS, S.A.
- INECO, INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A.
- INES INGENIEROS CONSULTORES, S.L.
- INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A. (INECO)
- INGENIERÍA ESPECIALIZADA OBRA CIVIL E INDUSTRIA S.A.
- INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
- INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
- KAO CORPORATION, S.A.
- KAPSCH TRAFFICOM TRANSPORTATION S.A.U.
- KELLER CIMENTACIONES S.L.U.
- LANTANIA, S.A.U.
- LGAI TECHNOLOGICAL CENTER, S.A.
- LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.
- MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- MASTER BUILDERS SOLUTIONS ESPAÑA, S.L.U.
- OBRAS HERGÓN, S.A.U.
- ORION REPARACION ESTRUCTURAL, S.L.
- ORYX OBRAS Y SERVICIOS, S.L.
- PADECASA OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
- PAVIMENTOS BARCELONA, S.A. (PABASA)
- PINTURAS HEMPEL, S.A.U.
- PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.
- PROES CONSULTORES, S.A.
- PROINTEC, S.A.
- PUENTES Y CALZADAS INFRAESTRUCTURAS, S.L.U.
- RAUROSZM.COM, S.L.
- REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.
- RETINEO, S.L.
- SACYR CONSERVACIÓN, S.A.
- SACYR CONSTRUCCION, S.A.
- S.A. DE GESTIÓN DE SERVICIOS Y CONSERVACIÓN (GESECO)
- S.A. DE OBRAS Y SERVICIOS (COPASA)
- SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.
- SEÑALIZACIONES VILLAR, S.A.
- SERBITZU ELKARTEA, S.L.
- SISTEMAS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S.A.
- SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)
- SGS TECNOS, S.A.
- SORIGUE, S.A.
- TALHER, S.A.
- TALLERES ZITRÓN, S.A.
- TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPSA)
- TECNIVIAL, S.A.
- TEKIA INGENIEROS, S.A.
- TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.
- TPF GETINSA EUROESTUDIOS, S.L.
- TRABAJOS BITUMINOSOS, S. L.
- ULMA C Y E, SOCIEDAD COOPERATIVA
- VSING INNOVA 2016, S.L.
- ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

## Socios Individuales, Senior y Junior

Personas físicas (61) técnicos especialistas de las administraciones públicas; del ámbito universitario; de empresas de ingeniería, construcción, conservación, de suministros y de servicios; de centros de investigación; usuarios de la carretera y de otros campos relacionados con la carretera. Todos ellos actuando en su propio nombre y derecho.



**RUTAS**  
REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 186  
ENERO - MARZO  
2020  
ISSN 1130-7002  
Revista Técnica

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



Si quiere suscribirse por un año a la revista **RUTAS**, en su edición impresa, cuyo importe es de 60,10 € para socios de la ATC y 66,11 € para no socios (+ I.V.A. respectivamente) rellene sus datos en el formulario de abajo y envíelo por correo postal a la sede de la Asociación:

**C/ Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha. 28010 Madrid.**

Si quiere anunciarse en **RUTAS** póngase en contacto con nosotros:  
**Tel.: 91 308 23 18    info@atc-piarc.com    www.atc-piarc.com**

La revista **RUTAS** ofrece la posibilidad de publicar aquellos trabajos o artículos del sector de las carreteras que resulten de interés.

Los artículos deberán enviarse por correo electrónico a la dirección **info@atc-piarc.org**

El Comité Editorial de la revista **RUTAS** se reserva el derecho de seleccionar dichos artículos y de decidir cuáles se publican en cada número.

## PORTADA RUTAS:

Si quiere que una imagen o fotografía aparezca como portada de la revista **RUTAS**, consultar en **info@atc-piarc.com**



[www.atc-piarc.com/rutas](http://www.atc-piarc.com/rutas)

Forma de pago:

Domiciliación bancaria CCC nº \_\_\_\_\_

Transferencia al numero de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa  NIF

Dirección  Teléfono

Ciudad  C.P.  e-mail

Provincia  País

Fecha  Firma



# SÚMATE AL PROYECTO ONGAWA

TECNOLOGÍA / AGUA / PARTICIPACIÓN / TIC /  
VOLUNTARIADO / ENERGÍA / AGRO / SOCIOS

Tfno.: (+34) 91 590 01 90  
info@ongawa.org  
www.ongawa.org

Antes:



ONGAWA es una asociación declarada de Utilidad Pública. Las cuentas de ONGAWA son auditadas anualmente por BDO Auditoría. ONGAWA cumple todos los Principios de Transparencia y Buenas Prácticas de la Fundación Lealtad. ONGAWA recibió, en 2005, la certificación ante la AECID como ONGD Calificada en el sector Tecnología.



# Innovar está en nuestros genes

En Repsol, la innovación forma parte de nuestra esencia.

Trabajamos para proporcionar a la sociedad las mejores **infraestructuras con respeto al medio ambiente**. Por eso, aplicamos todo nuestro potencial innovador en desarrollar **soluciones verdes** en la industria del asfalto.



[Repsol.com](https://www.repsol.com)

