

## **RUTAS TÉCNICA**

**Negociación de actuaciones en zonas conflictivas**

**Las clasificaciones funcionales de carreteras.  
Propuesta para la red de España**

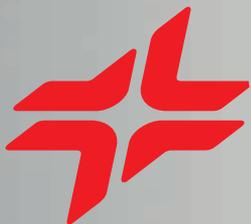
**Mezclas bituminosas semicalientes producidas a  
temperaturas inferiores a 120 °C. Proyecto ASFALTMIN**

## **PIARC**

**XVI Congreso Mundial de Vialidad Invernal y  
Resiliencia de la Carretera. CALGARY 2022**

## **CULTURA Y CARRETERA**

**La métrica de los puentes**



# DESCUBRE LA GAMA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Gracias a las **mejoras en la 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  
Otros riegos auxiliares  
Microaglomerados y Lechadas  
Mezclas templadas

Riegos de adherencia termoadherente  
Tratamientos superficiales con gravilla  
Mezclas bituminosas en frío  
Reciclados con emulsión

**CEPSA**

*Tu mundo, más eficiente.*

## Tribuna Abierta

### 03 Nuevos tiempos, nuevos retos

Antonio Sánchez Trujillano

## Rutas Técnica

### 05 Negociación de actuaciones en zonas conflictivas

*How to agree on actions in conflict zones*

Jesús Rubio Alférez

### 10 Las clasificaciones funcionales de carreteras. Propuesta para la red de España

*The functional classifications of roads. Proposal for the Spanish network.*

Juan Luis Rubio Martín y Pedro Tomás Martínez

### 20 Mezclas bituminosas semicalientes producidas a temperaturas inferiores a 120 °C. Proyecto ASFALTMIN

*Warm Mix Asphalt at production temperatures below 120 °C. ASFALTMIN project*

Jorge Ortiz Ripoll, Xavier Crisén Grau y Julia Giralt Lladanosa

## PIARC

### 31 XVI Congreso Mundial de Vialidad Invernal y Resiliencia de la Carretera. CALGARY 2022

### 35 Incremento de la resiliencia de las obras de tierra de las carreteras del Estado en el Norte de España. Lecciones aprendidas en el periodo 2011-2018

Felipe Collazos Arias, Laura Parra-Ruiz y Mónica Laura Alonso Plá

### 44 Acondicionamiento de cauce en el paso de la carretera N-232 sobre el Barranco de Molinás en Xert (España)

Alvaro Parrilla Alcaide, Jeronimo Vicente Dueñas y Vicente Ferrer Pérez

### 52 Problemática de las sales fundentes en la corrosión de armaduras en tableros de puentes y afección a los postesados

Noemi Corral Moraleda y Tomas Ripa

### 62 Reunión en Sevilla del Comité Técnico 1.1 de PIARC

## Cultura y Carretera

### 68 La métrica de los puentes

Eduardo Toba Blanco

## Actividades del Sector

### 76 Jornada sobre Normativa Estructural y Geotécnica en los proyectos de la DGC

### 80 Cómic con Caminos 2022

## ATC

### 84 Jornada sobre Seguridad en las Operaciones de Conservación de Carreteras

### 88 Próximos eventos ATC

### 93 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
José Manuel Blanco Segarra	Presidente del CT de Financiación
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
Carlos Azparren Calvo	Presidente del CT de Dotaciones Viales

**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 190 ENERO - MARZO 2022

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

**Fotografía de portada:**

Kerstin Herrmann (Khfalk / Pixabay)

## NUEVOS TIEMPOS, NUEVOS RETOS

**Antonio Sánchez Trujillano**

*Director del Centro de Estudios del Transporte (CEDEX)*

Leo con cierta sorpresa en artículos de revistas especializadas en el ámbito de la ingeniería, y más concretamente, de la ingeniería civil, comentarios sobre exigencias presuntamente inoportunas, cuando no carentes de sentido o sencillamente disparatadas, señaladas en los procesos de evaluación de impacto ambiental a proyectos de infraestructuras de transporte terrestre, particularmente en el caso de proyectos de carreteras.

Y, por lo general, la argumentación de tales opiniones, aparte de expresar la inutilidad de tales determinaciones concluye en señalar el encarecimiento de la actuación que representa la adopción de tales medidas, obviamente y a juicio de sus autores, un encarecimiento injustificado.

Y decía que leo con sorpresa contenidos de dicha índole aunque he de reconocer que lo que verdaderamente me causa la sorpresa que intento expresar es constatar que dichas comunicaciones, artículos u opiniones sean recientes, esto es, no se remontan a hace más de tres décadas en que al entrar en vigor una normativa de evaluación ambiental de proyectos procedente de la transposición y adaptación al derecho interno español de la normativa procedente de la entonces denominada Comunidad Económica Europea, surgieron numerosos comentarios de ese tono procedentes de los muy diversos ámbitos de las ingenierías a las que en cumplimiento de directivas vigentes se veían en la obligación de incorporar nuevos contenidos a los proyectos que constituían sus respectivas especialidades.

Hasta entonces, los aspectos ambientales de la actividad humana así como los efectos de determinados tipos

de proyectos en el medio, entendiéndose como tal el conocimiento y la valoración de sus posibles afecciones sobre el suelo, las aguas, la atmósfera, la flora, la fauna, el paisaje, etc., no formaban parte de los contenidos habituales de estos, por lo que la irrupción de ciertas obligaciones, obligaciones nuevas y de obligado cumplimiento, derivadas de la consideración de su afección al medio ambiente no fue recibida de buen grado por parte de algunos profesionales, que lo veían como un nuevo obstáculo que había que salvar o como una injerencia y una intromisión de otros actores en su actividad tradicional y en todo caso la imposición de unos contenidos atípicos, cuando no absurdos, en lo que habían venido siendo los tradicionales de sus respectivos proyectos.

A efectos de aplicar estas nuevas exigencias normativas y organizar la manera de garantizar la consideración de estos contenidos en los proyectos el legislador optó porque fuera otra administración diferente de aquella que contaba con las competencias hasta entonces exclusivas para la aprobación de los proyectos, la denominada autoridad sustantiva, quien evaluara los estudios de impacto ambiental y formulara un pronunciamiento que se concretaba en el señalamiento de medidas que hasta entonces no habían formado parte en modo alguno de dichos proyectos, medidas que se llamaron preventivas, correctoras, compensatorias, etc., en atención a los impactos que pretendían evitar, reducir, compensar, etc.

Esta autoridad así creada para llevar a cabo dichas evaluaciones y formular las declaraciones de impacto ambiental se llamó autoridad de medio ambiente, dejando bien claro la mencionada nor-

mativa que ambas administraciones, sustantiva y medioambiental, habían de pertenecer a la misma administración, con el fin de que se pudieran debatir y dirimir en términos de igualdad las posibles discrepancias que pudieran surgir de la aplicación de los requerimientos de las declaraciones de impacto ambiental.

Podría haberse planteado y resuelto de otro modo la manera de incorporar estos nuevos contenidos a los proyectos, como podría ser que los aspectos medioambientales y su consideración estuvieran atendidos y resueltos por la misma autoridad que ya contaba con las competencias para la aprobación o autorización del proyecto, pero se adoptó esta otra solución, al parecer, con objeto de que estos aspectos ambientales se incluyeran en los proyectos en un tiempo menor que si ambas competencias recayeran en una misma autoridad, y vencer así la previsible inercia de seguir haciendo lo de siempre y como consecuencia dejar desatendida esta nueva obligación.

O posiblemente, ante la eventualidad de que estas nuevas exigencias quedaran ninguneadas de no ser por el hecho de que su cumplimiento resultara exigido por un órgano de la propia administración creado expresamente con atribuciones para ello, se optó, igual que en otros muchos países, por esta bicefalía de autoridades con competencias en la autorización de estos proyectos.

Es obvio que estos nuevos requerimientos conferían cierta complejidad adicional a la elaboración de los proyectos, y a su tramitación, y se puede admitir que una parte de los conocimientos necesarios para dar respuesta a los mismos podía no formar parte del acervo de conocimientos tradicionales de los

proyectistas de actuaciones sujetas a este trámite, aunque nada impedía que tales conocimientos fueran adquiridos por ellos sin un esfuerzo perfectamente asumible y en todo caso menor que el necesario para definir los contenidos que hasta entonces habían venido formando parte de estos documentos.

Tampoco hubo en ningún momento impedimento alguno para que los profesionales facultados por la legislación para redactar estos documentos formaran parte de los equipos de evaluación ambiental correspondientes y formularan las observaciones que en cada caso procediesen.

Incluso, la disparidad o diferencia de criterios entre los representantes de la administración sustantiva y la de medio ambiente estaba resuelta en dicha legislación a través de un proceso de diálogo, toda vez que la alternativa, esto es la interposición de recursos entre entes pertenecientes a la misma administración hubiera resultado un contrasentido.

En cuanto al tiempo requerido por la administración correspondiente para llevar a cabo estos procesos de evaluación, dependían en primer lugar de la calidad de los documentos sometidos a evaluación, y por supuesto, de la complejidad de aquello que se había de evaluar, así como de los medios humanos para llevarlo a cabo, que siempre se dijo que fueron exageradamente escasos, y de ahí que algunos de esos procesos se alargasen en el tiempo hasta el punto de perder la oportunidad de tener terminadas las obras de ejecución dentro del plazo en que se había previsto su entrada en servicio.

El ordenamiento jurídico es jerárquico y esta normativa se incorporó automáticamente al ordenamiento español como consecuencia de la adhesión de España a la entonces Comunidad Económica Europea, bien entendido que en otros países del mundo ya se venían aplicando desde bastantes años atrás procedimientos de este carácter para encontrar el modo de integrar actuaciones, en este caso de construcción de nuevas infraestructuras de transporte terrestre, en un medio sensible a su presencia, incluso vulnerable, hasta el punto de que este tipo de normas se

han ido haciendo más exigentes con el transcurso del tiempo porque la capacidad del medio para absorber los impactos, evidentemente, va siendo en cada momento más limitada.

Y comentaba al inicio de estas líneas que las varias décadas transcurridas desde que entraron en vigor estos preceptos habían dado lugar a que estuvieran ya asumidos por los proyectistas de carreteras tanto, en sus propios conocimientos como en los de otras personas realmente integradas en sus equipos de trabajo, porque de lo contrario hemos ido viendo cómo una parte de nuestros proyectos, tanto en su etapa de elaboración como en su evaluación pasaban a formar parte del cometido de otros profesionales y a cuenta de ello hemos dejado sin atender, bien por comodidad o bien por una cierta irresponsabilidad, una parte de nuestros proyectos que en algunos casos ha adquirido tanta o más importancia social, económica o estratégica, que la parte sustantiva de ellos, la que nosotros y solo nosotros hemos considerado esencial, y todo ello a costa de que otros profesionales hayan incorporado exigencias y determinaciones que no hemos querido entender, de las que no nos hemos molestado en intentar conocer su objeto y su finalidad, y sencillamente, nos dedicamos después a criticar expresando su banalidad y llegado el caso, el coste económico que representan.

Esto ocurrió hace ya muchos años y de ahí que me sorprenda estar hoy escribiendo acerca de ello, pero lo hago porque lo que verdaderamente me preocupa es que haya retomado actualidad puesto que se da la circunstancia de que en estos momentos se está planteando un escenario que ofrece una cierta semejanza con aquél.

Las carreteras de hoy son esencialmente las mismas que las de antaño por la función y el servicio que deben ofrecer a la sociedad pero al mismo tiempo muy diferentes de aquéllas, y no quiero decir con ello que los conocimientos para su diseño, construcción explotación y conservación no sigan siendo válidos sino que de nuevo se pide a los profesionales de cada uno de esos campos dar un paso más e incorporar las nuevas tecnologías en su actividad cotidiana.

Las telecomunicaciones y los avances técnicos y tecnológicos exigen a la carretera nuevas prestaciones a un ritmo imparables, la sensorización de sus elementos estructurales, funcionales y relativos a la seguridad y confort de sus usuarios, la respuesta a los cambios derivados de la irrupción del vehículo autónomo en sus diferentes modalidades, el vehículo conectado, la economía circular aplicada a los materiales empleados en la construcción y mantenimiento de carreteras, la descarbonización, la resiliencia frente al cambio climático y otras muchas variables han irrumpido con fuerza y de manera irreversible en la carretera y no debemos volver a entender que por tratarse de banalidades coyunturales hemos de desatenderlas y dejar que otros lo hagan, porque no me cabe duda de que si no lo hacemos quienes hemos desarrollado una actividad profesional al servicio de la carretera con los medios con los que en cada momento hemos podido disponer, lo harán otros y lo harán más o menos bien y más o menos a nuestro gusto, pero si abandonamos de entrada ese campo por entender que es ajeno a nuestra actividad nos veremos de nuevo criticando lo mal que otros lo están haciendo o lo han hecho, cuando la auténtica desgracia es que nos hayamos inhibido de asumir esas nuevas obligaciones que nunca dejaron de ser nuestras.

No nos quedemos otra vez resolviendo un trazado, un dimensionamiento de elementos estructurales y unas condiciones de seguridad vial perfectos al tiempo que perdemos todo protagonismo en incorporar otros requisitos sobre los que no me quiero pronunciar si son de mayor o menor entidad pero que la sociedad de este momento y la normativa nos obliga a incorporarlos y no desearía que los nuevos profesionales de este oficio, la ingeniería civil, una ingeniería de servicio a la sociedad como casi ninguna otra, quedáramos relegados por voluntad propia a contenidos que dieron a la profesión el relieve que en otros tiempos tuvo pero que ahora con muchos más medios y con muchas exigencias nuevas nos pide la sociedad que elaboremos documentos mucho más completos, mucho más complejos, y ante todo, que den la respuesta más satisfactoria posible al conjunto de problemas para los que se elaboran. ❖

# Negociaci3n de actuaciones en zonas conflictivas



## How to agree on actions in conflict zones

**Jes3s Rubio Alf3rez**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*

Revisado por el Comit3 T3cnico de Planificaci3n, Dise1o y Tr3fico de la Asociaci3n T3cnica de Carreteras

La Direcci3n General de Carreteras del Estado (DGC) tiene una larga experiencia en gestionar proyectos en zonas ambientalmente valiosas. En algunos de estos casos se ha producido una contestaci3n popular contra la ejecuci3n de un proyecto por considerarlo inicialmente inadmisibile.

Tambi3n estos casos hay que abordarlos, evitando los planteamientos simples, que son atractivos en la contienda pol3tica pero generan enfrentamientos maniqueos que dificultan solucionar los problemas complejos.

Los t3cnicos podemos aportar una metodolog3a eficaz para enfrentar estas situaciones. Se trata de estructurar la informaci3n para que sea clara, comprensible, completa y fiable. Hay que plantear todas las alternativas necesarias, valorar las ventajas ambientales, funcionales, econ3micas y socioecon3micas, as3 como los inconvenientes de cada una de ellas, y presentarlas para que puedan ser discutidas en una participaci3n p3blica e institucional.

El proceso debe ser abierto en muchos sentidos, sobre todo en cuanto a no suponer de antemano cu3l es la soluci3n. Normalmente un acuerdo exigir3 modificar alguna de las alternativas iniciales, de manera que su afecci3n al medio sea asumible por parte de las administraciones responsables. Es muy importante incluir en el acuerdo el seguimiento y control adecuados que garanticen su cumplimiento.

El presente art3culo recoge algunos de los casos que han surgido en las 3ltimas d3cadas que pueden aportar elementos para la reflexi3n en los conflictos actuales.

The General Directorate of State Roads of Spain (DGC) has long experience in managing projects in environmentally valuable areas. In some of these cases, there has been a popular response against the execution of a project, considering it initially inadmissible.

These cases must also be addressed, avoiding simple approaches, which are attractive in the political contest but generate manichean confrontations that make it difficult to solve complex problems.

Technicians can provide an effective methodology to face these situations. Structuring the information so that it is clear, understandable, complete and reliable is the main point. All the necessary alternatives must be proposed, the environmental, functional, economic and socioeconomic advantages and disadvantages of each of them must be assessed, and they must be presented so that they can be discussed in public and institutional participation.

The process must be open in many ways, especially in terms of not assuming in advance what the solution is. Normally, an agreement will require modifying some of the initial alternatives, so that their impact on the environment is acceptable to the responsible administrations. It is very important to include adequate monitoring and control in the agreement to ensure compliance.

This article collects some of the cases that have arisen in recent decades that can provide elements for reflection on current conflicts.

## Introducción

Uno de los problemas graves que plantea la gestión de infraestructuras es la actuación en zonas ambientalmente sensibles y valiosas. El enfrentamiento con motivo del Plan de ampliación del aeropuerto del Prat en Barcelona es un ejemplo reciente.

La Dirección General de Carreteras del Estado (DGC) tiene una dilatada experiencia, porque el desarrollo de las actuales autovías supuso resolver este tipo de conflictos en muy distintas ubicaciones. De esos procesos y sus diferentes resultados se pueden extraer conclusiones aplicables actualmente..



## Ante las formulaciones simples

Los argumentos siempre son ecológicos aunque existan intereses económicos vinculados a la protesta. Su formulación suele ser sencilla: "Contra la autovía correspondiente", junto a un mensaje positivo del tipo "Salvemos la tierra". Esto último es algo incontestable, nadie puede querer condenar la tierra o una de sus parcelas valiosas, por lo que los políticos locales normalmente se ven en la obligación de sumarse activamente a la protesta en esos términos, si no quieren salir mal parados en su imagen pública. Lo hacen incluso en contra de los intereses económicos del municipio por el beneficio que el proyecto reporta.

Tengo la experiencia directa de un Ayuntamiento que había acordado en Pleno municipal asumir la negativa a la autovía Abrera - Sant Celoni, conocida también como el Cuarto Cinturón de Barcelona. Cuando se atendió su petición y no se prosiguió con el proyecto en ese tramo, su Concejal de Urbanismo pidió verbalmente que s  se hiciera la autovía en su municipio, argumentando que políticamente no habían podido hacer otra cosa que oponerse, pero que en realidad no podían quedarse al margen mientras municipios cercanos se iban a beneficiar de la futura autovía. Había supuesto que la negativa al proyecto les daría fuerza para negociar una solución, además de una popularidad incontestable y no había contemplado la posibilidad de que su petición fuese atendida.

La citada autovía fue muy contestada desde Terrassa a Sant Celoni por transcurrir por zonas ambientalmente valiosas, especialmente en El Vall s. La solución aprobada en el estudio fue proseguir con el proyecto del primer tramo Abrera - Terrassa y desistir de actuar en el resto.

En un determinado momento en el cual parecía claro que esta alternativa sería la seleccionada, pero todavía no se había resuelto el expediente de información pública, un grupo de 10 personas hicimos una visita al terreno. En la visita se produjo una anécdota que sigo recordando con una sonrisa y que me hizo reflexionar acerca de cómo gestionar la información que se expone públicamente en situaciones de conflicto enquistado.

Habíamos parado en El Vall s y escuchábamos las explicaciones sobre sus valores ambientales cuando se acercó un cocinero alto, robusto, con un gorro que lo hacía todavía más imponente. Se dirigió al grupo preguntando quién era el responsable y cuando le dije que era yo me dijo solo dos palabras:

- Tendremos guerra.

Yo, después de mirarle le contest :

-  Es usted el dueño del restaurante que estamos viendo?

- S  - me dijo - y miembro de la plataforma anti autovía.

- No le digo ni que s  ni que no a lo de la guerra, pero le propongo una cosa que solemos hacer en el trabajo cuando no estamos de acuerdo en algo: cuente los que somos.

Mir  al grupo algo extrañado y yo continuó:

- En el momento que yo elija, iremos todos a su restaurante a comer. Cuando terminemos, si usted considera que no ha habido guerra, nos invita. En caso contrario me pasa la factura y yo se la pagar  sin argumentarle absolutamente nada.

- Usted sabe algo -, me dijo cambiando el tono inicial bronco por otro de curiosidad.

- Sí, claro. Si no, no le plantearía lo que le he dicho.

A partir de ese momento la conversación, breve, consistió en explicarle que los estudios informativos eran eso, estudios para ver qué alternativas podrían plantearse, cuáles eran viables y valorar las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, contemplando siempre la opción cero, que consiste en dejar las cosas como están.

  insistió en que mantendrían la plataforma de protesta hasta que hubiese una resolución definitiva y todo el grupo estuvimos de acuerdo en que era lógico, porque una conversación casual no es una resolución firme. Yo le pedí paciencia y que entendiera que los trámites necesitaban un tiempo.

Cuando se dio la vuelta para irse le solicite que me contestase a lo que le había planteado al principio y me dijo que éramos muchos, pero que si

las cosas terminaban como yo dec3a tendr3a mucho gusto en invitarnos a dos comensales. Aunque me hubiese gustado hacerlo, m3s por escuchar su opini3n cuando todo se resolvi3 como ped3an, que por la invitaci3n, nunca le cobr3 la apuesta.

3ste es uno de los casos en los que la gesti3n adecuada permiti3 terminar sin guerra, aunque durante muchos meses todos los fines de semana mantuvieron barbacoas y manifestaciones en contra de la autov3a.

En Castell3n las opciones para realizar la circunvalaci3n por el este o por el oeste generaron una gran pol3mica porque sus efectos y afecciones eran muy diferentes. La alternativa que permit3a un acceso m3s directo al puerto g3nero un rechazo popular por su efecto barrera entre Castell3n y el Grao. Los intereses del puerto y los de los industriales no coincid3an y mediante la colaboraci3n con el Ayuntamiento, que dispuso de locales para que la informaci3n llegara a todo el mundo de manera clara y c3moda y que la presentaci3n de alegaciones fuese muy asequible, se consigui3 una participaci3n masiva, incluyendo una alegaci3n del Obispado. Los distintos intereses se tradujeron en alternativas viables y se lleg3 a un consenso.

### Siempre es una cuesti3n de intereses enfrentados, pero no siempre se llega a un consenso

En el estudio de la mejora de los accesos al puerto del Musel en Gij3n, los vecinos del barrio directamente afectado se pusieron en pie de guerra y sabemos c3mo se las gastan los asturianos cuando reivindican el respeto a su tierra. Pasaron bastantes a3os hasta que el Ayuntamiento asumi3 la necesidad de no estrangular la actividad del puerto, los vecinos aceptaron las medidas compensatorias y se pudo realizar un nuevo acceso.

En Pontevedra, ciudad que ahora es un referente en lo que se refiere a la gesti3n de movilidad, pero que en el momento del desencuentro era simplemente una alcald3a que estaba en las ant3podas pol3ticas del gobierno central, era dif3cil el encuentro porque ninguno de los dos m3ximos responsables quer3an que se les pudiera sacar una foto juntos y tampoco quer3an aparecer ante la opini3n p3blica haciendo concesiones a su adversario pol3tico.

A pesar de ese ambiente de desconfianza absoluta se consigui3 llegar al acuerdo de hacer un estudio sobre la movilidad comarcal a partir del cual cada uno podr3a plantear el tratamiento que estimase m3s oportuno. El alcalde, m3dico, admiti3 la "radiograf3a" como elemento positivo y facilit3 que la polic3a municipal participase en la realizaci3n de encuestas, como parte del estudio llevado a cabo por la DGC. Un tiempo despu3s se solvent3 la tensi3n inicial y se lleg3 a un acuerdo.

Siguiendo en Galicia, el estudio del acceso al puerto exterior de Ferrol inaugur3 un procedimiento ambiental que contempl3 los impactos acumulados y sin3rgicos en agua y en tierra por el puerto y por la carretera de acceso, en una zona de alt3simo valor ambiental, en la cual tambi3n se supo plantear una actuaci3n asumible que permiti3 desbloquear los fondos europeos asignados, paralizados hasta que no se resolviese la denuncia ambiental.



En Madrid, la afeci3n a una zona de especial protecci3n para las aves (ZEPA) en la cual habitaba el cern3calo primilla, (*falco naumanni*) se resolvi3 con medidas correctoras, paliativas y compensatorias de tal manera que el Reino de Espa3a fue felicitado por las autoridades europeas receptoras de las denuncias. La soluci3n acordada garantizaba la protecci3n, el seguimiento y la mejora del h3bitat de las especies en peligro de extinci3n que justificaban la protecci3n de la zona. Una consulta a la p3gina de la Sociedad Espa3ola de Ornitolog3a (SEO/Birdlife) permite afirmar que el m3s peque3o de nuestros halcones se encuentra ahora fuera del peligro de extinci3n, con la situaci3n de la especie estabilizada.

Las famosas mariposas de El Regajal en Aranjuez son indicadoras de la riqueza biol3gica de una zona singular, por su combinaci3n de clima mediterr3neo, continental y des3rtico. La protecci3n de su h3bitat exigi3 unas medidas completamente diferentes de las que se tomaban en caso de las aves. En un principio se consideraron por parte de la administraci3n responsable del medio ambiente medidas protectoras habituales para las aves que no eran adecuadas para El Regajal. Hizo falta la intervenci3n de uno de los mejores expertos entom3logos del pa3s para establecer las medidas que garantizasen que la afeci3n al h3bitat a proteger era asumible. Consistieron b3sicamente en mantener las especies vegetales existentes, elevar la carretera sobre el terreno y evitar el deslumbramiento de las mariposas nocturnas, que son las que permiten el intercambio gen3tico tan valioso.

### El peri3dico del afectado

Basta buscar en internet "contra la autov3a", para encontrar ejemplos actuales en muchas administraciones en



los cuales los afectados exigen paralizar las actuaciones, unas veces por el medio ambiente y otras porque las protestas pueden elevar los costes de las expropiaciones. Son situaciones que la DGC ha enfrentado de diversas maneras, procurando que la falta de información no fuese un inconveniente añadido.

Existe un consenso entre los expertos acerca de la forma de la curva al representar gráficamente la intensidad de las protestas en función de la información que el público recibe. Si no percibe información clara, no sólo los directamente afectados, sino los ciudadanos que consideran que esa falta de transparencia es inadmisibles, elevarán sus protestas de forma exponencial en un momento dado. Por el contrario, si la información es completa y veraz, habrá grupos que se consideren muy perjudicados, pero no se le sumará ese otro grupo de ciudadanos indignados y la protesta tenderá a estabilizarse y a formularse por escrito en forma de alegaciones.

La experiencia en Lleida con el periódico "la Terra Ferma", publicado en 1992 para informar a los afectados de la variante proyectada, fue altamente positiva en este sentido. El teléfono del afectado que figura en portada fue un servicio añadido a la información convencional de las informaciones públi-

cas, que incluían trípticos divulgativos, resúmenes y planos esquemáticos, fáciles de entender y en algún caso maquetas.

### ¿Qué podemos aprender de las experiencias pasadas para evitar confrontamientos irresolubles?

En primer lugar podemos decir que un enfrentamiento con un lema del tipo "Salvemos la tierra", que implícitamente incluye "de los depredadores insaciables que hacen prevalecer sus intereses sobre la salud global del planeta", es difícil de resolver en esos términos maniqueos. Para evitarlo hay que plantear alternativas sin ninguna cortapisa inicial.

Si alguien con responsabilidades ambientales plantea, como ocurrió en Zaragoza, que conviene derribar una fila de edificios residenciales para mejorar el medio ambiente, se hace, eso sí, indicando claramente quién es el promotor de la alternativa. Poner un espejo que refleje las afirmaciones tajantes hace que en ocasiones sus promotores rectifiquen inmediatamente para no ver sus ocurrencias reflejadas en un documento que se hará público.

En segundo lugar, no se debe empezar por la solución. Hay que

comenzar planteando todas las alternativas posibles, indicando las ventajas e inconvenientes de las viables y el porqué de las inviables. Eso hace que pueda abrirse un periodo de participación pública e institucional en el que lógicamente cada uno pueda tirar para su lado.

Si se llega a un equilibrio y las tensiones generan, como al sujetar una tienda de campaña, una alternativa consensuada, bien. En caso de que los condicionantes juntos sean irresolubles y hacen que no se puede ejecutar nada, se explica por qué y cuáles son los inconvenientes de la inacción.

Esto último no suele ser del agrado de los políticos. Un ejemplo es lo que ocurrió en el puerto de Avilés (Asturias), cuando se imposibilitó la viabilidad de un acceso alternativo al existente. Se firmó un acuerdo entre el Ministerio y el Ayuntamiento anunciando una solución por debajo de la ría. Que esa solución fuese inviable no fue obstáculo para su anuncio público, con foto en las portadas de los periódicos locales. El tiempo se ha encargado de mostrar su inviabilidad, pero ya nadie se acuerda de quién la prometió.

En tercer lugar hay que aclarar qué especies son las que hacen que el espacio esté protegido. Normalmente no se protege el espacio en sí, sino

como h3bitat de especies en peligro de extinci3n, cuya p3rdida generar3a daos irreparables en especies migratorias de inter3s europeo. A veces es posible plantear medidas compensatorias que mejoren la situaci3n a largo plazo de las especies a preservar y prescindir de esa posibilidad, en mi opini3n no es ir a favor del medio ambiente. Bien es cierto que el lema: "Salvemos al Cern3calo primilla" tiene menos gancho que el de "Salvemos la Madre Tierra" y el atractivo del lema es imprescindible para una movilizaci3n popular.

Por 3ltimo, la participaci3n p3blica con informaci3n adecuada hace que las protestas tengan que fundamentarse en algo m3s concreto que una defensa gen3rica de la Madre Tierra, pero para ello las alternativas propuestas deben garantizar sin ning3n g3nero de dudas que los h3bitats o las especies valiosas en peligro no van a verse perjudicadas y que las medidas compensatorias son suficientes.

Hay que asegurar que la actuaci3n propuesta, una vez aprobada no va a suponer una autorizaci3n para actuar sin cortapisas y para ello hay que incluir el seguimiento y el control en el plazo necesario. En estas condiciones las afirmaciones gen3ricas pueden traducirse en alternativas cuyo impacto se valora y se compensa y pueden ser, o no, asumidas por la ciudadan3a y por los pol3ticos, con conocimiento de causa.

## Conclusiones

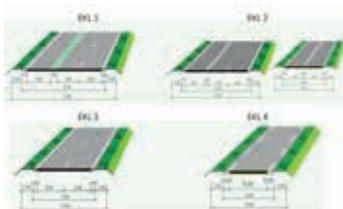
Para evitar que el conflicto se simplifique y se enquisten:

- 1 Plantear, antes de las alternativas de actuaci3n, un diagn3stico de la situaci3n actual.
- 2 Establecer todos los escenarios posibles a corto y medio plazo, con diferentes hip3tesis de crecimiento de la demanda que vaya a utilizar la infraestructura.
- 3 Una vez terminado el an3lisis, - y en la medida de lo posible, haberlo consensuado o por lo menos divulgado -, plantear todas las alternativas viables incluyendo como primera la opci3n cero (no actuar).
- 4 Indicar los pesos que se dan a las cuestiones ambientales, econ3micas, socioecon3micas, urban3sticas y territoriales en cada evaluaci3n.
- 5 Analizar la consistencia de las valoraciones al cambiar la ponderaci3n de las distintas cuestiones relevantes, viendo si se altera sustancialmente la valoraci3n inicial.
- 6 Hacer accesible la informaci3n relevante a todos los colectivos e instituciones con intereses en el proceso, para facilitar su participaci3n.

- 7 Una vez que haya una selecci3n de alternativas y una valoraci3n inicial de cada una de ellas, mantener la transparencia del proceso en la informaci3n facilitada al p3blico.
  - 8 Comenzar el proceso reglado de informaci3n p3blica con las alternativas que siendo diferentes son mejores que las restantes. Para ello se deben descartar aquellas que a igualdad de ponderaci3n de criterios son peores en todos los aspectos a alguna de las seleccionadas.
  - 9 Aprovechar que en el proceso de informaci3n reglada la participaci3n institucional que se produzca por escrito no caer3 en un planteamiento maniqueo, recogiendo en un informe las diferentes posturas expresadas.
  - 10 Definir los impactos sobre cada especie valiosa y sensible, y las medidas paliativas, correctoras y compensatorias que se plantean. Esa situaci3n final con todas las medidas contempladas debe permitir cuantificar cu3l ser3 el efecto final en el ecosistema afectado.
  - 11 Aclarar todas las dudas sobre la viabilidad o inviabilidad ambiental del proyecto presentado para facilitar una decisi3n en uno u otro sentido por parte de la Administraci3n ambiental pertinente.
- +1 Quiz3s lo anterior no sea suficiente para evitar un conflicto pol3tico si este se considera rentable por una de las partes, pero quedar3n claras las posturas y los argumentos de cada uno por escrito, evitando que en vez de razonamientos y datos se utilicen exclusivamente esl3ganes. ❖



# Las clasificaciones funcionales de carreteras. Propuesta para la red de España



The functional classifications of roads.  
Proposal for the Spanish network

**Juan Luis Rubio Martín**

*Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Jefe de Proyecto en Infraestructuras del Transporte  
(AYESA)*

**Pedro Tomás Martínez**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Jefe de Área de Gestión de la Movilidad en la  
Dirección General de Tráfico (DGT)*

Revisado por el Comité Técnico de Planificación, Diseño y Tráfico de la Asociación Técnica de Carreteras

La clasificación jerárquica de las vías de acuerdo con la función que van a desempeñar constituye una herramienta muy utilizada por los administradores de carreteras para conseguir una gestión eficiente de la red viaria. En este artículo se profundiza en este concepto y se presentan algunas aplicaciones de interés. Además, se relacionan las limitaciones del sistema utilizado en España, que responde a un criterio diferente, y se describe la propuesta de la Dirección General de Tráfico actualmente en desarrollo.

Road functional classification is a tool used by road managers to achieve an efficient management of the road network. In this article we delve into this concept and present some interesting applications. In addition, the limitations of the system used in Spain are highlighted, which responds to a different criterion, and the proposal of the Directorate-General for Traffic currently under development is described.

## 1. Las clasificaciones funcionales

### 1.1. Introducción

La organización de las carreteras de una red es una tarea importante ya que permite considerar y priorizar las necesidades de los viajes de los usuarios y, a través del diseño, ges-

tionar los conflictos y las expectativas de los mismos (Karndacharuk y Hassan, 2017).

Entre los diferentes criterios que se pueden utilizar para organizar las vías, un sistema muy extendido se basa en clasificar las carreteras por niveles de acuerdo a la función o el servicio que prestan.

Tradicionalmente, se han identificado dos funciones básicas para las carreteras que integran un sistema de transporte:

- Movilidad de largo recorrido para mercancías y personas.
- Accesibilidad a los diferentes usos.

Tal y como se define en la Norma 3.1.1.C (MF 2016), la movilidad es la propiedad de un sistema viario que valora el número y la calidad de los desplazamientos, cuantificados respectivamente por la intensidad de tráfico y por la velocidad o el tiempo de recorrido. La accesibilidad es la propiedad de un sistema viario que expresa la mayor o menor facilidad con que un lugar del territorio puede ser alcanzado.

En teoría, ambos conceptos son inversos, aunque es habitual que una parte importante de las carreteras proporcionen una combinación de las dos funciones y para diferentes tipos de usuarios. Cuando esto ocurre, puede que exista una combinación incompatible lo que puede generar problemas de explotación y seguridad vial.

En investigaciones recientes los autores proponen por un lado redefinir el concepto movilidad-accesibilidad y, por otro, tener en cuenta otras funciones que permitan recoger consideraciones en relación, por ejemplo, a la compatibilidad de tránsito con otros modos de transporte y, otras, de naturaleza ambiental o administrativa.

## 1.2. Objetivos

El objetivo general de una clasificación funcional es garantizar la agrupación ordenada de carreteras en un marco alrededor del cual las administraciones estatales y locales puedan planificar, construir, gestionar y mantener la red viaria (Eppel et. al, 2001).

Como se ha comentado, significa establecer una organización jerárquica por tipos de vías de todos los elementos de la red y subredes que conforman un sistema viario de manera que, a cada uno de ellos, se le asigne un papel que permita satisfacer las necesidades básicas de

transporte en condiciones de comodidad y seguridad. También debería permitir la adopción de estándares apropiados para el diseño, construcción y explotación de carreteras con el empleo de criterios consistentes con su función.

El sistema de clasificación funcional posibilita que los usuarios puedan reconocer fácil e inequívocamente la categoría de la carretera cuando existe una división clara (principio en las denominadas carreteras autoexplicativas). Esta característica facilita la percepción y legibilidad de las condiciones de la vía por parte de los usuarios y que, en consecuencia, puedan adaptar sus pautas de conducción a las diferentes situaciones de tráfico minimizando la probabilidad de accidentes.

### 1.3. Definición de la jerarquía funcional. Ejemplos de interés.

Para establecer una organización jerárquica por tipos de vías es necesario definir una estructura general de la red, especificar las relaciones entre niveles y adoptar unos criterios de clasificación y de diseño específicos para ellos.

Lo ideal es adoptar el menor número de categorías posible y que éstas sean reconocibles y diferenciables. Los puntos de conexión deben materializarse entre sucesivos niveles de manera coherente y las intensidades de los tráficos presentar una relación de igual forma adecuada.

Pero definir una clasificación funcional es una tarea compleja y se puede decir que para realizarla no hay reglas exactas. D'Andrea et. al (2013) exponen que es necesario identificar ciertos factores como son:

- El tipo de movimiento (tránsito, distribución, penetración y acceso).

- Importancia del viaje.
- El contexto o entorno.
- Los tipos de tráficos y modos permitidos.

El esquema clásico de categorización funcional de carreteras proviene de EE.UU. La ordenación se basa en las características de los viajes a motor y el grado de acceso a las propiedades colindantes. Además, tiene en cuenta el entorno y la importancia de los nodos que conecta. Se definen tres clases de vías: arterias, colectoras y locales. Las características de cada una de ellas son conocidas por lo que no se profundiza en su descripción, aunque si se desea más detalle se emplaza al lector que consulte el artículo ATC (2011) en el que se puede encontrar además una base teórica general muy útil para mejorar la comprensión de este trabajo.

Para establecer la clasificación, se define la función teniendo en cuenta el entorno y, a continuación, el nivel de servicio necesario para completar la misma teniendo en cuenta la intensidad y la composición de los tráficos. Con ello se tiene la base para seleccionar la velocidad de diseño y los criterios geométricos (AASHTO, 2011).

En 2018 se ha publicado la nueva versión del denominado Libro Verde (AASHTO, 2018) en el que se propone un nuevo procedimiento para clasificar las carreteras para dotar de mayor flexibilidad al planificador y que supera las limitaciones de la anterior guía, fundamentalmente, en lo que se refiere a:

- El cumplimiento de los objetivos para todos los modos de transporte.
- La definición de nuevos entornos respecto a los dos clásicos (urbano/interurbano) para permitir una mejor adaptación de la vía

Entorno	Rural	Pueblo rural	Perirurbano	Urbano	Centro urbano
<b>Arteria principal</b>	H velocidad	L/M velocidad	M/H velocidad	L/M velocidad	L velocidad
	H movilidad - L accesibilidad	M movilidad - H accesibilidad	M movilidad - H accesibilidad	M movilidad - M accesibilidad	M movilidad - M accesibilidad
	LC: L	LC: L	LC: L	LC: L	LC: L
	NC: M	NC,CC: M	NC: M	NC: M/H	NC,CC: M
	CC: H		CC: H	CC: H	
	P1*: P2: Min; P3, P4: W	P2: Min; P3:W; P4: E	P1*: P2: Min; P3:W; P4: W	P2: Min; P3:W; P4: E	P3:W; P4: E
<b>Arteria secundaria</b>	H velocidad	L/M velocidad	M velocidad	L/M velocidad	L velocidad
	H movilidad - M accesibilidad	M movilidad - H accesibilidad	M movilidad - M accesibilidad	M movilidad - M/H accesibilidad	M movilidad - M/H accesibilidad
	LC: L	LC: L	LC: L	LC: L	LC: L
	NC: M	NC,CC: M	NC: M	NC,CC: M	NC,CC: M
	CC: H		CC: H		
	P1*: P2: Min; P3, P4: W	P2: Min; P3:W; P4: E	P1*: P2: Min; P3:W; P4: W	P2: Min; P3:W; P4: E	P3:W; P4: E
<b>Colectora</b>	M velocidad	L velocidad	L velocidad	L velocidad	L velocidad
	M movilidad - M accesibilidad	M movilidad - H accesibilidad	M movilidad - H accesibilidad	L movilidad - H accesibilidad	L movilidad - H accesibilidad
	LC: L	LC, NC: L	LC: L	LC: L	LC, NC: L
	NC,CC: M	CC: M	NC,CC: M	NC,CC: M	CC: M
	P1*: P2: Min; P3, P4: W	P2: Min; P3:W; P4: E	P1*: P2: Min; P3:W; P4: W	P2: Min; P3:W; P4: E	P3:W; P4: E
	<b>Local</b>	M velocidad	L velocidad	L velocidad	L velocidad
M movilidad - M accesibilidad		M movilidad - H accesibilidad	L movilidad - H accesibilidad	L movilidad - H accesibilidad	L movilidad - H accesibilidad
LC, NC, CC: L		LC, NC, CC: L	LC, NC, CC: L	LC, NC, CC: L	LC, NC, CC: L
P1*: P2: Min; P3, P4: W		P2: Min; P3:W; P4: E	P1*: P2: Min; P3:W; P4: W	P2: Min; P3:W; P4: E	P3:W; P4: E

**Leyenda**

- vehículos: Velocidad, movilidad y accesibilidad: H=alto, M=medio y L=bajo
- bicicletas: Separación: H=alta, M=media y L=baja
- Tipos de carril bici: CC=conector regional, NC=conector vecinal, LC=conector local
- peatones: Niveles de tráfico en peatones: P1=raro/ocasional, P2=bajo, P3=medio y P4=alto

Anchura itinerarios peatonales = \* =especifico del sitio, Min=mínimo, W=mayor que el mínimo y E=grandes flujos

Figura 1. Matriz multimodal del Sistema de Clasificación Funcional establecido en EE.UU. Fuente: AASTHO, 2018.

al contexto en el que se va a desarrollar. Se establecen en base a la densidad de edificación, los usos del suelo y los límites de edificación.

Los tipos de vías mantienen su denominación, aunque se elimina la subdivisión en las colectoras (principales y secundarias) debido a la dificultad para establecer los límites entre una y otra. Esto se debe a la complejidad que conlleva este ejercicio en vías que pueden presentar un doble papel, como sucede con la carretera convencional.

Para establecer el tipo de vía se trabaja con una matriz en la que hay que seleccionar la categoría de la vía (arteria principal, arteria secundaria, colectoras y local) y el contexto (5 tipos) teniendo en cuenta para ello la función (importancia regional o lo-

cal de la carretera) y la conectividad (que reconoce la importancia de los nodos). En el caso de las bicicletas se propone una jerarquización por tipos basada en la conectividad. Los peatones al presentar una actividad muy localizada no se pueden extender al conjunto del área como los otros modos.

Con este nuevo procedimiento se debe además identificar el grupo de usuarios que debe ser acomodado. En el caso de los conductores se valoran dos elementos: velocidad de operación y el equilibrio entre accesibilidad, medida mediante la distancia entre puntos de acceso, y movilidad, evaluada con el nivel de servicio. Para las bicicletas se debe analizar las intensidades de los flujos y las velocidades de los vehículos estableciéndose tres niveles

en función de la separación con el tráfico rodado. Por último, para los peatones se debe considerar igualmente la separación con los vehículos y se definen tres niveles en base a la anchura de las aceras.

En la figura 1 se muestra la matriz que se utiliza en este procedimiento.

En Alemania, la normativa de este país (RIN, 2008) asume que la importancia de un tramo de la red depende de la importancia de los nodos que conecta. Para ello introduce el concepto de nivel funcional de conexión y se definen seis niveles.

Junto a este concepto se debe tener en cuenta la categoría de la carretera y que se define a partir de su localización (interurbanas o urbanas), los usos del suelo y la función. Se identifican cinco categorías de

carreteras. A partir del nivel funcional de conexión y la categoría, se puede establecer la clase de la vía.

Esta guía promulga como principio que las carreteras debe ser fácilmente reconocibles por los conductores asignando pues diferencias apreciables entre las clases y que se materializan a través de la señalización horizontal. Esto implica la traslación a la normativa del concepto de carreteras autoexplicativas.

En el caso de las carreteras interurbanas se obtiene la jerarquización (4 clases) de la figura 2.

Para cada tipo de carretera se debe seguir unos criterios de diseño específicos (Normas EKL) y que particularizan aspectos de la geometría, sección transversal, tipologías de nudos y compatibilidad de otros modos.

## 2. Clasificación de las carreteras en España. Problemática.

Las carreteras de España en el ámbito nacional se clasifican por su definición legal y que responde a un criterio morfológico. Como es conocido, se definen los siguientes tipos (MF, 2016):

- Las autopistas y las autovías tendrán como ámbito de diseño el interurbano, periurbano y urbano estando su proyecto siempre dirigido hacia la máxima movilidad.
- Carreteras muticarril, se diseñarán en tramos urbanos y periurbanos con una movilidad inferior a las autopistas y autovías pero con una accesibilidad superior a ellas.
- Las carreteras convencionales tendrán como ámbito de diseño el interurbano, periurbano y urbano, pudiendo orientarse signi-

Tipo de vía	Función	Velocidad de planificación	Clase de diseño
LS I	Largo recorrido (40-160km)	80-90 km/h	EKL 1
LS II	Tráficos nacionales (10-70km)	70-80 km/h	EKL 2
LS III	Tráficos regionales (5-35km)	60-70 km/h	EKL 3
LS IV	Tráficos locales (hasta 15km)	50-60 km/h	EKL 4



Figura 2. Clasificación funcional de carreteras rurales en Alemania. Fuente: Jährig (2012)

ficativamente su proyecto hacia la movilidad o hacia la accesibilidad (como se ha comentado esta característica es origen de posibles disfuncionalidades). A efectos de la aplicación de la Norma, bajo esta clase se incluyen otros tipos: vía colectora – distribuidora, vía lateral, ramal, vía de giro y vía de servicio.

Aunque nuestra legislación no lo considera en sí mismo un tipo, sino que puede formar parte de cualquiera de las clases anteriores, la Norma de trazado define un cuarto tipo de vías y que son:

- Las travesías, las vías urbanas y las calles que se orientarán fundamentalmente hacia la accesibilidad por lo que su ámbito de diseño es el urbano y, secundariamente, el periurbano. Por su contexto de aplicación, presenta especial importancia el urbanismo cuya competencia está transferida. La nueva Ley de Carreteras refuerza la misma en materia de explotación (los tramos urbanos deben estar claramente delimitados).

Bajo esta clasificación establecida mediante tres tipos se debe ordenar un amplio abanico de tipologías de vías, apartado especialmente problemático en el caso de la carretera convencional. El principal motivo es que este tipo de vías presenta un doble papel (movilidad y accesibilidad) lo que es origen de múltiples disfuncionalidades. A continuación, se detallan otros aspectos que ponen de manifiesto la problemática que caracteriza este nivel.

Según datos de 2017, la red convencional supone el 89% del total de la red de carreteras (148.522 kilómetros de los 165.686 Km de la red viaria interurbana). En cuanto a los tráfico, acoge aproximadamente el 40% del total que utiliza la red. Otro rasgo característico es que presenta un elevado porcentaje de los fallecidos en carreteras (casi el 80%). Por tanto, son el tipo más importante en nuestro país en cuanto a longitud, acogiendo gran parte del tráfico y los accidentes en carreteras.

La gestión de la red convencional se realiza por diferentes administraciones y se contabilizan hasta 21 leyes de carreteras diferentes con

una jerarquización viaria propia en cada una de ellas, y no siempre con los mismos criterios. El Estado tiene competencias en el 9,7% de la red (14.419 km), las Comunidades Autónomas en el 45,3% (67.310km) y Diputaciones, Cabildos y otros asumen el restante 45% (66.794 km).

Teóricamente, la red perteneciente al Estado sirve a los tráficos de ámbito nacional o internacional mientras que la red gestionada por otras Administraciones a tráficos regionales o locales. En la práctica, algunas infraestructuras estatales se utilizan para satisfacer importantes demandas regionales y locales, y, a la inversa (Sánchez, 1996).

Si se observa las longitudes de red por niveles de intensidades se desprende que, bajo la denominación de carretera convencional, se tienen tramos que soportan rangos muy diferentes de intensidades medias diarias. Además, se caracteriza por la elevada heterogeneidad del tráfico que las utiliza, que abarca desde vehículos agrícolas, transporte público, hasta un importante porcentaje de vehículos pesados (incluso mercancías peligrosas). En muchos casos no se compatibiliza la presencia de otros modos de transportes diferentes a los vehículos a motor, como son ciclistas y peatones.

### 3. La propuesta de la Dirección General de Tráfico (DGT)

La Dirección General de Tráfico ha impulsado un trabajo encaminado a la obtención de un mapa viario nacional en el que se obtenga una única jerarquización viaria que clarifique la función de cada tramo principal de carretera, independientemente de su titularidad y tipología infraestructural (morfología). Con

ello se persigue que exista una referencia de utilidad para abordar múltiples tareas y decisiones relacionadas con la movilidad, el tráfico, el transporte, la gestión viaria, la seguridad vial, el medio ambiente, y el reto demográfico.

En este apartado se presentan las líneas generales del trabajo en desarrollo actualmente por el equipo técnico de la Subdirección de Gestión de la Movilidad y Tecnología de la DGT y que puede sufrir modificaciones no sustanciales respecto a lo expuesto en el presente artículo, que no pretende ser exhaustivo sino más bien ilustrativo y apuntar hacia la dirección en la que se está trabajando.

#### 3.1. La jerarquización como sustento de la seguridad vial

Puede afirmarse que la seguridad vial global de una carretera depende en sí misma de las características intrínsecas de la misma (diseño, elementos de seguridad activa y elementos de seguridad activa, márgenes viarios, etc) pero también de su encaje coherente en condiciones de homogeneidad y jerarquización dentro del mapa viario, que influye notablemente en el uso seguro de la misma. Al respecto de esto, y como se ha comentado, una vía será más segura cuanto más monofuncional sea, en cuyo caso será más sencillo adaptar su diseño, fisionomía y condiciones de explotación.

A la hora de discernir la seguridad global de una carretera, conviene formularse las siguientes cuestiones:

- ¿El aspecto o fisionomía de la vía se adecúa con su categoría funcional? ¿existe exceso o defecto de oferta infraestructural?

- ¿El aspecto o fisionomía de la vía promueve la adecuación del comportamiento de los usuarios a la categoría funcional de la vía?

- ¿Existe un mapa viario homogéneo a nivel regional/nacional y comprensible para los usuarios?

- ¿Son los elementos de diseño o fisionomía de la carretera suficientemente evidentes para que los usuarios perciban la categoría funcional de la vía y adapten sus expectativas?

- ¿Cuántas funciones cumple la carretera? ¿diariamente o cambia su función por días o estaciones? ¿conviven las funciones o se encuentran segmentadas por tipo de día o franjas horarias?

- ¿Existe continuidad en el ajuste a la funcionalidad a lo largo de un eje cuando se producen cambios de titularidad o territoriales?

- ¿Existen grandes disparidades de masa y velocidad en la carretera?

En cualquier caso, el diseño, fisionomía y condiciones de explotación de una vía deben ser planteadas siempre con el factor humano en consideración, es decir, asumiendo que el usuario antes o después cometerá errores, fallos u omisiones (no necesariamente infracciones), por lo que por un lado deberán disponerse los medios disponibles para evitar en primer lugar que ocurran (seguridad primaria), y que si ocurren no se traduzcan en lesiones graves (seguridad secundaria).

Por tanto, se puede afirmar que el fin último de una adecuada jerarquización viaria es la seguridad vial. Gracias a una adecuada jerarquización se proporcionan directrices y criterios sobre posibles necesidades de adecuación y adaptación de la infraestructura y la red viaria a unos umbrales de seguridad vial,

dirigido a los gestores de red existente y para la toma de decisiones estratégicas en materia de nuevas infraestructuras viarias.

Conviene recordar asimismo dos conceptos considerados fundamentales a la hora de definir objetivamente la seguridad de un sistema viario como son (Dijkstra, 2003):

- Relación entre la longitud del viaje más rápido entre dos puntos y la longitud del viaje más seguro entre estos dos puntos.
- Relación entre las elecciones de ruta más seguras y las elecciones de ruta reales.

La estrategia que se ha planteado se basa en el enfoque denominado como Sistema Seguro. En efecto, organismos internacionales como la OMS o el Foro Internacional del Transporte han hablado de un “cambio de paradigma”, que supone pasar de las políticas tradicionales a una visión integrada en que la seguridad vial se convierte en un “Sistema Seguro” en el cual, en un primer lugar, los graves resultados de los accidentes de tráfico son evitados. En el Sistema Seguro, se establece que la seguridad de los usuarios debe ser el principal criterio de diseño del sistema viario, y se acepta que el error humano es inevitable, pero que la muerte y las lesiones graves producto de un accidente de tráfico son evitables.

Un Sistema Seguro va más allá de los enfoques reactivos basados en el análisis de los accidentes ocurridos en el pasado. En lugar de ello, adopta un enfoque proactivo para guiar la conducta segura al mismo tiempo que evalúa los riesgos intrínsecos de la carretera e identifica intervenciones prioritarias eficientes que impidan traumatismos graves. En un Sistema Seguro hay 4 principios rectores fundamentales:

- Las personas cometen errores que pueden ser causa de accidentes de tráfico.
- El cuerpo humano tiene resistencia biomecánica limitada en caso de impacto.
- Existe responsabilidad compartida entre los usuarios y los que diseñan, construyen, administran y gestionan las vías.
- Todas las partes del sistema deben fortalecerse para multiplicar sus efectos y para que los usuarios de la vía estén protegidos aunque falle una de las partes.

En un Sistema Seguro, las carreteras se diseñan de acuerdo con su función utilizando un abanico de clasificaciones, teniendo cada tipología características propias que garantizan la seguridad de todos los usuarios, incluidos los vulnerables. Las carreteras bien diseñadas dan lugar a una seguridad vial *per-se*, carreteras seguras por diseño (*safe by design*). Las carreteras bien diseñadas (entendido como diseño adecuado a la función) invitan a circular a velocidades seguras, atraen la atención del conductor cuando los riesgos se incrementan, previenen colisiones con consecuencias graves, proporcionan flujos segregados de tráfico para vehículos dispares en masa y/o velocidad, y reducen entre otros los riesgos de colisiones por salida de vía cuando el conductor comete un error. Por el contrario, las carreteras con diseño pobre (*dangerous by design*), no solo no previenen los accidentes sino que además inducen comportamientos incompatibles en este tipo de vía, que incrementan drásticamente el riesgo tales como velocidades inseguras o interacciones peligrosas entre vehículos en esa categoría de vía (ej. adelantamientos erróneos, pasos de cruce inadecuados, etc).

Cuando tiene lugar un error o un fallo por parte de un conductor, la carretera debe desencadenar mecanismos que, o bien eviten el accidente (seguridad primaria), o bien mitiguen sus consecuencias (seguridad secundaria). En un Sistema Seguro, se optimiza la velocidad de operación mientras que se minimizan las cifras de accidentalidad y lesionados. En efecto, la seguridad por diseño logra que sea confortable viajar a las velocidades seguras, y limita las oportunidades de que intencionada o involuntariamente los conductores puedan cometer errores o infracciones, incluido el exceso de velocidad (ej. reducir el campo visual de muy larga distancia, introducir obstáculos superables a velocidades seguras, estrechamiento de carriles, racionalización de la oferta de adelantamiento, ejecución de bandas sonoras, etc).

Disponer de una jerarquización viaria no solo sirve de guía para el uso adecuado y seguro de una vía sino que para los gestores de la misma, resulta fundamental conocer el encaje de cada vía atendiendo a su función de cara a plantear inversiones, soluciones, políticas viales, etc.

### 3.2. Metodología para la jerarquización viaria

La metodología se fundamenta en parámetros de funcionalidad de la vía, de manera que la categoría resultante de la carretera que se muestra con colores en el mapa viario no siempre es coincidente con la categoría de infraestructura viaria que sea (autovía, multicarril, convencional, etc) sino que puede ocurrir, por ejemplo, que una vía de categoría funcional superior sea una carretera convencional (infradotación), o al contrario, que una carretera que según la jerarquía funcional tenga una categoría menor, sea en una autovía/autopista (sobredota-

ción). Podría de hecho asemejarse a la metodología alemana citada en el apartado 1.3, de modo que la importancia jerárquica de la carretera es función de la importancia (medida en términos demográficos, económicos, industriales, etc) de los nodos que se conectan.

Dado que el análisis se ha llevado inicialmente a cabo mediante el análisis de desplazamientos origen-destino entre las poblaciones más importantes de cada provincia, asignando las rutas de menor tiempo de recorrido en condiciones predominantes de tráfico entre poblaciones en la Fase 1, actualmente se está llevando a cabo la Fase 2 de la metodología mediante la cual sí se consideran otros destinos significativos que complementan así los centros de atracción y generación de viajes tanto de personas como de mercancía como pueden ser: Playas, Zonas comerciales, Polos industriales, Centros Logísticos, Puertos, Zonas Turísticas, etc...

A continuación, se detallan las fases ordenadas que componen la metodología empleada para la obtención de dicho trabajo de jerarquización.

- 1- Identificación de poblaciones principales por provincia.
- 2- Generación de relaciones origen/destino entre poblaciones.
  - a. Relaciones entre capitales de provincia.
  - b. Relaciones entre capitales de provincia y principales poblaciones de cada provincia.
  - c. Relaciones entre las principales poblaciones de una provincia.
  - d. Relaciones entre las capitales de una provincia y las principales poblaciones de las provincias contiguas.

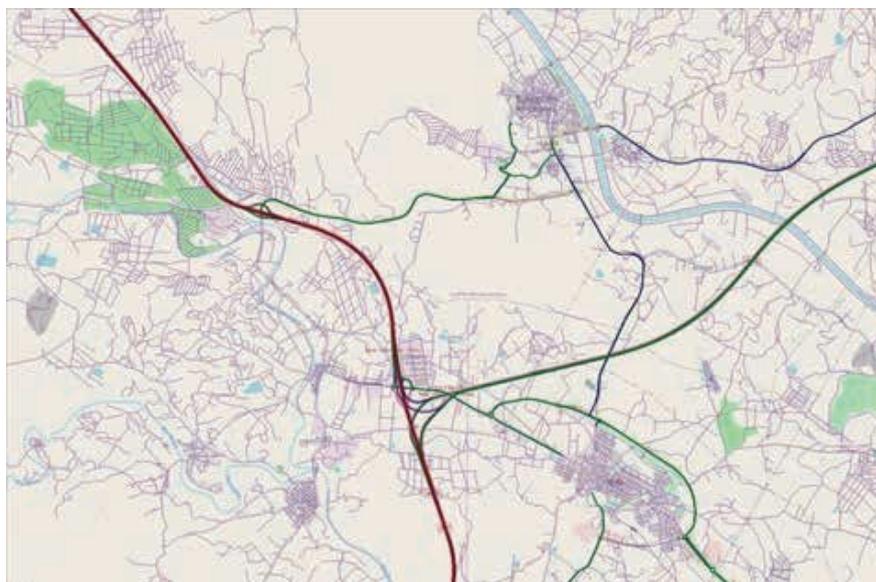


Figura 3. Ejemplo de mapa viario con categorías funcionales

Jerarquía Viaria	Nivel Seguridad Intrínseca (1-5)				
	1	2	3	4	5
A	A1	A2	A3	A4	A5
B	B1	B2	B3	B4	B5
C	C1	C2	C3	C4	C5
D	D1	D2	D3	D4	D5
E	E1	E2	E3	E4	E5

Figura 4. Matriz jerarquía-seguridad de infraestructuras viarias

- 3- Asignación de viajes en el grafo de red por las rutas más rápidas.
- 4- Representación de las redes viarias resultantes.
- 5- Revisión para la inclusión de nodos de importancia para la movilidad distintos de poblaciones.
- 6- Mapa viario final.

Donde los niveles de jerarquía viaria resultantes inicialmente son los siguientes:

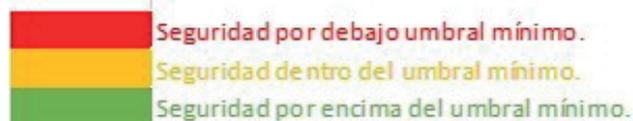
(A) Red Estratégica: Red viaria con función vertebrante que garantiza la comunicación a nivel estatal entre capitales de provincia así como entre nodos atractores/generadores de interés general, para mercancías y viajeros,

y desplazamientos internacionales. Viajes de largo recorrido principalmente.

(B) Red Principal: Red viaria con función vertebrante que garantiza la comunicación a un nivel geográfico inferior al estatal y/o que conecta núcleos principales del territorio entre sí y con la Red Estratégica. Viajes de largo recorrido principalmente.

(C) Red Primaria: Red viaria con función combinada que garantiza la comunicación a nivel provincial o regional entre capitales y principales poblaciones y entre nodos atractores/generadores de interés zonal o regional. Viajes de medio recorrido y conexión con la Red Principal.

Jerarquía Viaria	Nivel Seguridad Intrínseca (1-5)				
	1	2	3	4	5
A	A1	A2	A3	A4	A5
B	B1	B2	B3	B4	B5
C	C1	C2	C3	C4	C5
D	D1	D2	D3	D4	D5
E	E1	E2	E3	E4	E5



Low	0,0<Risk Rate<7,5
Low-medium	7,5<Risk Rate<30,8
Medium	30,8<Risk Rate<53
Medium-high	53<Risk Rate<90
High	Risk Rate>90

Figura 5. Relación entre clases jerárquicas y niveles de seguridad intrínseca

Figura 6: Niveles de Riesgo

(D) Red Secundaria: Red viaria con función predominantemente de accesibilidad a poblaciones intermedias y menores dentro de una provincia determinada. Viajes de corto recorrido y conexión con la Red Primaria.

(E) Resto de red viaria que presenta función únicamente de accesibilidad al resto del territorio.

En la figura 3 se puede observar una porción de territorio en que se ha aplicado la metodología de jerarquización (en revisión) y se puede observar la clasificación llevada a cabo:

Adicionalmente, como segunda etapa de la metodología, se cruza la seguridad intrínseca de la infraestructura viaria con su grado jerárquico, de manera que se disponga de una matriz similar a la de la figura 4.

Con la tabla anterior se dispondrá de una segunda herramienta para que, una vez identificado el grado jerárquico a nivel de red de cada carretera, sea posible plan-

tear qué actuaciones de mejora de la seguridad vial merece recibir cada carretera en función del nivel mínimo de seguridad que se acuerde para cada jerarquía desde el punto de vista de la eficiencia de las inversiones.

Dicho lo anterior, un ejemplo de umbral mínimo de seguridad tolerable para cada jerarquía podría ser la de la figura 5.

El nivel de seguridad intrínseca la DGT lo obtiene según la metodología planteada mediante la aplicación de iRAP Star Rating (iRAP 2014), mediante el cual se obtiene un valor objetivo e internacionalmente validado. Este método se compone de una fase de trabajo de campo que se lleva a cabo mediante un vehículo instrumentalizado que capta imágenes de la infraestructura y su entorno, y una fase de gabinete en la que se codifican y validan todos los parámetros que componen la infraestructura, su entorno y sus elementos, que resultan en un valor de seguridad de 1 a 5 siendo 5 el máximo nivel.

A modo ilustrativo, para el lector que no conozca en detalle la metodología iRAP, resulta significativo conocer de qué manera los costes asociados a muertos y heridos graves en función de sus estrellas se reducen<sup>1</sup> :

- Los costes en vías de 2 estrellas son un 40% menores que en vías de 1 estrella.
- Los costes en vías de 3 estrellas son un 61% menores que en vías de 2 estrellas.
- Los costes en vías de 4 estrellas son un 43% menores que en vías de 3 estrellas.

Por otra parte, existe un tercer ingrediente denominado Nivel de Riesgo, dependiente de la siniestralidad registrada y el volumen de tráfico de la vía, según la siguiente formula 1.

Al igual que con el caso del nivel de seguridad intrínseca (Star Rating) de la infraestructura, que oscila de 1 a 5, el Nivel de Riesgo también oscila entre 1 y 5 de acuerdo a los niveles de la figura 6.

$$\text{Nivel de riesgo}_{\text{periodo}=3\text{años}} = \frac{\text{Número de accidentes mortales y graves} \times 10^9}{\text{Intensidad Media Diaria (IMD)} \times \text{Longitud} \times 365 \times \text{Periodo}}$$

Formula 1.

<sup>1</sup> Relación entre Star Ratings y coste de accidentes por kilómetro recorrido: Bruce Highway, Australia (Rob McInerney and Morgan Fletcher, International Road Assessment Programme (iRAP) May 2013

**Tabla 1. Matriz de actuaciones en base a la potencialidad en la reducción de accidentes.**

	Seguridad intrínseca por <b>debajo</b> del umbral tolerable	Seguridad intrínseca <b>dentro</b> del umbral tolerable	Seguridad intrínseca por <b>encima</b> del umbral tolerable
<b>Bajo</b> potencial de reducción de heridos graves y muertos. (siniestralidad histórica registrada baja)	PRIORIZAR ACTUACIONES PROACTIVAS DE MEJORA DE LA SEGURIDAD VIAL PARA EVITAR POSIBLE ACCIDENTABILIDAD GRAVE.	MANTENER O INCREMENTAR LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD.	MANTENER LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD.
<b>Alto</b> potencial de reducción de heridos graves y muertos. (siniestralidad histórica registrada alta)	PRIORIZAR INTER-VENCIONES EN INFRAESTRUCTURA PARA LA MEJORA GENERALIZADA DE LA SEGURIDAD VIAL	PRIORIZAR INTERVENCIONES EN INFRAESTRUCTURA ORIENTADAS A LOS TIPOS DE ACCIDENTALIDAD IDENTIFICADOS	GESTIONAR VELOCIDADES SEGURAS



Figura 7. Relación entre la oferta viaria y su adecuación con la funcionalidad

Como herramienta complementaria, con el fin de afinar las propuestas resultantes sin obviar la accidentalidad histórica o potencialidad de reducción de accidentalidad (actuar si hay potencial de reducción de accidentalidad y mantener las condiciones para evitar incrementos de accidentalidad), se plantearía una nueva relación que combinaría la accidentalidad histórica registrada, evaluada mediante el nivel de riesgo, con la seguridad intrínseca de la carretera independientemente de su categoría funcional (Tabla 1).

Una vez llevados a cabo los anteriores análisis, debe considerarse por otra parte que a cada funcionalidad viaria a su vez se le asocia, al igual que un umbral mínimo de seguridad, un umbral mínimo de categoría infraestructural, que se refleja tentativamente en la siguiente tabla sin pretender ser exhaustivo. (Figura7)

La anterior relación entre la tipología infraestructural y la categoría funcional de cada vía o tramo completo de vía proporciona una idea

sobre el grado de adecuación de la oferta y su adecuación a la demanda viaria en cada caso, tanto en volumen como en tipología de la demanda (corto, medio o largo recorrido). En los casos en que exista un excesivo grado de oferta viaria significará por lo general que la seguridad intrínseca de la infraestructura se situará por encima del umbral mínimo, mientras que en los casos en que exista una oferta viaria insuficiente, muy probablemente la seguridad intrínseca estará por debajo del umbral mínimo, si asumimos que a mayor categoría infraestructural por lo general las vías tienen mayor seguridad intrínseca.

El último paso consiste en generar los mapas necesarios para identificar las actuaciones más eficientes en materia de conversión de la infraestructura para adecuarla a su categoría funcional (cuando exista una oferta viaria insuficiente para la demanda existente), o para las intervenciones generales o específicas encaminadas a la adecuación de la seguridad intrínseca (cuando los in-

dicadores mostrados en el artículo así lo sugieran).

Es importante destacar que, dado que el tráfico es el resultado de la actividad económica y el desarrollo de actividades sociales, se encuentra condicionada por la evolución de los desarrollos urbanísticos, la ordenación del territorio, la ubicación de polos empresariales y logísticos, y en general cualquier política que pueda afectar a la movilidad, por lo que la categorización resultante deberá revisarse periódicamente.

### 4. Conclusiones

En este artículo se ha tratado la clasificación funcional de vías, concepto clásico en ingeniería de carreteras que los responsables de las infraestructuras pueden utilizar para una gestión eficiente de la red.

Ordenar el conjunto de vías de acuerdo a su función es una tarea compleja y no existen reglas exactas para realizarla. El planteamiento

debe realizarse desde una perspectiva global, ya que no es posible acomodar a todos los usuarios, en todo momento y en todas las carreteras. Existe cierto consenso en considerar el tipo de movimiento (tránsito, distribución, penetración y acceso), la longitud del viaje, el entorno y los tráfico como los factores básicos que es necesario identificar para definirla. A nivel internacional se han desarrollado múltiples clasificaciones y que se han basado en el establecimiento de criterios no homogéneos. Como ejemplos de interés se han presentado los casos de EE.UU y Alemania.

En España se utiliza un sistema de clasificación morfológico basado en tres tipos de vías atendiendo a la Ley de Carreteras del Estado, y otras clasificaciones atendiendo a las distintas Leyes de Carreteras de CCAA. Entre ellas cabe destacar por su especial problemática el caso de la carretera convencional y que presenta un doble papel (movilidad y accesibilidad) que, entre otros aspectos, es el origen de múltiples disfuncionalidades.

Conscientes de la utilidad de este concepto, la DGT está desarrollando un nuevo sistema de clasificación, funcional, para la red de España, que clarifique tanto para los técnicos como para los usuarios la función que desempeña cada tramo de carretera dentro del mapa viario independientemente de su morfología. En efecto, se demuestra cómo pueden existir autovías o tramos de éstas que cumplan con una función de menor entidad en los desplazamientos de largo recorrido que algún tramo de carretera convencional. Por tanto, gracias a la jerarquización funcional, será asimismo viable identificar aquellos tramos en que existe una oferta infraestructural por encima o por debajo del umbral de satisfacción eficiente para cumplir con la función que desempeña el tramo viario en cuestión dentro del mapa viario del país.

Adicionalmente, se proponen relaciones entre umbrales de satisfacción de la seguridad intrínseca de la infraestructura y su morfología. De este modo, se obtiene como resultado un novedoso indicador que combina seguridad intrínseca, morfología, y categoría funcional, aspirando a ser de utilidad para la dotación de determinadas inversiones eficientes y priorización de actuaciones, de manera que se oriente la conservación, gestión y explotación hacia la adecuación viaria (principalmente de la red convencional) que permita reducir radicalmente la siniestralidad.

En base a principios metodológicos del proyecto SafetyNet, principios de Sistema Seguro y metodología propia, se esboza en este artículo una propuesta de jerarquización viaria promovida por el Área de Gestión de la Movilidad de DGT, que aspira a servir de cimiento de reflexiones y avances para la mejora de la gestión, conservación, y explotación de la red viaria, que redunde en un servicio más eficiente para el usuario y de sustento para la seguridad vial.

## 5. Bibliografía

- [1] AASHTO (2011). *A policy on geometric design of highways and streets* (Green Book). Washington, DC. AASHTO.
- [2] AASHTO (2018). *A policy on geometric design of highways and streets* (Green Book). Washington, DC. AASHTO.
- [3] ATC (Asociación Técnica de Carreteras), 2011. *Sistematización de las vías de una red viaria*. Comité Técnico de Carreteras Interurbanas y Transporte Interurbano. Rutas nº147. Madrid, España.
- [4] D'Andrea, A., Cappadona, C., La Rosa, G., y Pellegrino, O. (2013). *A functional road classification with data mining techniques*. Dept. of Civil Engineering, University of Messina, Messina, Italy.
- [5] Dijkstra, A. (2003). *Testing the safety level of a road network*. World Road Congress, Durban, South Africa.
- [6] Eppell, V., McClurg B. and Bunker, J. (2001). *A four level road hierarchy for network planning and management*. In Jaeger, Vicki, Eds. Proceedings 20th ARRB Conference, Melbourne.
- [7] Friedich, M. (2016). *Functional Structuring of Road Networks*. World Conference on Transport Research, Shanghai.
- [8] IRAP (International Road Assessment Program), 2014. *iRap Star rating and investment plan coding manual*, iRAP, London, UK.
- [9] Jährig, T. (2012). *Seminar 2+1 "Friendly and Safe for Users -2+1 Lane Case Study"*. Federal Highway Research Institute. Germany.
- [10] Karndacharuk, A. y Hassan, A. (2017). *Road Transport Management Framework and Principles*. Austroads Ltd. Sydney, Australia.
- [11] MF (Ministerio de Fomento), 2016. *Instrucción de Carreteras Norma 3.1.1.C*. Dirección General de Carreteras. Madrid, España.
- [12] RIN (2008). *Richtlinien fuer die integrierte Netzgestaltung RIN (German Guideline for Integrated Network Planning)*. FGSV, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen.
- [13] Sánchez, V. (1996). *Las redes de carreteras y ferrocarriles de España: Su situación y perspectivas a medio plazo*. ❖

# Mezclas bituminosas semicalientes producidas a temperaturas inferiores a 120 °C. Proyecto ASFALTMIN



Warm Mix Asphalt at production temperatures below 120 °C. ASFALTMIN project

## Jorge Ortiz Ripoll

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Benito Arnó e Hijos

## Xavier Crisén Grau

Ingeniero Técnico de Obras Públicas  
Benito Arnó e Hijos

## Julia Giralt Lladanosa

Técnico especialista en obra pública  
Benito Arnó e Hijos

En 2021 ARNÓ finalizó su proyecto de investigación ASFALTMIN dirigido a estudiar las temperaturas mínimas de fabricación y puesta en obra al alcance de las actuales tecnologías de producción de mezclas bituminosas semicalientes. Definidas en el PG-3 como mezclas bituminosas producidas al menos 40 °C por debajo de las habituales de las mezclas bituminosas en caliente, en la práctica las mezclas semicalientes siguen fabricándose a temperaturas que apenas suponen reducciones de 20 a 30 °C. Con el proyecto ASFALTMIN se han puesto a punto tecnologías para reducir en más de 50 °C las temperaturas típicas de la producción en caliente, es decir, nuevas mezclas bituminosas semicalientes fabricadas a temperaturas comprendidas entre 105 y 120 °C y compactables a menos de 95 °C. De acuerdo con los estudios desarrollados, estos son los intervalos de temperatura de mayor interés pues permiten llevar a valores mínimos la demanda energética, las emisiones directas y, en general, los impactos ambientales de las mezclas bituminosas en caliente, semicalientes y templadas, tanto si se producen utilizando nuevas materias primas como cuando se reutiliza cualquier proporción de mezclas bituminosas envejecidas. En el presente texto se explica la metodología seguida para alcanzar los objetivos del proyecto, las dificultades que han surgido en sus distintas fases y las soluciones encontradas.

In 2021 ARNÓ has completed its ASFALTMIN research project aimed at studying the minimum production and laydown temperatures available for the warm mix asphalt technologies. Defined in PG-3 as bituminous mixes produced at temperatures at least 40 °C below the usual temperatures for hot mix asphalt, in practice, today the warm mix asphalt barely represents reductions of 20 to 30 °C of these temperatures. With the ASFALTMIN project, ARNÓ has developed technologies that can reduce the typical temperatures of hot mix asphalt by more than 50 °C, that is, new warm asphalt mixtures produced between 105 and 120 °C and compactable below 95 °C. According to the studies carried out, these are the temperature ranges of greatest interest as they allow to reduce to their minimum values, the energy demand, direct emissions and, in general, the environmental impacts of hot mix asphalt, warm mix asphalt and half-warm mix asphalt, whether they are produced using new raw materials or when any proportion of aged bituminous mixtures is reused. This text explains the methodology followed to achieve the objectives of the project, the difficulties that have arisen in its different phases and the solutions found.

## 1. Introducción

ASFALTMIN (mezclas ASFÁLTICAS de MÍNIMAS emisiones y demanda energética), es un proyecto de investigación desarrollado por ARNÓ entre 2018 y 2021, con un presupuesto de 612.890€, acogido al plan de ayudas CDTI 2017 y dirigido a mejorar la eficiencia energética de las mezclas bituminosas semicalientes. Uno de sus primeros frutos es la herramienta de cálculo ECCO2, que ha sido de gran utilidad para seleccionar las temperaturas de fabricación idóneas y descartar las tecnologías menos prometedoras (1, 2). Así, se estableció como temperaturas de fabricación objetivo las comprendidas en el intervalo 105-120 °C y se decidió excluir las tecnologías que requieren agua de proceso o el uso de emulsiones bituminosas (3).

El estudio del estado del arte confirmó el interés del rango de temperaturas indicado y las oportunidades ofrecidas por los procedimientos basados en la combinación de diferentes tecnologías: la espumación mecánica o inducida del betún, por ejemplo, produce efectos que pueden sumarse a los obtenidos con la incorporación de aditivos surfactantes, reductores de viscosidad, o mediante mezclados secuenciales, entre otras opciones. También se ha estudiado la reutilización de mezclas bituminosas recuperadas de pavimentos envejecidos (en adelante, RAP) a bajas temperaturas y se han desarrollado nuevos procedimientos de fabricación concebidos para no perjudicar la resistencia a la acción del agua de las mezclas bituminosas o la activación del betún contenido en el RAP.

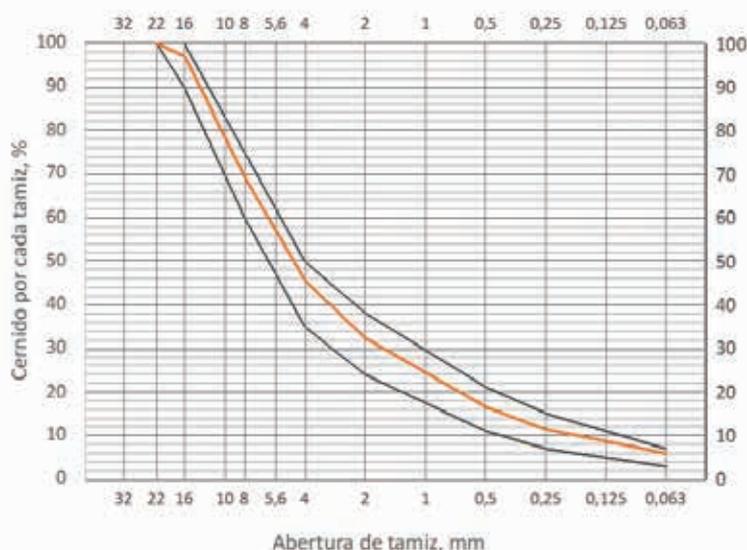
## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Ensayos con mezcla de laboratorio

Los primeros trabajos experimentales se dirigieron a seleccionar, mediante ensayos de laboratorio, los aditivos y los procedimientos idóneos para alcanzar la reducción de temperaturas objetivo. Se utilizó como mezcla patrón o de referencia un hormigón bituminoso AC 16 S 50/70 SURF elaborado con áridos de Alguaire (Lleida), betún de CEPESA y polvo mineral de recuperación, de las propiedades descritas en la figura 1.

La eficacia de los distintos procedimientos ensayados se midió a partir del grado de compactación de probetas compactadas con compactador giratorio (a 100 giros) y por impactos (75 golpes por cara) a varias temperaturas, según se muestra en la figura 2. La densidad de referencia es la alcanzada con la mezcla patrón (sin adición alguna) amasada a 160 °C y compactada a 150 °C, mientras que el resto de los resultados corresponden a mezclas con distintas adiciones, amasadas a 130 °C y compactadas a las temperaturas indicadas.

En ambos gráficos la zona de interés es el rectángulo formado entre los límites de las temperaturas objetivo (75-95 °C) y los grados de compactación superiores al 99%, es decir, la correspondiente a las soluciones más efectivas. Con el compactador giratorio (a 100 giros) se obtuvieron resultados que apenas permitieron distinguir las alternativas ensayadas y por ello se prefirió basar su selección en la compactación por impactos, en lugar de usar el compactador giratorio modificando arbitrariamente el número de giros.



AC 16 S 50/70 SURF		
PROPIEDAD	UD	VALOR
Betún sobre mezcla	%	4,80
Relación f/b	-	1,2
Densidad aparente	g/dm <sup>3</sup>	2,372
Densidad máxima	g/dm <sup>3</sup>	2,470
Huecos en mezcla	%	4,0
Volumen de betún	%	11,0
Huecos en áridos	%	15,0
Huecos rellenos	%	73,5

Figura 1. Curva granulométrica (izquierda) y descripción volumétrica de la mezcla de referencia (derecha).

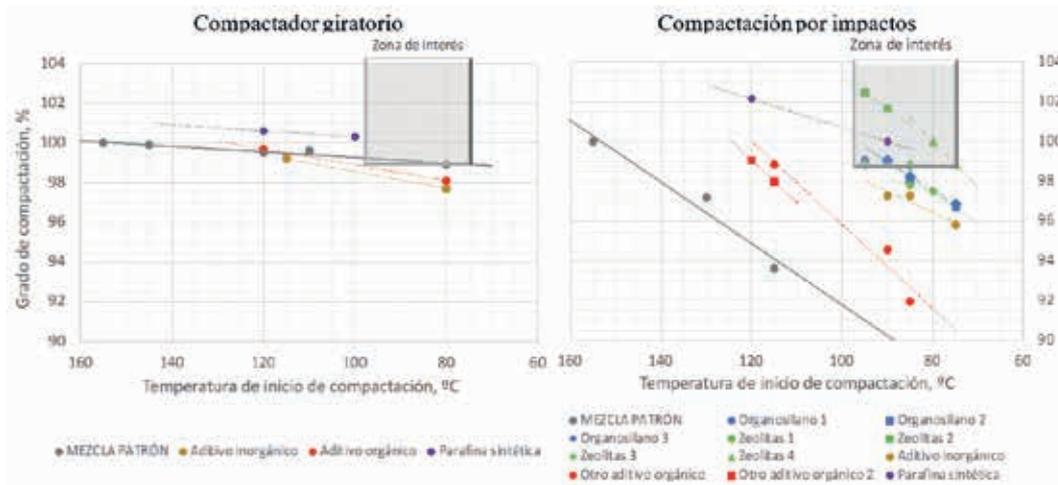


Figura 2. Temperatura y grado de compactación en mezclas de laboratorio

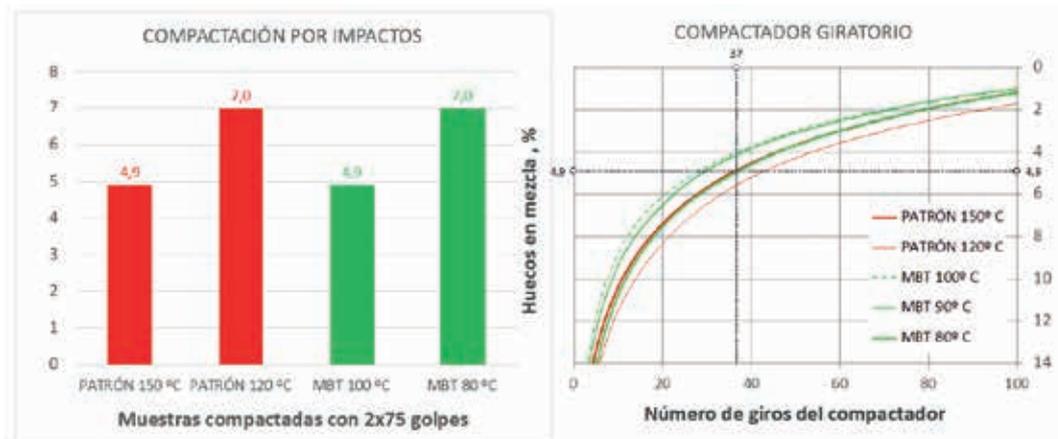


Figura 3. Resultados obtenidos con la compactación por impactos y giratoria en una de las combinaciones ensayadas

Finalmente, para las combinaciones seleccionadas se analizaron las curvas de compactabilidad proporcionadas por el compactador giratorio. En la figura 3 se pueden comparar con los resultados de la compactación por impactos. En este caso se trata de una alternativa que, como puede verse en el gráfico de la izquierda, permite alcanzar la densidad de referencia (mezcla patrón compactada por impactos a 150 °C) a 100 °C y el 97,9% de la densidad de referencia a 80° C. En el gráfico de la derecha se observa que, con la mezcla patrón bastan 37 giros del compactador giratorio para igualar la densidad alcanzada con la compactación por impactos; a 120 °C y con la mezcla a baja temperatura, el número de giros necesario es incluso inferior. Se ensayaron así seis alternativas de producción, de las cuales tres fueron seleccionadas como prioritarias para la realización de ensayos con mezcla de central.

El gráfico derecho también explica la insensibilidad de la densidad a 100 giros para distinguir entre alternativas. Con un número de giros más apropiado (40 a 60 giros) las diferencias son más evidentes. En todo caso, la curva de

compactación de la mezcla compactada a 80 °C reproduce casi exactamente la correspondiente a la mezcla patrón, hecho que sirvió para dar por concluidos, satisfactoriamente, los ensayos con mezcla de laboratorio.

## 2.2. Adaptación de la central de fabricación

Al mismo tiempo que se desarrollaron los estudios de laboratorio, en la central de fabricación AMMANN-SIM SB-280 que ARNÓ tiene instalada en las proximidades del aeropuerto de Lleida, se introdujeron las adaptaciones necesarias para producir mezclas bituminosas a bajas temperaturas por distintos procedimientos: se instaló un grupo de dos tolvas para la introducción de árido frío y RAP directamente en la mezcladora, un sistema de extracción de vapor de agua y para su conducción desde la mezcladora hasta el filtro de mangas, un espumador de betún, un segundo circuito de ligantes y se substituyó el programa de control para gobernar la central incluyendo las nuevas opciones de fabricación.



Fotografías 1 y 2. Tolvas para la introducción de áridos y RAP fríos (izquierda) y sistema de evacuación de vapor (derecha)



Fotografías 3 y 4. Introducción manual de aditivos sólidos en la mezcladora (izquierda) y líquidos en la báscula del betún (derecha)

La central contaba ya con un equipo de dos silos para la incorporación de aditivos secos en la amasadora y un sistema para introducir aditivos líquidos en el ligante bituminoso, aunque en las pruebas con mezcla de central estas operaciones se realizaron manualmente, a través de un acceso directo a la mezcladora en el caso de los aditivos sólidos, o de la báscula de betún para los aditivos líquidos.

### 2.3. Pruebas con mezcla de central

#### *Primeras pruebas*

Las pruebas en central se iniciaron con las alternativas que ofrecieron mejores resultados en los ensayos de laboratorio y, junto con diversas combinaciones, fueron ensayadas una vez ordenadas en función de sus respectivos costes y dificultades: empezando por las más

económicas, las de implantación más sencilla, y las que afectan en menor medida a la operación y al rendimiento de la central de fabricación.

Se tomaron muestras en amasadas independientes de 2.000 kg cuya producción resultó muy laboriosa por la dificultad de controlar la temperatura de la mezcla en producciones discontinuas y, especialmente, operando la central en condiciones tan diferentes de las habituales. Estos inconvenientes desaparecieron gracias al nuevo procedimiento de fabricación que se describe a continuación.

#### *Nuevo procedimiento de mezclado*

Para resolver los problemas de sensibilidad al agua de las mezclas bituminosas semicalientes encontrados durante las primeras pruebas, se diseñó un nuevo procedimiento de fabricación consistente en introducir los áridos en la mezcladora por dos vías distintas: una parte,



Fotografías 5 y 6. Controles de temperatura de la mezcla de áridos (izquierda) y de la mezcla bituminosa semicaliente (derecha).

comprendiendo las fracciones con mayor proporción de humedad, a través del tambor secador y calentados a las temperaturas habituales (160 a 170 °C); el resto, formado por la fracción más seca, desde las tolvas con acceso directo, es decir, a temperatura ambiente. Los problemas relacionados con la existencia de humedad residual en la mezcla bituminosa final se limitan así a la contenida, en su caso, en la fracción introducida en frío.

Las proporciones que han de ser introducidas por cada línea dependen de la temperatura de calentamiento de la fracción que pasa por el tambor secador, de la temperatura objetivo de la fabricación y de la humedad y temperatura de la fracción fría. Despreciando las pérdidas de calor que tiene lugar hasta que se alcanza el equilibrio térmico en la mezcladora de la central, debe verificarse que la variación de entalpía del conjunto de la mezcla de áridos (H) es cero:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 0 \tag{1}$$

donde el subíndice 1 se refiere a la fracción que ha sido calentada en el tambor secador hasta la temperatura  $T_1$  y el subíndice 2 a la fracción introducida fría a una temperatura  $T_2$ , con una humedad  $w_2$ . Si la temperatura de la mezcla final es  $T_{1+2}$ , su humedad residual  $w_r$  (expresada sobre la masa de la fracción fría),  $CE_a$  y  $CE_w$  los calores específicos de los áridos y del agua líquida, respectivamente,  $T_{ew}$  la temperatura promedio de evaporación del

agua y  $E_w$  la energía de cambio de estado líquido-vapor del agua, puede escribirse:

$$\Delta H_1 = p_1 (T_1 - T_{1+2}) CE_a$$

$$\Delta H_2 = p_2 [(T_2 - T_{1+2}) CE_a + w_2 (T_{ew} - T_2) CE_w + (w_2 - w_r) E_w]$$

y resolviendo la ecuación 1:

$$p_2 = \frac{(T_1 - T_{1+2}) CE_a}{(T_1 - T_{1+2}) CE_a + (T_{1+2} - T_2) + w_2 (T_{ew} - T_2) CE_w + (w_2 - w_r) E_w}$$

$$p_1 = 1 - p_2$$

La tabla 1 es un ejemplo de los resultados correspondientes a la combinación de dos fracciones de árido a las temperaturas y con los contenidos de humedad indicados, para  $CE_a = 0,835 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  ( $CE_w = 4,184 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}$ ;  $E_w = 2250 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

De acuerdo con resultados proporcionados por los cálculos, se fabricó mezcla de central con un 71% de áridos procedentes de los silos en caliente, a temperaturas comprendidas entre 160 y 170 °C, y un 29% de las tolvas con acceso directo a la mezcladora. Para la mezcla AC16 S patrón, estas proporciones supusieron introducir en frío casi la totalidad de la fracción 6/12. El nuevo procedimiento de mezclado se ensayó, además de con la mezcla bituminosa de referencia, en mezclas elaboradas con betún 35/50 y sustituyendo un 1% del fíller de recuperación por hidróxido cálcico.

HUMEDADES			TEMPERATURAS				PROPORCIONES	
$w_1$	$w_2$	$w_{res}$	$T_1$	$T_2$	$T_{ew}$	$T_{1+2}$	$p_1$	$p_2$
0%	0,1%	0%	165 °C	20 °C	90 °C	120 °C	69,6%	30,4%
0%	0,2%	0%	165 °C	20 °C	90 °C	120 °C	70,2%	29,8%
0%	0,4%	0%	165 °C	20 °C	90 °C	120 °C	71,4%	28,6%



Fotografías 7 y 8. Introducción de hidróxido cálcico y aditivo seco en la mezcladora (izquierda) y control termográfico de la temperatura (derecha).



Fotografías 9 y 10. Mezcla bituminosa en la tolva de la extendidora (izquierda) y extendido en tres franjas (derecha).



Fotografías 11 y 12. Temperaturas de inicio de compactación.

### Construcción de un tramo experimental

Con objeto de determinar la mínima temperatura de inicio de compactación compatible con las nuevas mezclas bituminosas semicalientes, se construyó un tramo experimental en la zona reservada para este tipo de pruebas con que cuenta ARNÓ en sus instalaciones de Alfarrás (Lleida), a 15 km de la central de fabricación. La mezcla bituminosa semicaliente se extendió en tres franjas cuya compactación se inició a las temperaturas de 105 °C, 90 °C y 75 °C, respectivamente. Las pérdidas de temperatura durante la

operación de transporte de la mezcla fueron mínimas (fotografías 9 y 10) y fue necesario retener el inicio de la compactación aún en la franja más caliente (fotografías 11 a 12). Se empleó un compactador tándem BOMAG BW-161 de 10,5 t y un compactador de neumáticos CORINSA 14-21 de 27 t (fotografías 13 y 14) siguiendo las pautas de compactación típicas de la puesta en obra de una capa de rodadura en una carretera convencional. A las 24 horas de la puesta en obra se extrajeron testigos para analizar el grado de compactación alcanzado en cada franja.



Fotografías 13 y 14. Compactador tándem (izquierda) y de neumáticos (derecha).



Fotografías 15 y 16. Tramo experimental después de la extracción de testigos (izquierda) y aspecto de uno de los testigos extraídos (derecha).

### 3. Resultados y análisis de los resultados

#### 3.1. Primeros ensayos con mezcla de central

##### Volumétricos

En la tabla 2 se presentan los valores promedio de densidad (D.), huecos en mezcla (H.M.), volumen de betún (V.B.) y huecos en áridos (H.A.) de dos series de probetas de mezcla patrón y de la primera mezcla a baja temperatura que satisfizo los requisitos volumétricos. Se trata de una mezcla fabricada a 115 °C con betún espumado, un compuesto orgánico reductor de la viscosidad del betún y un agente surfactante, compactada por impactos a 90 °C.

##### Sensibilidad al agua

La resistencia a la acción del agua (UNE-EN 12.697-12) de la nueva mezcla resultó peor que la de la mezcla patrón, como puede comprobarse en la tabla 3, donde

RTI es la resistencia a compresión diametral en seco (s) y tras inmersión (h) y h/s el cociente RTI h/RTI s. Se considera que esta pérdida de resistencia se debe a la presencia de humedad residual (4, 5).

##### Envejecimiento del betún

El efecto de la temperatura de fabricación en el envejecimiento a corto plazo del betún se midió con ensayos de Penetración (UNE-EN 1426) y Temperatura del Punto de Reblandecimiento (UNE-EN 1427) sobre el betún recuperado después de su extracción de las mezclas bituminosas (Tabla 4). Como era de esperar, el betún de la mezcla semicaliente se encontró significativamente menos envejecido.

##### Ensayo Fénix y módulo resiliente

Se ha contado con la colaboración del departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) para ensayar series de probetas

Tabla 2. Volumetría de las probetas de las mezclas patrón y producida a 115 °C

MUESTRAS		MEZCLA PATRÓN				MEZCLA A BAJA TEMPERATURA			
Probeta	Golpes	D.	H. M.	V. B.	H. A.	D.	H. M.	V. B.	H. A.
(grupo)	(núm.)	(g/dm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(g/dm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
01 a 09	2x75	2370	4,0	11,0	15,0	2364	4,3	11,1	15,4
10 a 15	2x50	2337	5,4	10,8	16,0	2328	5,5	10,9	16,4

**Tabla 3. Sensibilidad al agua de las mezclas patrón y producida a 115 °C**

MUESTRAS		MEZCLA PATRÓN				MEZCLA A BAJA TEMPERATURA			
Probeta	Golpes	D	RTI s	RTI h	h/s	D	RTI s	RTI h	h/s
(grupo)	(núm.)	(g/dm³)	(%)	(%)	(%)	(g/dm³)	(%)	(%)	(%)
10 a 15	2x50	2337	2338	2091	87,7	2328	1455	948	65,2

**Tabla 4. Endurecimiento del betún según la temperatura de fabricación**

TEMPERATURA de fabricación	PENETRACIÓN		Tª. PUNTO REBLAND.	
	Valor	Retenida	Absoluta	Incremento
Original	53· 10 <sup>-1</sup> mm	100 %	51,0 °C	0,0 °C
115 ° C	46· 10 <sup>-1</sup> mm	87 %	52,4 °C	1,4 °C
160 ° C	37· 10 <sup>-1</sup> mm	70 %	55,6 °C	4,6 °C
170 ° C	32· 10 <sup>-1</sup> mm	60 %	56,6 °C	5,6 °C

**Tabla 5. Módulos resilientes a 20 °C**

MUESTRAS		MEZCLA PATRÓN		A BAJA TEMPERATURA.	
Probetas	Golpes	Densidad	Módulo	Densidad	Módulo
(nº de orden)	(número)	g/dm³	MPa	g/dm³	MPa
Promedio (1-9)	2x75	2370	5454	2364	4371

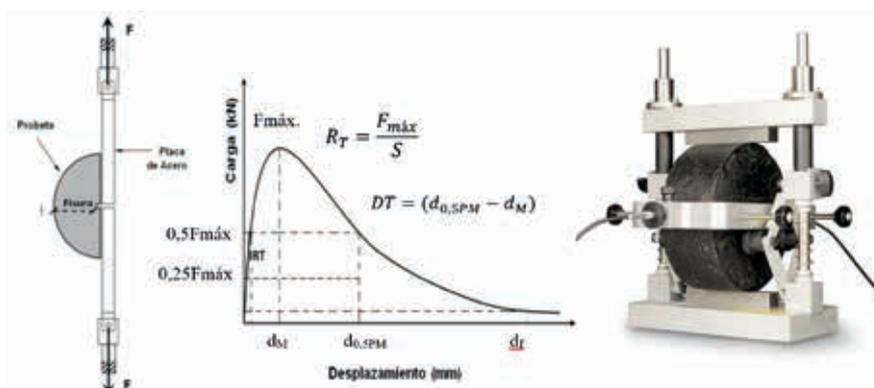


Figura 4. Ensayo Fénix (izquierda) y módulo resiliente (derecha).

de mezclas patrón y a baja temperatura con ensayos de carácter más fundamental. De acuerdo con su propuesta, las muestras fueron sometidas a ensayos Fénix (NLT-383) y de módulo resiliente (UNE EN 12.697-26, Anexo C) (figura 4). Los módulos reflejaron el distinto grado de endurecimiento a corto plazo del betún (tabla 5) mientras que

con el ensayo Fénix se observó que la mezcla a baja temperatura presenta mayor ductilidad, similares resistencia y tenacidad a 20°C, y una respuesta a -5 °C comparable a la de la mezcla patrón a 5 °C, lo que debe considerarse una ventaja de las nuevas mezclas bituminosas semicalientes desarrolladas.

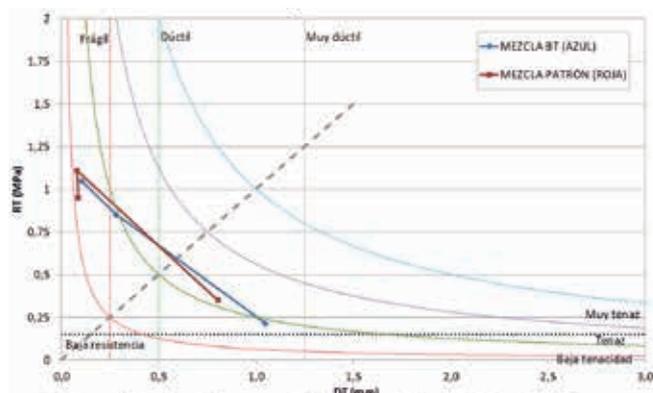


Figura 5. Diagrama Fénix © (© asociado a una metodología de ensayo. Laboratorio de Caminos UPC)

Una explicación detallada del significado y método de cálculo de los parámetros analizados con el ensayo Fénix puede encontrarse en Pérez-Jiménez, et al. (2014) (6).

### 3.2. Nuevo procedimiento de fabricación

Para solucionar los problemas atribuidos a la presencia de humedad residual en la nueva mezcla bituminosa semicaliente, se analizaron las posibilidades ofrecidas por diversos tratamientos. Entre los más conocidos y prometedores se encuentra el uso de hidróxido cálcico sustituyendo una parte del polvo mineral de los áridos y, por tanto, es una opción que se adoptó junto el nuevo

**Tabla 6. Resultados de sensibilidad al agua y ensayo en pista**

ENSAYO	SENSIBILIDAD AL AGUA				ENSAYO EN PISTA		
	Densidad	RTI seca	RTI h�m.	RTI h/s	WTS aire	PRD aire	RD
MEZCLA	(g/dm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(mm/103)	(%)	(mm)
AC 16 SURF S 50/70	2340	1946	1642	84,4	0,127	8,6	5,2
AC 16 SURF S 35/50*	2347	1937	1661	85,7	0,067	5,4	3,3

**Tabla 7. Densidades y grados de compactación alcanzados en cada franja del tramo experimental**

Propiedad	TEMPERATURAS		DENSIDAD	H. M.	G. C.
	Fabricación	Inicio compact.	promedio	promedio	promedio
Probetas	115 �C	90 �C	2362 g/dm <sup>3</sup>	4,4 %	100,0 %
Testigos franja 1	115 �C	105 �C	2316 g/dm <sup>3</sup>	6,2 %	98,2 %
Testigos franja 2	115 �C	90 �C	2312 g/dm <sup>3</sup>	6,8 %	97,6 %
Testigos franja 3	115 �C	75 �C	2262 g/dm <sup>3</sup>	8,4 %	96,0 %

procedimiento de mezclado descrito en el apartado 2.3 anterior.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6 donde puede observarse que con las dos formulaciones ensayadas mejor  apreciablemente la resistencia a la acción del agua. El nuevo procedimiento de mezclado bastó para solucionar los problemas causados por la humedad residual, aunque se requirió la adición de hidróxido cálcico (o utilizar betún 35/50) para satisfacer los requisitos de resistencia a las deformaciones permanentes.

### 3.3. Tramo experimental

En la tabla 7 se muestran los resultados los ensayos realizados sobre los testigos extraídos del tramo experimental de densidad, huecos en mezcla (H. M.) y grado de compactación (G.C.).

La figura 6 es una representación gráfica donde puede observarse que a temperaturas de inicio de compactación tan bajas como 85  C es posible obtener grados de compactación satisfactorios.

Actualmente, ARNÓ dispone ya del marcado CE de tres de sus mezclas a baja temperatura (figura 7) y est  tramitando nuevos certificados para ampliar su catálogo de mezclas semicalientes susceptibles de ser producidas a temperaturas inferiores a 120  C.

### 3.4. Aplicaciones en obra

Las primeras aplicaciones en obra se han llevado a cabo en el Valle de Ar n, en la carretera de Es B rdes a Artiga de Lin y en la LP-3322 en la Variante de Linyola, ambas en la provincia de Lleida, con resultados exitosos.

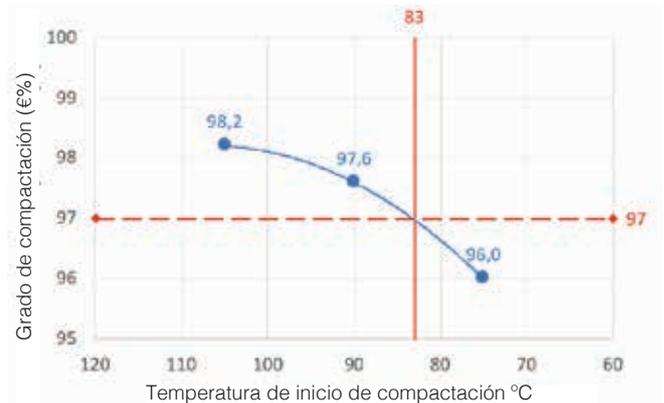


Figura 6. Temperatura de inicio de compactación y grado de compactación

<b>AC 16 SURF 50/70 S (Ca(OH)<sub>2</sub>) Semicaliente (85-120�C)</b>	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso. EN 13108-1:2006 y EN 13108-1:2006/AC:2008
<b>AC 16 SURF 35/50 S (Ca(OH)<sub>2</sub>) Semicaliente (85-120�C)</b>	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso. EN 13108-1:2006 y EN 13108-1:2006/AC:2008
<b>AC 16 SURF PMB 45/80-65 S Semicaliente (95-130�C)</b>	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso. EN 13108-1:2006 y EN 13108-1:2006/AC:2008

Figura 7. Marcado CE de mezclas bituminosas a T<120  C

### 3.5. Reutilización de RAP

Para alcanzar los objetivos del proyecto ASFALMIN sin perjudicar la regeneración del betún presente en el RAP se ha concebido un mezclado secuencial mediante el cual la las temperaturas de los áridos y del RAP se reducen en varias fases: en primer lugar, se utilizan áridos sobrecalentados para elevar la temperatura del RAP hasta valores próximos a 150  C; a continuación, la introducción de una segunda fracción de árido virgen, a temperatura ambiente y en la proporción adecuada, sirve para llevar la temperatura de la mezcla final hasta la temperatura objetivo de la mezcla semicaliente. Una descripción detallada de las ventajas de este procedimiento excede el alcance de esta comunicación y, por tanto, su divulgación se emprender  en próximas ocasiones.

## 4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados del proyecto ASFAL-TMIN, reduciendo significativamente la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas en caliente, es posible producir mezclas semicalientes con menores impactos ambientales que algunas mezclas templadas producidas a temperaturas inferiores. La herramienta de cálculo ECCO2 permite cuantificar el alcance de estas mejoras, que guardan una relación directa con evitar la introducción de agua por cualquier vía, ya sea como agua de proceso o en forma de emulsión bituminosa.

Ha podido comprobarse que no basta con reproducir la volumetría de la mezcla compactada para justificar la equivalencia entre mezclas en caliente y semicalientes, especialmente si la temperatura de fabricación es inferior a 120 °C. La sensibilidad al agua de estas últimas puede resultar crítica, probablemente debido a la presencia de humedad residual, así como su resistencia a las deformaciones permanentes, a causa de un menor envejecimiento a corto plazo del betún. Las soluciones aportadas por el proyecto ASFAL-TMIN comprenden un nuevo procedimiento de mezclado que asegura un secado completo de las fracciones de los áridos con mayores contenidos de humedad y que facilita la operación de la central de fabricación.

Los ensayos de carácter más fundamental (ensayo Fénix y módulo resiliente), han mostrado también algunas diferencias entre la mezcla patrón y las nuevas mezclas semicalientes, en general, favorables a estas últimas y atribuibles al distinto envejecimiento a corto plazo padecido por sus respectivos ligantes. A este respecto, parece una buena recomendación optar por diseñar estas nuevas mezclas semicalientes con un betún un grado más duro que el de la mezcla bituminosa en caliente de referencia.

En definitiva, se ha concluido que son varias las tecnologías (o más bien, las combinaciones de tecnologías), aptas para alcanzar los objetivos perseguidos con el presente proyecto de investigación. Las mayores dificultades que deben superarse tienen que ver con la sensibilidad al agua de las mezclas a bajas temperaturas, con la adaptación de la central de fabricación, con su operación eficiente y con un correcto funcionamiento del filtro de mangas. Una vez más, permitir que los fabricantes pongan a punto procedimientos productivos propios y limitar las prescripciones técnicas al control de las propiedades del producto terminado parece el mejor modo de impulsar la innovación, también en relación con la producción de mezclas bituminosas a bajas temperaturas.

## Agradecimientos

El proyecto de investigación ASFAL-TMIN (Mezclas Asfálticas de mínimas emisiones y demanda energética, IDI-20171092), dirigido a desarrollar mezclas bituminosas semicalientes energéticamente más eficientes y de menores impactos ambientales fue incluido en el programa de ayudas de CDTI 2017. Los autores, en su propio nombre, y en el de ARNÓ, desean manifestar su agradecimiento por el importante apoyo recibido.

## Referencias

- [1] Ortiz Ripoll, J. y Crisén, X.: Temperaturas, consumos energéticos y emisiones de mezclas bituminosas en caliente, semicalientes y templadas. XV Jornadas de Conservación y Explotación de Carreteras. Valencia, 22 a 24 de mayo de 2018
- [2] Ortiz Ripoll, J.; Crisén, X. y Sorribas, E.: Impactos ambientales de las mezclas bituminosas según el modelo ECCO2. XIV Jornada ASEFMA, Madrid, mayo de 2019.
- [3] Ortiz Ripoll, J.; Crisén, X.; Miró, R. y Martínez, A.: Environmental impacts of hot, warm and half warm recycled bituminous mixtures. Proceedings of 7th Eur-asphalt & Eurobitumen Congress. Madrid, 12-15 de mayo de 2020.
- [4] Parker, F.: Residual moisture in hot mix asphalt mixtures. Auburn University Highway Research Center 238 Harbert Engineering Center. Auburn, AL 36849-5337, 1998.
- [5] Kennedy, T. y Huber, G.: The effect of mixing temperature and stockpile moisture on asphalt mixtures. Center for Transportation Research. The University of Texas at Austin. Research report 358-1, 1984.
- [6] Pérez-Jiménez, F.; Valdés G.; Muñoz, M.; Miró, R.; Martínez, A.; Botella, R. y Amorós, J.: Criterios y especificaciones para el uso del ensayo fénix en el diseño de mezclas bituminosas tipo AC. IX Jornada Nacional de ASEFMA, Madrid, España, 2014. ❖

# PIARC

## 2ª CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE LA EXPLOTACIÓN Y LA SEGURIDAD DE LOS TÚNELES DE CARRETERA

y

## VIII SIMPOSIO NACIONAL DE TÚNELES

### 25 - 28 de octubre de 2022 - Granada, ESPAÑA



ORGANIZA:



PROMUEVE:



COLABORAN:



# XVI Congreso Mundial de Vialidad Invernal y Resiliencia de la Carretera

El XVI Congreso Mundial de Vialidad Invernal y Resiliencia de la Carretera organizado por PIARC, el Ministerio de Transportes de Canadá y la Ciudad de Calgary, se celebró virtualmente del 7 al 11 de febrero de 2022 bajo el lema de Adaptándonos a un mundo cambiante.

## Miguel Caso Florez

Director Técnico

PIARC

El Congreso contó con la participación de cerca de 800 delegados de más de 50 países, unos 240 ponentes para sus 66 sesiones durante 5 días, 11 países representados en la Sesión de Ministros, incluida España representada por la Ministra Dña. Raquel Sánchez Jiménez, y 8 pabellones nacionales, incluido el pabellón de España coordinado por ACEX con la participación del MITMA, AULLASA y Elsamex.

PIARC organiza cada cuatro años un Congreso Mundial desde 1908, y también cada cuatro años un Congreso Invernal desde 1969. Un sistema análogo al de los Juegos Olímpicos. Tras más de medio siglo de Congresos

Invernales de PIARC, dos importantes novedades fueron establecidas para el Congreso de Calgary en 2022:

- PIARC quiso abrir el Congreso a sus 124 países miembros, incluidos aquellos que no tienen nieve ni hielo en sus carreteras, y para ello además del tema de la vialidad invernal se añadió el tema de la resiliencia, de gran importancia para los países miembros y sobre el que trabajan 10 de los 25 Comités Técnicos de PIARC.
- La pandemia obligó al Congreso a adaptarse, y PIARC decidió mantener las fechas y organizar el primer Congreso de su historia en formato 100% virtual.



XVI CONGRESO MUNDIAL DE VIALIDAD INVERNAL Y RESILIENCIA DE LA CARRETERA  
Adaptándonos a un mundo cambiante



Dña. Raquel Sánchez Jiménez, representando a España en la Sesión de Ministros



Zona de exposición de los pabellones nacionales



Vestíbulo virtual de acceso del Congreso

Los Comités Técnicos y Grupos de Estudio de PIARC que participaron en el Congreso fueron:

- El CT 3.2 Vialidad invernal, gestionando la mitad de la temática del Congreso.
- 10 CT y GE compartiendo la otra mitad de la temática sobre resiliencia:
  - o CT 1.4 Cambio climático y resiliencia de la red de carreteras
  - o CT 1.5 Gestión de desastres
  - o CT 2.3 Transporte de mercancías
  - o CT 2.4 Operación de la red de carreteras e ITS
  - o CT 3.3 Gestión de activos viales
  - o GE 3.1 Seguridad de la infraestructura vial y el transporte
  - o CT 4.1 Firmes
  - o CT 4.2 Puentes
  - o CT 4.3 Obras de tierra
  - o CT 4.4 Túneles

La primera novedad, la inclusión del tema de la resiliencia en el Congreso, fue un éxito. El Congreso supo mantener la temática central de la Vialidad Invernal, que constituyó cerca del 55% de las sesiones y de los artículos recibidos, manteniéndose como la cita mundial de la vialidad invernal, aspecto que PIARC quiere mantener como gran prioridad para estos congresos y que cuenta con un público fidelizado, muy interesado y valioso, y al mismo tiempo el tema de la resiliencia, tan importante en estos tiempos para los países miembros de PIARC, permitió abrir este Congreso a países muy activos dentro de PIARC pero que no cuentan con nieve y hielo en sus carreteras, como Australia, Colombia, Malasia, México o Paraguay.



Felipe Collazos-Arias, del MITMA, recibiendo el Premio mundial de la Resiliencia

Todo esto llevó a modificar el título del Congreso, no solo para incluir el aspecto de la resiliencia sino para modificar su apelación de internacional a mundial, porque ahora sí, todos los países están invitados a unirse con temáticas que desarrollan cotidianamente en su práctica profesional dentro del sector de la carretera.

El tema de la resiliencia también abrió el Congreso a profesionales que no se dedican a la vialidad invernal en países que sí tienen nieve. De hecho, el Premio Mundial de la Resiliencia de la Carretera fue otorgado a los autores españoles Felipe Collazos-Arias del MITMA como autor principal, y a Laura Parra-Ruiz y Mónica Alonso Plá ambas del CEDEX como coautoras. El artículo completo, sobre el incremento de la resiliencia en las carreteras de Cantabria, se encuentra publicado en esta revista.

Adicionalmente se otorgaron otros cuatro Premios Mundiales:

- Vialidad invernal, ganado por Roberto Tokunaga del IIOF de Japón.
- Jóvenes profesionales, ganado por Rémi Reiff del Cerema de Francia.
- Autores de países de bajos y medianos ingresos, ganado por Iracema Mascarenhas de Mozambique.
- Adaptándonos a un mundo cambiante, ganado por Akihiko Masuo del Ministerio MLIT de Japón

La segunda novedad, la de organizar un Congreso totalmente virtual, tuvo sus ventajas y sus inconvenientes. La decisión de realizarlo completamente en línea vino condicionada por la pandemia, y en ese sentido fue acertada, pues las restricciones sanitarias y de desplazamientos en vigor en el país sede y en muchos de los países miembros de PIARC, no hubiesen permitido realizar con éxito un congreso mundial presencial.

Tanto el país sede, como la Secretaría General y los 11 Comités Técnicos y Grupos de Estudio implicados

en el Congreso invirtieron mucho esfuerzo, trabajo y energía, y eso se plasmó en el resultado del Congreso. Por supuesto en su contenido técnico, que como de costumbre en PIARC, fue de muy alto nivel y al mismo tiempo muy aplicable a la realidad del sector de la carretera. En paralelo, todos los implicados en la organización trabajaron en la experiencia virtual haciéndola lo más interesante posible. El país sede ofreciendo plataformas virtuales punteras que se pudieron adaptar a las particularidades de los Congresos de PIARC. Los Comités proponiendo ideas innovadoras de tipos de sesiones que se adaptasen al formato digital, como las sesiones-cuestionario con respuestas de la audiencia y explicaciones de los expertos, o las sesiones de auto-presentación donde cada participante del público interesado en un tema técnico se presentaba brevemente así como su trabajo. Y la Secretaría General estructurando el contenido y programa técnico del Congreso.

Uno de los mayores desafíos fue organizar un congreso para 24 husos horarios. La solución final fue dividir las jornadas en dos bloques de 4 horas con un descanso de 4 horas entre ellas, todo centrado en horario de Calgary. De esta forma el bloque de 4 horas de la mañana de Calgary estaba disponible para África, América y Europa, mientras que el bloque de la tarde de Calgary estaba accesible a América, Asia y Oceanía. Una de las escasas ventajas del formato virtual frente al presencial, es que todas las sesiones se pudieron grabar fácilmente, quedando las grabaciones a disposición de los delegados durante toda la duración del Congreso y hasta finales de junio 2022.

Desde la organización se apostó para que las presentaciones no fueran grabadas antes de la sesión, sino que se realizasen en directo. Esto permitió que existiese un auténtico diálogo entre presentadores, donde podían comentar aspectos de la presentación a partir de la presentación anterior generando un hilo conductor para la sesión y enriqueciendo los debates. No obstante, esto supuso un importante esfuerzo para muchos ponentes que tuvieron que realizar presentaciones en medio de la madrugada.

Se pensó que el formato virtual podría atraer a más participantes de países de bajos y medios ingresos, ya que no habría que soportar costes de viaje y alojamiento. Sin embargo esto no fue así, probablemente porque aunque la inscripción al Congreso fue más económica que si fuera presencial, seguía teniendo un precio elevado para estos países.

Se diseñó un programa para fomentar los intercambios entre participantes, a través de sesiones en vivos y herramientas asíncronas de chats individuales y por

temáticas. No obstante, los intercambios en el formato virtual con las tecnologías actuales y las costumbres de los profesionales del sector, están muy lejos de igualar a los intercambios que se generan en un evento presencial.

## Pinceladas técnicas

Durante las más de 200 presentaciones del Congreso, hubo muchos aspectos interesantes e innovadores que destacar. En los siguientes párrafos se mencionan algunos de ellos.

### Uso de Big Data a partir de vehículos conectados para la vialidad invernal

Desde 2018 la Administración de Transportes de Suecia utiliza el análisis de Big Data de los datos de fricción que producen los vehículos conectados para desarrollar sus intervenciones en vialidad invernal. Los vehículos conectados producen multitud de datos continuamente, entre ellos los de la fricción de los neumáticos con la infraestructura, alertando de pérdidas de adherencia. Estos datos son agrupados y anonimizados por una empresa productora de los sensores que utilizan varios constructores de automóviles, y son enviados a la Administración de Transportes, quien los analiza tanto para activar intervenciones urgentes como para medir la eficacia de sus intervenciones anteriores. Las estadísticas dicen que el primer accidente se suele producir de 30 a 90 minutos después de las primeras señales de pérdida de adherencia, con lo que la Administración de Transportes tiene como objetivo intervenir 10 minutos después de las primeras señales consistentes, evitando así la gran mayoría de accidentes.

**XVI WORLD WINTER SERVICE AND ROAD RESILIENCE CONGRESS**  
Adapting to a Changing World

Presentación del uso de Big Data sobre los datos de los vehículos conectados en una Sesión Técnica del Congreso



Presentación del Foro Internacional de Transporte de la OCDE en una Sesión Prospectiva del Congreso

**Invertir en descarbonización de los vehículos con apoyo de la infraestructura.**

Las inversiones masivas tras la pandemia para reactivar la economía y el empleo, deberían incluir inversiones para la descarbonización del transporte tanto para los vehículos como para la infraestructura que suministra la energía alternativa, incluidos los llamados Sistemas de Carreteras Eléctricas, que recargan los vehículos en movimiento, ya sea con catenarias (como los ya puestos en servicio en Alemania, Suecia y California), otros sistemas por conducción o sistemas por inducción. Se destacó particularmente el momento importante que vive la descarbonización de los vehículos pesados. 12 países y tres regiones subnacionales han aprobado leyes para tener una parte importante de camiones eléctricos en 2030 y la totalidad en 2040. Estos países representan el 9% de las toneladas kilómetros actuales. Otros 53 países han aprobado documentos de políticas públicas en el mismo sentido, representando otro 76% de las toneladas kilómetro mundiales.

**Databook sobre el hielo y la nieve 2022**

Como es habitual desde hace más de 20 años, los Congresos de Vialidad Invernal de PIARC llevan asociados la publicación del Databook sobre el hielo y la nieve, que se publica cada cuatro años y que presenta como la vialidad invernal es entendida y desarrollada en más de 20 países. Con la digitalización de los esparcidores, el reciente desarrollo de la transmisión inalámbrica de datos, los vehículos conectados y la tecnología de sensores de carretera, la cantidad potencial de datos disponibles para las decisiones de mantenimiento invernal crece rápidamente. Por ello, el servicio invernal debe pensar en cómo utilizar bien estos datos.



El Databook sobre el hielo y la nieve 2022

El desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente son temas fundamentales que permiten reflexionar regularmente sobre la definición de mejores estrategias y la mejora de nuestras prácticas. Para avanzar en esta línea, compartir la experiencia con otros se ha convertido en algo esencial. El documento está disponible gratuitamente en [www.piarc.org](http://www.piarc.org)

En resumen, fue un excelente Congreso donde se debatieron temas emergentes de gran importancia técnica y donde la comunidad mundial de la vialidad invernal se pudo encontrar de nuevo a pesar de la pandemia, acogiendo también a los profesionales de la resiliencia de la carretera. Como indica el dicho canadiense Si eliges que la nieve no te hace feliz, serás menos feliz en tu vida, pero aún así tendrás la misma cantidad de nieve. ❖



## Premio Mundial PIARC “Resiliencia de la carretera, adaptación al cambio climático”

# Incremento de la resiliencia de las obras de tierra de las carreteras del Estado en el Norte de España. Lecciones aprendidas en el periodo 2011-2018

## Increasing resilience of earth structures on road of Northern Spain. Lessons learned in the period 2011-2018

**Felipe Collazos Arias**

*Dirección General de Carreteras  
MITMA*

**Laura Parra-Ruiz**

*CEDEX*

**Mónica Laura Alonso Plá**

*CEDEX*

En esta comunicación se analizan las últimas experiencias en materia de drenaje de taludes y cimentaciones, así como la gestión del agua de escorrentía para mejorar la resiliencia de las infraestructuras viarias. Las actuaciones fueron consecuencia de las lluvias temporales y las condiciones meteorológicas adversas entre los meses de enero y febrero de 2010 y 2018, que provocaron daños singulares en varios taludes de carreteras del Norte de España. El objetivo de la reparación fue restablecer la seguridad vial y la estabilidad de las carreteras. En cuanto al drenaje de taludes y terraplenes, la actuación realizada en el talud de la autopista A-8 incluye su estabilización mediante Ingeniería Biológica. Todas las actuaciones presentadas en este artículo han demostrado su validez a lo largo de los últimos años de explotación de la carretera.

This paper presents and evaluates some of the most recent experiences and research projects related to increasing resilience and sustainability on roads of northern Spain.

The most remarkable actions carried out to adapt the roads to the effects of climate change have been due to the need to respond to extreme weather events occurred during Winter seasons. From 2011 to 2018, cantabrian roads suffered several damages due to continuous intense rainfall, wind and snow. Works to restore road and pedestrian safety together with recovering stability of the road infrastructure were accounted as emergency.

Based on recent years experiences, lessons learnt are presented through a collection of successful practical actions implemented to solve the problems occurred, prevent emerging risks and increase the resilience of the road network at operation stage.

An economic assessment of the climate impacts has been done, taking into account both direct and indirect costs. This objective information will help to quantify damages related to climate change on roads of northern Spain and support decision making.

As a whole, it can be said that the region of Cantabria (North of Spain) is an international benchmark both in terms of exploitation of resilient infrastructures and in pioneering research aimed at increasing the sustainability of our roads.

## 1. Introducción

La región de Cantabria, en el norte de España, tiene 5321 km<sup>2</sup>. Básicamente, la región de Cantabria soporta dos zonas climáticas diferentes, el clima oceánico templado y el clima mediterráneo cálido-veraniego.

El Gobierno español, a través de su Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y su Dirección General de Carreteras, posee 600 km de carreteras estratégicas en la región de Cantabria, que dan acceso a los principales servicios sanitarios, turísticos y comerciales.

Las fuertes inclemencias del tiempo, los fenómenos extremos y el cambio climático han provocado impactos transversales principalmente en algunos activos viales, como los taludes. Así, en los últimos años, los gestores de carreteras han experimentado la necesidad de un número creciente de actuaciones de emergencia en esta red estratégica de transporte; lo que puede entenderse como una necesidad de aumentar la resiliencia de la red de carreteras.

Varios activos viales se están volviendo más vulnerables al cambio climático en todo el mundo (Alonso & Parra 2022) preocupando a la comunidad científica y a los gobiernos. En España, el 45% de la red principal y el 4% de la longitud total sufren algún tipo de impacto climático (CEDEX, 2018). La región cántabra no es una excepción, diversos estudios constatan los crecientes impactos relacionados con el clima en las infraestructuras, tanto en eventos extremos como en procesos de lenta evolución.

Esta comunicación expone y analiza algunas de las últimas experiencias, aplicaciones y proyectos de investigación enfocados a aumentar la resiliencia y la sostenibilidad en la red de carreteras de Cantabria.

## 2. El cambio climático y sus efectos

El cambio climático y sus efectos en cascada suelen estar asociados a las lluvias intensas, el granizo, la nieve y el hielo, los vientos fuertes, los cambios rápidos de temperatura, las altas temperaturas, la subida del nivel del mar o la crecida del nivel de los ríos y las inundaciones, entre otros. Los eventos relacionados con las lluvias intensas suelen provocar una capacidad insuficiente de los sistemas de drenaje y pueden causar problemas como desprendimientos de tierra, desprendimientos de rocas, erosión de taludes, fallas en los terraplenes, baches y daños en los pavimentos, descalcificación de los cimientos, daños en los pilares, socavación de pilares y obras de contención. Esto, a su vez, provoca pérdidas socioeconómicas, interrupciones del tráfico, retrasos en los desplazamientos y afecta a las condiciones funcionales y físicas de la carretera, dificultando las conexiones de transporte y su servicio a la sociedad que garantizan el acceso, la movilidad y la competitividad de todos los sectores sociales. Por lo tanto, junto con los costes directos de mantenimiento y reconstrucción de carreteras asociados a los eventos relacionados con el clima, también deben identificarse los impactos socioeconómicos. Algunos de ellos están relacionados con las pérdidas económicas (servicios de transporte) pero también con las lesiones y muertes por accidentes de tráfico en la carretera. Estos accidentes pueden ser causados por situaciones inesperadas en la carretera y por la pérdida de control del vehículo en condiciones meteorológicas desfavorables que limitan las características de seguridad de la carretera y pueden llevar a la concentración de puntos peligrosos en zonas donde no se mantienen las expectativas del conductor (Alonso, Alonso, Esteban & Calatayud 2013, Alonso 2015).

En el marco del grupo de trabajo dedicado a la evaluación del cambio cli-

mático y la resiliencia de las carreteras en la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), se está desarrollando una metodología para evaluar la vulnerabilidad de los tramos de carretera a los efectos del cambio climático. Se espera que esta metodología ayude a reducir los riesgos y a aumentar la resiliencia de las redes de carreteras en España. Es importante tener en cuenta que las conclusiones de los trabajos realizados en el grupo de trabajo ayudarán y permitirán una toma de decisiones informada y más eficiente en el futuro (Alonso & Parra 2022). No obstante, los estudios deben ser actualizados teniendo en cuenta los escenarios RCP y cubriendo la falta de información a escala fina de resolución.

Como primer paso, se está probando la metodología en un caso piloto localizado en Cantabria, por su singularidad y experiencias en movimientos de tierra y teniendo en cuenta que en esta región se esperan cambios significativos en las temperaturas y precipitaciones (Gutiérrez et al 2010, Losada et al 2014). Este grupo debe identificar caminos relacionados con todos los niveles de resiliencia de la región.

Además, existe una gran experiencia en la región, como se presentará en este trabajo. En los últimos años, los técnicos de la Dirección General de Carreteras de la región han identificado a través de su juicio experto los elementos más expuestos y cuentan con una amplia experiencia en mantenimiento preventivo y actuaciones de emergencia. Se han utilizado diferentes medidas de mitigación y adaptación, pero se ha identificado que los datos deben ser debidamente registrados. Esto contribuiría a crear una base de datos de eventos relacionados con el clima que ayudaría a mejorar las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo. También se ha detectado que los inventarios de activos tienen un gran margen de mejora. Además, esto facilitaría la gestión de la información, y la cuantificación económica de las



Figura 1. Situación del PK 158,140 MI producido por las fuertes lluvias en la ladera rocosa (aguas arriba) sin actuar.



Figura 2. Situación producida tras las intensas lluvias con caída de piedras.



Figura 3. Seguridad comprometida por la caída de piedras en la carretera N-621 tras las intensas lluvias



Figura 4. Problemas de seguridad vial por la caída de piedras en la carretera N-621 tras las intensas lluvias

medidas, mediante la recopilación de datos económicos de los costes de las diferentes acciones realizadas, permitiría incidir y objetivar, desde un punto de vista económico, la importancia de aumentar la resiliencia de la red a partir de un análisis coste-beneficio basado en las lecciones aprendidas.

Por último, hay que señalar que, en el futuro, se requerirá la implantación de sistemas de monitorización, de alerta temprana y de herramientas para compartir la información con los usuarios finales; todo ello contribuirá a la transparencia y a la difusión de la información, facilitando en última instancia el compromiso de la sociedad civil, tal y como se recoge en algunas de las últimas políticas europeas.

La UE fomenta firmemente que la información climática se refleje en in-

dicés climáticos que sean útiles en el proceso de toma de decisiones en diferentes actividades. Además los índices de vulnerabilidad y diferentes indicadores aparecen como útiles para “climate proofing” (UE, 2021). Para ello, los llamados servicios climáticos son de gran interés. Una herramienta de este tipo se encuentra en el proyecto CLARITY, financiado por el programa H2020 de la UE. para la evaluación de riesgos en infraestructuras urbanas y de transporte (Parra 2021).

### 3. Acciones

Las principales actuaciones llevadas a cabo para adaptar las carreteras cántabras a los efectos del cambio climático y aumentar la resiliencia se han debido a la necesidad de respon-

der a las condiciones meteorológicas extremas del invierno. Desde 2011 hasta 2018, las carreteras cántabras sufrieron varios daños y erosión del suelo debido a las continuas precipitaciones extremas, el viento y la nieve. Los daños fueron reparados por Obras de emergencia para restablecer la seguridad vial y peatonal devolviendo su servicio a la sociedad (Collazos et al 2017, Collazos et al 2022). Los temporales de 2011 y 2018 provocaron numerosas complicaciones en el entorno y en las carreteras que discurren por Cantabria.

Las lecciones aprendidas se basan en la experiencia adquirida en los últimos años, con acciones prácticas exitosas implementadas para resolver los problemas ocurridos, nuevos medios de prevención de riesgos emergentes y

aumento de la resiliencia de la carretera dentro de la fase de explotación.

La información histórica registrada permite a los gestores de carreteras analizar los beneficios y cuantificar los costes de los fenómenos meteorológicos extremos y los impactos climáticos, con ventajas para la toma de decisiones futuras.

En los últimos años, se han identificado tres tipos principales de problemas: la estabilidad de los taludes, la interrupción del tráfico debido a las inundaciones y el asentamiento y el vuelco de los muros de contención.

Nos centraremos en esos tres problemas, y en concreto en la actuación llevada a cabo en el talud de la autopista A-8 incluyendo su estabilización mediante Ingeniería Biológica.

### 3.1. Riesgos e impactos

#### 3.1.1. Interrupción del tráfico debido a las intensas lluvias

El agua de escorrentía debida a un fuerte aguacero puede llegar bruscamente a la carretera y detener (o dificultar) la circulación del tráfico (Figura 1).

Otro posible impacto relacionado con las fuertes lluvias es la caída de rocas. Este impacto se produce en las zonas kársticas. En el tramo del Desfi-

ladero pueden caer una media de 50 piedras al día (Figura 2). En 2009, en el PK 171+800 se registraron 58 incidencias de caída de piedras, con un total de 212 piedras a lo largo del año (Figura 3). En 2014, tras la implantación de algunas medidas de protección, sólo se registraron 21 incidencias por el mismo motivo y 56 piedras (de 3-5cm a 30cm-30cm) (Figura 4). Hay que tener en cuenta que el objetivo de la actuación en dicho PK era canalizar la caída de agua, para no entorpecer el tráfico debido a la presencia de agua en el pavimento. De este modo, se ha reducido la caída de piedras (tamaño medio de 10x8 cm) en un 74%.

#### 3.1.2. Deslizamientos de tierra debido a las intensas lluvias

En cuanto al problema de Tipo 2, se produjo un gran deslizamiento de la calzada derecha (Figura 5), en este caso el talud de la autopista A-8 en el PK 167, en Liendo, el 8 de febrero de 2013, con fuerte desplazamiento horizontal y vertical del la calzada derecha, del orden de 30 y 100 cm respectivamente. Esto provocó el cierre del tráfico en la calzada y la colocación urgente de carriles metálicos en la mediana para evitar que el deslizamiento afectara a la calzada izquierda, que es por donde circulaban los dos sentidos de circulación.

#### 3.1.3 Vuelco de muros de contención debido a lluvias intensas

Los problemas se centran en el asiento y vuelco de muros, generalmente de deslizamiento en su base (empuje excesivo) o en la masa de tierra sobre la que se apoyaban; o aumento de la compresibilidad de la cimentación húmeda. En la A-67, cerca de la localidad de Pujayo, se produjo un desprendimiento en el muro verde de 17 m de altura con una inclinación de 70°, que soporta la autovía en el relleno de acceso al viaducto de Pujayo. Se trata de un desprendimiento superficial de tipo "cuchara" con una longitud aproximada de 15 m y una altura de unos 6 m. También se observó en otras zonas del muro verde el inicio de un proceso de vuelco o rotura del escalón superior del muro (Figura 13).

### 3.2. Medidas de adaptación

#### 3.2.1. Impactos relacionados con las lluvias intensas en zonas kársticas

La energía de estas cascadas que aparecen en zonas kársticas se ha disipado mediante la colocación de secuencias de módulos metálicos a base de perfiles o varillas colocados en el terreno, pantallas dinámicas complementadas con mallas metálicas y pan-



Figura 5. Problemas de seguridad vial por la caída de piedras en la carretera N-621 tras las intensas lluvias



Figura 6. Mapa mostrando la localización de las actuaciones.

tallas de cadena. La cortina de agua se canaliza hacia el río Deva mediante la colocación de una red metálica de apertura reducida. En ocasiones, el talud rocoso está muy cerca de la carretera, por lo que el agua de escorrentía cae directamente sobre la calzada, encharcándola y con escasa posibilidad de drenaje, incluso inundándola transitoriamente tras un fuerte aguacero.

Las actuaciones llevadas a cabo dentro de la Carretera Nacional N-621 (Figura 6) es la absorción de energía del agua de cascadas a base de Pantallas Dinámicas y Pantallas de Cadenas complementadas con Malla metálica, dispuestas según orografía en secuencia para la adecuada disipación de la energía.



Figura 7. Situación del PK 158,140 MI producida por lluvias intensas.

**3.2.2. N-621, PK 158+140 MI Absorción de Energía en Cascada “Lebeña”.**

La cortina de agua se canaliza hacia el río Deva mediante la colocación de una densa red metálica y la realización de zanjas y alcantarillas (ODT) que cruzan bajo la carretera.

Se encuentra asociada a un farallón rocoso que desciende hasta el borde de la carretera, con una altura variable entre 50 m y 75 m y 17° de inclinación. Se ha disminuido la velocidad y energía de la fuerza del agua que brota de dos cavidades kársticas y canalizado al río Deva, mediante 5 niveles consecutivos. Se ha mejorado el cuenco receptor mediante picado en roca y se ha ejecutado un muro de mampostería, con realización de mechinales y mimetizado con el entorno natural, lo que le permite la integración paisajística (Figura 7).

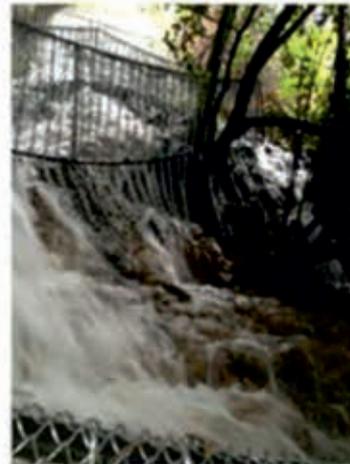


Figura 8. Situación del PK 169,050 MI producida por lluvias intensas y distribución de protecciones en canales 2, 3 y 4

**3.2.3. N-621, PK 169+050 MI Absorción de Energía en Cascada “Las Higueras”.**

Se ha disminuido la velocidad y energía de la fuerza del agua que desciende de cuatro canales que con-

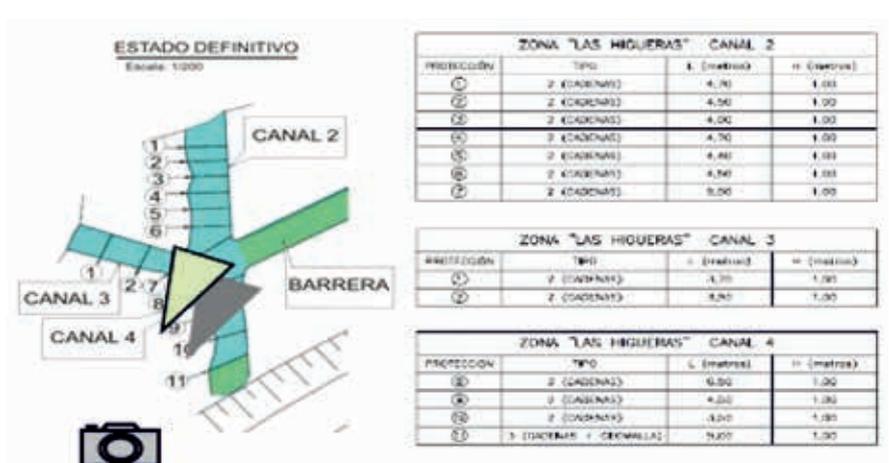


Figura 9. Protección en canales 2, 3 y 4.

fuyen en dos y son canalizados al río Deva. Todo ello mediante la disposición de los diferentes módulos mostrados (Figura 8).

**3.2.4. N-621, PK 171+800 MD Absorción de Energía en Cascada “Murciélagos”.**

Se ha disminuido la velocidad y energía de la fuerza del agua que desciende de dos torrentes y canalizado al río Deva, mediante: 26.00 m<sup>2</sup> de Pantalla Dinámica (Módulo nº 1) y 185.74 m<sup>2</sup> de Pantalla de Cadenas (Módulo nº 2) (Figura 10).

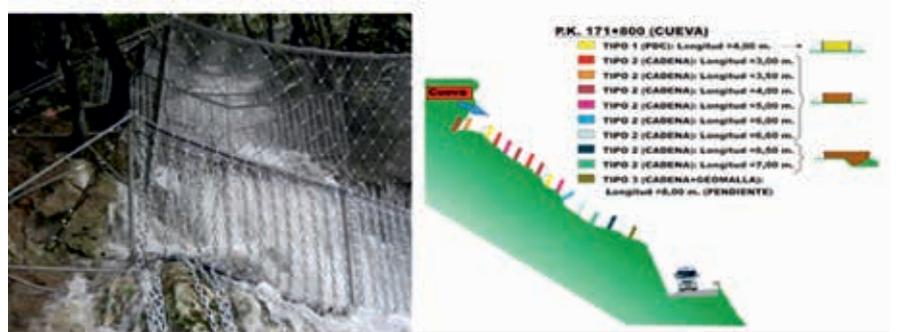


Figura 10. Funcionamiento de Módulos nº 2 en parte baja de talud ante episodios de lluvias

**3.2.5. Soluciones de ingeniería biológica en la autovía A-8 (problemas tipo 2 y 3).**

La actuación llevada a cabo en el talud comprende su estabilización mediante una medida de Ingeniería Biológica, consistente en la incorporación de un muro de gravedad formado por una estructura celular de troncos de madera de eucalipto, con estacas vivas y planta de contenedor, con el objetivo que el futuro desarrollo de la planta suplante la estructura de tronco. Se ha reforzado la estructura con un pie de escollera. Se ha completado la actuación con la ejecución de una cuneta de coronación con su correspondiente bajante.

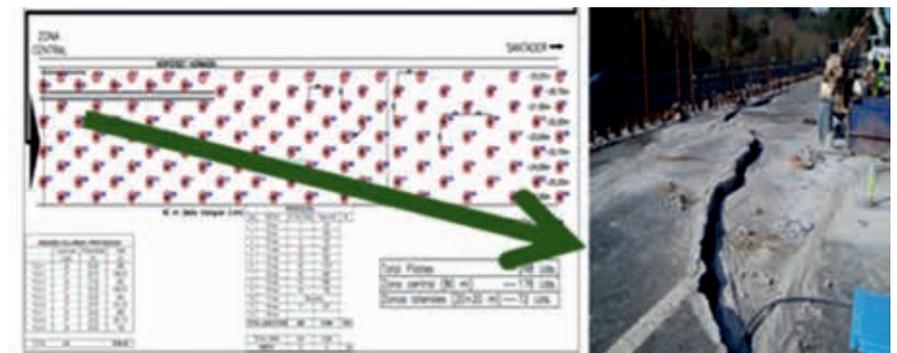


Figura 11. Estabilización del terraplén de la autovía A-8 (E-70)

Respecto a otras soluciones que se llevaron a cabo podríamos citar las siguientes:

En el caso de Liendo, malla de pilotes de mortero de 60 cm de diámetro (Figura 11). Malla de triángulos equiláteros de 2,40 m de lado, en los 80 m centrales y malla de triángulos equiláteros de 2.70 m de lado, en los 20 m laterales a la zona del hundimiento. Con un total 248 pilotes de entre 20 y 26 m de profundidad. Preparación de accesos, ejecución de dren de 4 m de profundidad relleno de material drenante, Construcción de cuneta revestida de

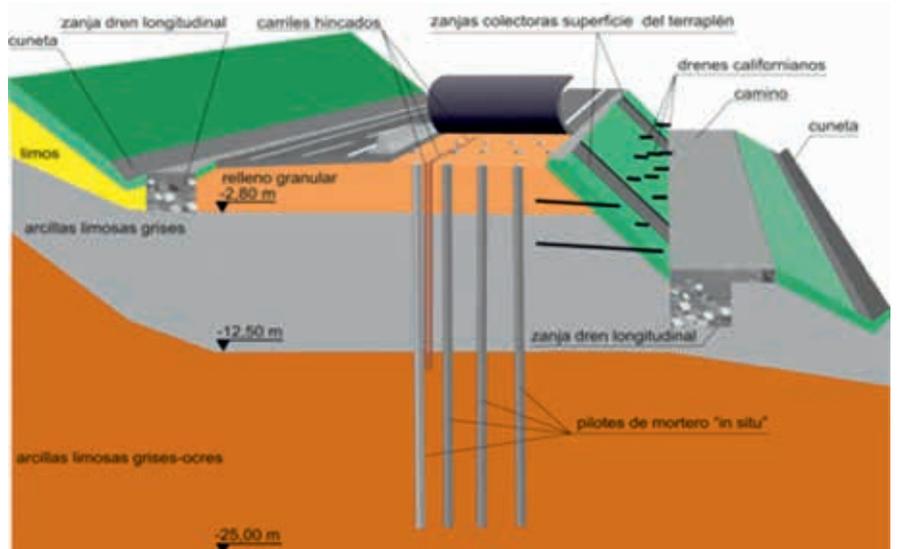


Figura 12. Comparación de la situación antes y después de la estabilización del terraplén de la autovía A-8 (E-70).



Figura 13. Muro verde con bulones autoperforantes en la autovía A-67.



Figura 14. Hinca de carriles, colocación de geomalla, red de cables atornillados y reconstrucción de la canaleta de agua en la carretera N-623 a causa de las fuertes lluvias



Figura 15. Hundimiento de la plataforma de la carretera N-629 causado por las fuertes lluvias y señalización provisional

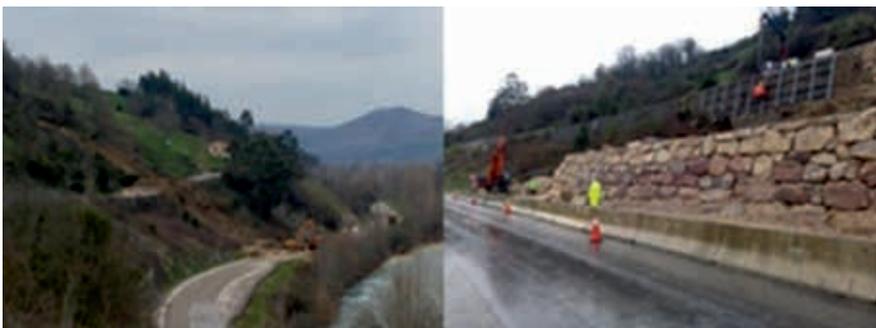


Figura 16. Deslizamiento de tierra provocado por las fuertes lluvias, causando el corte total de la carretera N-623 y N-623a en la tarde del 10 de marzo de 2016. PK 117+300 margen izquierdo



Figura 17. Problemas de seguridad por la caída de piedras en la carretera N-621 tras intensas lluvias. Situación del PK 158.140 margen izquierdo producido por las fuertes lluvias en la ladera rocosa (aguas arriba) donde se realizó la actuación.

hormigón. Ejecución de drenes californianos e hinca de carriles y control topográfico (Figura 12). Los movimientos registrados en el periodo previo al inicio de las obras de reparación son elevados, superiores a 20 cm en algunos puntos. Durante los trabajos de reparación, hasta un máximo de 3-4 cm. Tras la finalización de las obras de reparación, los movimientos tanto en la calzada como en el talud prácticamente han desaparecieron.

### 3.2.6 Impactos relacionados con el vuelco de los muros de contención

La solución consistió en asegurar la cabeza del talud de un muro verde con un sistema de refuerzo formado por una geomalla tridimensional volumétrica, malla de triple torsión y cable de acero de diámetro 16 mm, formando triangulaciones de 8x3 m, todo ello anclado al terreno mediante bulones tipo autoperforante y redes de cable. Al tratarse de un muro verde con relleno tipo pedraplén fue necesario el uso de bulones autoperforantes con una mayor dotación de mortero en su bulbo de anclaje que asegurar la resistencia que necesita el sistema (Figura 13).

Otro desprendimiento acaecido en el PK 118+300, el 20 de enero de 2013 (Figura 14), en el muro de sostenimiento de la N-623, carretera local de Corvera de Toranzo, la cual no sufrió ningún desperfecto debido a la hinca de carriles que se realizó en su día y que ha quedado al aire. La solución consistió en el saneo del talud, colocación de geomalla y red de cables bulonada. Encauzamiento del manantial. Ampliación de la hinca de carriles como refuerzo de la ya existente con cabeza soldada y hormigonada.

En la carretera N-629 (Figura 15), en el PK 50+100, a la altura del Puerto de Los Tornos. Se produjo otro desprendimiento en el año 2012, es una carretera muy antigua, con más de 100 años y un

paquete de firme exiguo, entre las soluciones adoptadas, está la instalación de estructura metálica compuesta por vigas tipo UPN-160 y HEB-160, arriostada y bulonada al terreno mediante bulones autoperforantes de 30 mm, semejante a la que se hizo en el año 2016, en la carretera N-623a (Figura 16) y, donde además, se ejecutó una escollera y se rehizo un muro de mampostería

Destacan los buenos resultados obtenidos con el uso de las cortinas de cadenas en el desfiladero de la Hermita (Figura 17), logrando mejorar sustancialmente las condiciones de seguridad vial en tiempos de lluvia intensa.

#### 4. Lecciones aprendidas

Los efectos del cambio climático son cada vez más frecuentes. Cantabria, por su orografía y climatología se ve especialmente afectada por ellos. Los episodios de lluvias intensas provocan con frecuencia impactos en las carreteras, que acaban provocando interrupciones del tráfico y costosas reparaciones.

En este trabajo se han documentado los recientes episodios que han afectado a varios tramos de carretera en Cantabria durante 2011 y 2018. Las actuaciones llevadas a cabo para restablecer las condiciones de tráfico durante esos episodios han sido diseñadas con el propósito de no sólo volver a la situación inicial sino de mejorar el comportamiento del tramo de carretera en el caso de que esos eventos vuelvan a producirse. Es por ello que las medidas implementadas deben ser consideradas como medidas de adaptación, ya que contribuirán a reducir la vulnerabilidad de los tramos de carretera ante los intensos episodios de lluvia que frecuentemente afectan a la región.

Es importante que se haga un seguimiento de los resultados obtenidos con la aplicación de estas medidas de adaptación, para validar su eficacia. De

este modo, todo el proceso contribuirá a la identificación, evaluación, selección y priorización de las respuestas de adaptación.

Por último, y en consonancia con los pasos establecidos en el marco internacional de adaptación al cambio climático de la AIPCR, los resultados deberán integrarse en los procesos de toma de decisiones (programas, inversiones, estrategias y sistemas de infraestructuras viarias).

Estas acciones, si se evalúan a nivel de red y cuentan con la participación de todos los actores afectados, sentarán las bases de un sistema de transporte por carretera más resiliente.

Para lograr este objetivo, se proponen las siguientes acciones adicionales:

- Creación de una base de datos de eventos relacionados con el clima en la red de carreteras. Esta base de datos contendrá información relacionada con el activo vial afectado, el evento climático que causó el impacto y las consecuencias.
- Creación de un repositorio donde se documenten las diferentes medidas de adaptación implementadas, junto con actualizaciones periódicas sobre su eficacia.
- Difusión de los resultados obtenidos hasta el momento.

#### 5. Conclusiones

Se puede afirmar que la región de Cantabria es un referente internacional tanto en la explotación de infraestructuras resilientes como en la investigación pionera orientada a una mayor sostenibilidad de las carreteras españolas.

Los eventos meteorológicos ocurridos tras la instalación de las intervenciones, pueden calificarse como aún más extraordinarios si se comparan (en términos de magnitud y frecuencia) con

los ocurridos antes de la puesta en marcha de las intervenciones. Por ejemplo, la cantidad de precipitación recogida el pasado mes de noviembre de 2020 en la estación de Tresviso, fue de 648 mm (254,0mm normal) y constituye el valor máximo registrado desde que se inició la serie en 1980. El tiempo transcurrido tras la ejecución de las soluciones presentadas en este trabajo (1-2 años y más) demuestra su eficacia. Cabe destacar la estabilidad conseguida con el uso de la estructura celular de troncos de eucalipto en la autopista A-8, que evita los accidentes por deslizamiento durante el invierno.

Hay que destacar los problemas encontrados al tratar de abordar los movimientos de tierra y los taludes en la aplicación de un análisis de resiliencia al Cambio Climático, la importancia de documentar cualquier actuación, inventariar y monitorizar, cuando sea posible, los activos de los movimientos de tierra y los taludes. Y no sólo para la acción preventiva, sino también para la adquisición de conocimientos basados en estas experiencias previas documentadas. Cualquier base de datos y su gestión, integración y cruce entre ellas es crucial. Y trabajar a escala local con mejores predicciones meteorológicas buscando el objetivo de anticiparse a los problemas en la previsión climática, teniendo en cuenta el cambio climático en todas las fases del ciclo de vida de las infraestructuras desde su diseño y proyecto hasta su posterior explotación.

#### 6. Agradecimientos

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX, Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana -Gobierno de España, Grupo de Investigación en Tecnologías de la Construcción (GITECO) de la Universidad de Cantabria.

## Referencias

- [1] Alonso, M. (2015). La integración del factor humano en el ámbito técnico de la gestión de las carreteras y la seguridad vial: un enfoque investigativo. Tesis doctoral. Valencia: Universitat de València.
- [2] Alonso, M.L. & Parra, L. 2022. Towards a more resilient spanish road network. PIARC. XVIth World Winter Service and Road Resilience Congress, Adapting to a Changing World. Calgary. Not yet published.
- [3] Alonso, F. Alonso, M., Esteban, C., Calatayud, C. 2013. Study protocol of the "Research, development and innovation for the design and development of a comprehensive plan for elimination and eradication of black spots on the roads of the provincial Council of Valencia". *Securitas Vialis* 02/2013; 14: p.5-25. 26-45
- [4] Castanon-Jano, L., Blanco-Fernandez, E., Castro-Fresno, D., Ferreño, D. 2018. Use of explicit FEM models for the structural and parametrical analysis of rockfall protection barriers. *Engineering Structures*, 166, pp. 212-22
- [5] CEDEX et al, Grupo de Trabajo para el análisis de las necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. 2013. Needs for adaptation to climate change of the main transport infrastructure network in Spain. Final report.
- [6] CEDEX. 2018. State network sections of land transport infrastructure potentially more exposed due to climate variability and change. Final report.
- [7] Crespo et al, 2020 Climate-Change-Adaptation Analysis Methodology of Transport Infrastructures *Revista Ingeniería Civil*, 197/2020: p. 118-129.
- [8] Collazos, F., Mas, J.C., Castro, D & Rodriguez J. 2015. Presentation: Management of runoff water in karstic terrain and stability of slopes and foundations in northern Spain. Final proceedings. PIARC XXVth World Road Congress. Seoul (South Korea)
- [9] Collazos, F (2015). Gestión del agua de escorrentía en terrenos kársticos y estabilidad de taludes y cimientos en el norte de España. Actas finales. Presentación oral. XXVth World Road Congress. Seoul (South Korea) Road Congress. PIARC- Seoul (South Korea).
- [10] Collazos, F., Ayres, L. & Sanchez, S. 2017. Slope landslides on state roads in Cantabria in recent years (2011-2016). IX Slopes symposia, Santander
- [11] Collazos, F, Mas, J., Castro D., Rodriguez, J., Blanco, E., Castanon, L. García, D. & Beltran I. 2021. Runoff water management on karstic terrain and stability of slopes and foundations in Northern Spain. 4th International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG). May 24 - 27, 2021, Chicago, Virtual. Main conference event of International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) Technical Committee (TC) 202 on Transportation Geotechnics. not yet published in the Official Journal
- [12] Collazos, F., Parra, L. & Alonso, M.L. 2022. Increasing resilience of earth structures on road of northern Spain. Lessons learned in the period 2011-2018. PIARC. XVIth World Winter Service and Road Resilience Congress, Adapting to a Changing World. Calgary. Not yet published in the Official Journal.
- [13] EU, European Commission, 2021. Commission Notice Technical guidance on the climate proofing of infrastructure in the period 2021-2027. C(2021) 5430 final
- [14] Gobierno de Cantabria. 2010. Decreto 57/2010, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de Cantabria ante el Riesgo de Inundaciones, INUNCANT. Santander, 2010.
- [15] Gutiérrez Llorente, J. M., Herrera García, S., San-Martín, D., Sordo, C. M., Rodríguez, J. J., Frochoso, M. & Rodríguez, M. Á. 2010. Escenarios regionales probabilísticos de cambio climático en Cantabria: termoplumiometría.
- [16] Hoek, E & Brown, K. 2002. "Rock Slope Engineering" I.N.M. London. Odón Hernández Holgado. Agencia Estatal de Meteorología. 2013. Una aproximación a la nivología en Picos de Europa, pp 34-38.
- [17] Losada, I., Izaguirre, C., & Díaz, P. (2014). Cambio climático en la costa española. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: Madrid, Spain, 133.
- [18] MAGNA. Mapa Geológico 1:50.000, hoja nº 56 (Carreña-Cabrales), editado por el Instituto Geominero de España (MAGNA).
- [19] Oteo, C. 2009. Doce lecciones sobre geotecnia de infraestructuras lineales del transporte. Asociación Técnica de la Carretera, pp 77-111.
- [20] Parra, L. et al. 2018 Presentation: "Infrastructure management and climate change within the framework of the CLARITY project". Simposio Nacional de Firmes de Carreteras. Madrid, 16-18 de octubre de 2018.
- [21] Parra, L., Cubillo, J., Postigo, M., Torres L. 2021. CLARITY para infraestructuras de transporte. not yet published in the Official Journal.

## Premio a la mejor comunicación española

# Acondicionamiento de cauce en el paso de la carretera N-232 sobre el Barranco de Molinás en Xert (España)

## Improvement of the watercourse and road infrastructure at the crossing of N-232 road over Ravine Molinás in Xert (Spain)

**Alvaro Parrilla Alcaide**

*Dirección General de Carreteras, MITMA*

**Jerónimo Vicente Dueñas**

*Dirección General de Carreteras, MITMA*

**Vicente Ferrer Pérez**

*Dirección General de Carreteras, MITMA*

Este artículo trata de sintetizar la adaptación de la zona de paso sobre una rambla en la cuenca mediterránea de España. La infraestructura preexistente es la carretera N-232 (de dos carriles, uno por cada sentido de circulación) que comprende un antiguo puente de alrededor de 1940 (sólo para tráfico local) y un nuevo viaducto que data de 2002 (para el tráfico de largo recorrido).

Normalmente el cauce se encuentra seco, únicamente circula agua después de determinados episodios de lluvia. El 6 de marzo de 2013 la borrasca Thomas (aire cálido y lluvia intensa) añadió su efecto propio al deshielo de la nieve desde las montañas próximas (el invierno previo fue muy nivoso) lo que dio lugar, de manera imprevista, a caudales muy altos por superposición de ambos efectos.

El lecho fluvial y las obras de tierra experimentaron erosión y socavación y los muros de escollera y otras protecciones sufrieron daños considerables. Se procedió al corte de la carretera al tráfico y a la inspección de la infraestructura de forma inmediata: se adoptaron algunas medidas en el momento, para evitar la progresión de los daños.

Menos de un día después del pico de la avenida, y una vez adoptadas dichas acciones, la carretera se reabrió provisionalmente al tráfico con fases alternas de paso sobre las dos estructuras.

Se acometió una nueva definición del conjunto, que comprendía la reparación de los daños y nuevas protecciones fluviales, consistentes en un lecho de escollera en toda la longitud de la zona de paso y algo más hacia ambos sentidos. Los muros dañados se reconstruyeron con diferente sección transversal y se ejecutaron otros nuevos. También se llevaron a cabo labores de restauración medioambiental.

La afección al tráfico fue un aspecto capital que se tuvo en cuenta durante las obras: la mayoría de ellas resultaron independientes del tráfico, pero siempre se contó con este aspecto.

Desde entonces, habiendo acaecido varias avenidas (de menor enjundia que la de 2013), el comportamiento de esta zona de la carretera ha resultado satisfactorio, sin que consten daños. El artículo incluye fotos y planos generales de las obras, así como de algunos detalles.

El presupuesto de la actuación fue de aproximadamente 550.000 euros de 2013, antes de impuestos.

This paper tries to explain the adaptation of an existing crossing over a ravine in the Mediterranean area of Spain. Existing infrastructure comprises road N-232 (two lanes, one each traffic direction) including a former bridge from around 1940 (only for local transit) and a new one from 2002 (main long distance transit).

Water only flows after certain rain episodes, but commonly is a dry course. In 2013 March 6th, Thomas storm (hot air and strong rainfall) added its effect to snowmelt from nearby mountains (previous winter was a very snowy one), which led to very high and unexpected simultaneous runoff.

Earthworks and streambeds suffered erosion and scouring, and stone walls and other protections suffered severe damages. Road was immediately cut to traffic and infrastructure examined: some actions were immediately adopted to avoid progression of damage.

Less than one day after the peak of the storm, and having taken such actions, road was provisionally reopened with alternative phases of traffic pass over the two bridges.

A new design was adopted with the reconstruction of damages and a new riverbed protection comprising riprap all over the length of the crossing, and beyond (before and after). Damaged stone walls were reconstructed including a new cross section, and other new ones were built. Also some final environmental works were implemented.

Affection to traffic was also a capital aspect, taken into account all over the construction works: most of them were independent of traffic, but it always had to be taken into account.

Since then, and having experienced several severe rain episodes (not as severe as the one of 2013), behaviour of such section of the road has been good, no damage has been referred.

Communication includes photos, cross sections and elevations of the general construction works, and also some details.

The budget of the action was around 550.000 euros (before taxes) of the year 2013.

## 1. Introducción

El caso de estudio se ubica en la cuenca mediterránea española, muy próximo a la población de Anroig en el municipio de Xert, ubicado en el interior de la provincia de Castellón, al pie de las sierras del Maestrazgo y a unos 30 km del mar (Figura 1), en una zona en que la carretera N-232 cruza un cauce denominado Barranco de Molinás, afluente del Cervera

o Riu Sec (literalmente, Río Seco en lengua valenciana; ver Figura 3). Estos cauces sólo conducen agua de manera esporádica cuando se producen fuertes episodios de lluvia, lo que en esta región suele acaecer a finales de verano o principios de otoño.

En la década de 1940 se construyó un primer puente que cruzaba el barranco perpendicularmente, para lo que se forzaba a la carrete-

ra a realizar curva y contracurva. En 2002 se inauguró un nuevo trazado que incluye un nuevo viaducto para cruzar el cauce con un esviaje de unos 45° (Figura 2 y Figura 8).

El día 6 de marzo de 2013, como consecuencia de la concatenación de una serie de episodios climáticos poco frecuentes que se refieren en adelante, se produjeron importantes daños en la infraestructura (los mayores, al menos desde que se cons-



Figura 1. Ubicación del caso de estudio, en el municipio de Xert (Castellón, España)



Figura 2. Ortofotografía del Instituto Geográfico Nacional correspondiente a 2018



Figura 3. Aspecto de la rambla a menos de 1 km aguas arriba del lugar del incidente, donde, sin caudal permanente, es cruzada a nivel por varios caminos rurales

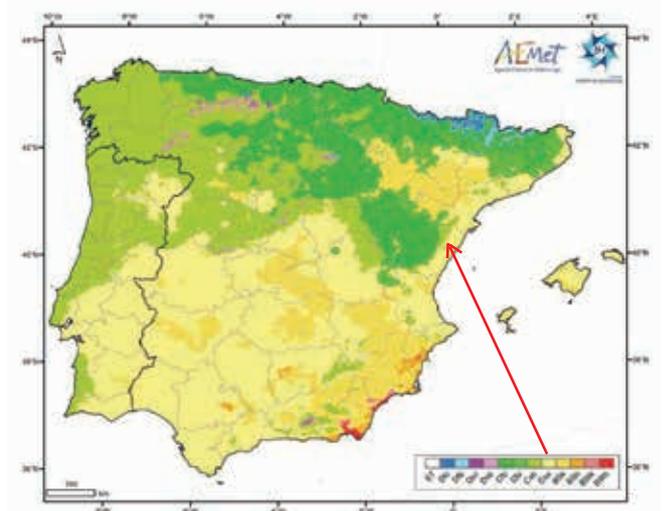


Figura 4. Clasificación de Koppen para la Península Ibérica e Islas Baleares

truyó el puente más antiguo), que se repararon buscando un enfoque a largo plazo que proteja la infraestructura.

## 2. Clasificación climática

Según el Atlas Climático Ibérico (publicación conjunta de las agencias de meteorología de España y Portugal, Figura 4) la clasificación climática de Koppen para esta zona es la Csa, templado con verano seco y caluroso.

Csa es la variedad de clima que abarca una mayor extensión en España, ocupando aproximadamente el 40% de su superficie (la mayor

parte de la mitad sur y de las regiones costeras mediterráneas, a excepción de las zonas áridas del sureste). Las siglas en cuestión hacen referencia a:

- C: La temperatura media del mes más frío está comprendida entre 0 y 18°C.
- s: Koppen distingue entre los subtipos Cs, Cw y Cf, conforme se observa un período marcadamente seco en verano (Cs), en invierno (Cw), o si no hay una estación seca (Cf).
- a: Temperatura media del mes más cálido superior a 22°C.

## 3. Antecedentes climáticos

A finales de febrero de 2013 el espesor de nieve acumulada en las sierras próximas oscilaba, según puntos de medida, entre 50 y 80 cm, el valor más alto desde 1991 (es decir, en 22 años); al final del mes se produjeron nevadas tardías. Inmediatamente después, la borrasca Thomas recorrió el litoral mediterráneo español de sur a norte y canalizó aire cálido y húmedo que originó fuertes lluvias y viento, de modo tal que, en la semana de final de febrero y primeros días de marzo llovió más que en todo el semestre anterior, con valores de



Figura 5. Sección transversal de la Carretera. A la izquierda el puente de 1940, al frente el viaducto construido en 2002

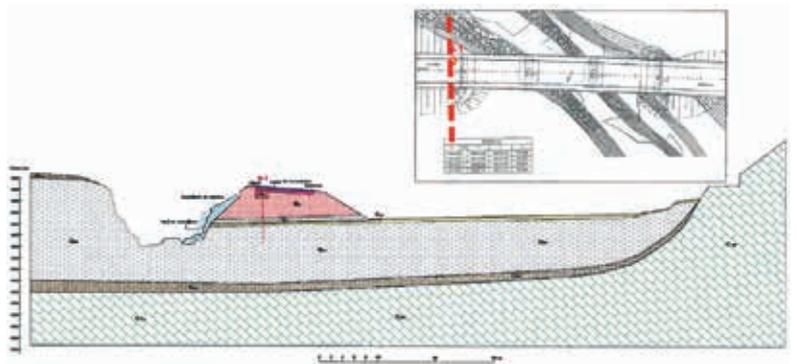


Figura 6. Corte geológico por estribo N del viaducto de 2002, situado en la margen izquierda de la rambla (autor: Luis Fernández Pérez, Geólogo de la Demarcación de Carreteras). Véase, como espaldón izquierdo del terraplén, el muro de escollera de protección

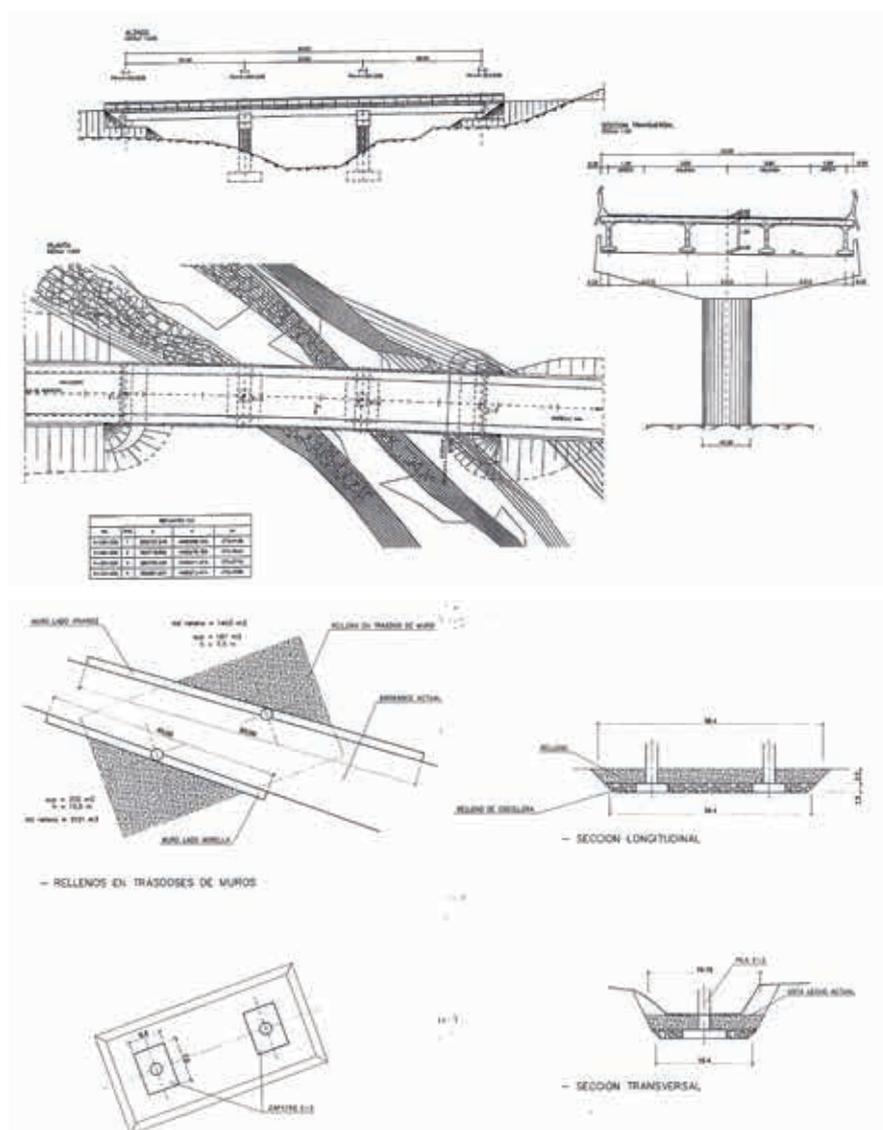


Figura 7. Detalles de los planos del viaducto de 2002

precipitación totalmente anormales para esta fecha. Así, en algunos observatorios cercanos se registró el día más lluvioso en esas fechas del año desde 1980 (es decir, en 33 años).

En diferentes observatorios cercanos se registraron valores de precipitación de entre 50 y 60 mm en 12 horas (valor que corresponde a un periodo de retorno comprendido entre cinco y diez años,  $T = 5 - 10$  años, según estaciones).

La temperatura subió  $10^{\circ}\text{C}$  en dos días (tanto las mínimas, como las máximas y el valor medio) y ya

se mantuvo en valores típicos de marzo sin volver a bajar. El mes completo se cerró en valores más cálidos que el marzo promedio en  $1,4^{\circ}\text{C}$ .

La cantidad de nieve acumulada y los efectos de la borrasca: ascenso térmico repentino mantenido días después, junto con lluvias fuertes que duraron varios días generaron, de manera simultánea, importantes aportaciones a los cauces, tanto de lluvia como de deshielo de la nieve que dieron lugar en otros ríos próximos (con caudales permanentes y control de aforos) a niveles de agua no alcan-

zados en los veinte años previos y a la necesidad de movilización de la capacidad reguladora del sistema de embalses, por parte de la Administración Hidráulica.

## 4. Descripción de los daños y de la actuación

### 4.1 Situación inicial y descripción de los daños

Como se ha indicado en la introducción a este documento, el caso de estudio se ubica en la región mediterránea, en el municipio de Xert ubicado en el interior de la provincia de Castellón, al pie de las sierras del Maestrazgo y a unos 30 km del mar (Figura 1). La carretera N-232 comunica Vinaroz con Santander y presenta, en esta zona, sección de carretera convencional de dos carriles, uno para cada sentido de circulación, más un arcén a cada lado (Figura 5).

En la década de 1940 se construyó un puente que cruza el Barranco de Molinás de forma perpendicular (Figura 12), para lo que se forzaba a la carretera a realizar curva y contracurva. En 2002 se inauguró un nuevo trazado (Figura 9), de mejores características geométricas, en el que se incluyó un nuevo viaducto que cruza el cauce con un esviaje de unos  $45^{\circ}$  (Figura 2 y Figura 8) y que deja el trazado anterior únicamente para tráfico local.

El Barranco de Molinás, afluente del Río Seco, sólo conduce agua de manera esporádica cuando se producen fuertes episodios de lluvia, lo que en esta región suele acontecer a finales de verano o principios de otoño. A finales del invierno (6 de marzo de 2013), como consecuencia de la concatenación de los episodios climáticos referidos, la rambla condujo simultáneamente

caudales de escorrentía por precipitación en forma de lluvia muy cuantiosa y además de deshielo de la nieve acumulada en la sierra, y produjo importantes daños en la infraestructura (los mayores, al menos desde que se construyó el primer puente, alrededor de 1940).

La rambla se encaja en un nivel de gravas con cementación calcárea, bastante competente, de unos 12 a 15 m de potencia que se apoya sobre un horizonte de calizas micríticas y margocalizas grises (Figura 6)

La obra de 2002 construyó un muro de escollera en el talud junto al estribo norte del viaducto (izquierda del terraplén en la Figura 6) y ejecutó una protección del lecho

de la rambla con escollera de planta rectangular que comprende, en su parte central, la sombra del viaducto (Figura 7), la cual se cubrió en superficie con unos decímetros de zahorra artificial por regularidad final del cauce (Figura 9).

La avenida del 6 de marzo de 2013 (madrugada del día 5 al 6) provocó la caída del muro de escollera de protección del estribo norte del viaducto de 2002, lo que dio lugar a grietas y asientos en el cono de tierras de dicho estribo; pese a ello, el mencionado viaducto no sufrió daños estructurales (Figura 8, Figura 9 y Figura 10). Además se produjo una fuerte erosión en el cimiento del estribo sur del puente de 1940, que puede cifrarse entre

60 y 75 cm y que sirvió como cauce de aguas bajas (Figura 13) una vez pasado el pico de la avenida principal (ver Figura 11 y curvas de nivel en Figura 8).

Como actuaciones de las primeras horas se procedió a cortar el tráfico, a inspeccionar la infraestructura y su entorno y a extender láminas impermeabilizantes (que hubo que fijar convenientemente al terreno para que no se las llevara el viento) que tratasen de impedir la entrada de más agua de lluvia por las grietas del cono de tierras de la estructura de 2002, así como a reforzar con hormigón la erosión del cimiento y el estribo sur del puente de 1940.



Figura 8. Avenida del 6 de marzo de 2013: planta de daños



Figura 9. Fotografía de 2002: las obras apenas unos días antes de su apertura al tráfico



Figura 10. Fotografía del 6 de marzo de 2013, unas tres horas después del paso del pico de la avenida: obsérvese la caída del muro de escollera de protección del estribo y la poza de socavación en la margen contraria



Figura 11. Fotografía del 6 de marzo de 2013, unas tres horas después del paso del pico de la avenida: caída del muro, grietas y asientos en cono de tierras del estribo norte del viaducto de 2002 (a la izquierda) y erosión en estribo sur del puente de 1940 (a la derecha de la imagen), que a partir de entonces empezó a funcionar como cauce de aguas bajas



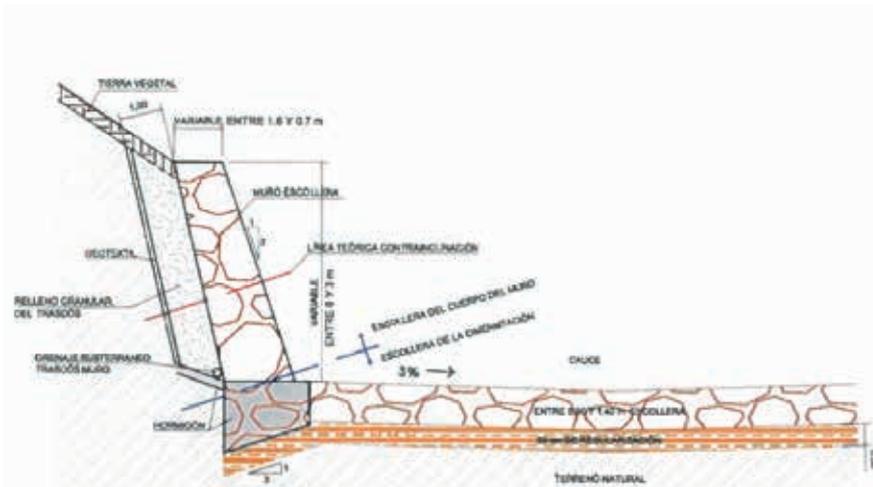


Figura 15. Detalle de inserción del muro de escollera en el lecho del cauce (ver además la Figura 19)

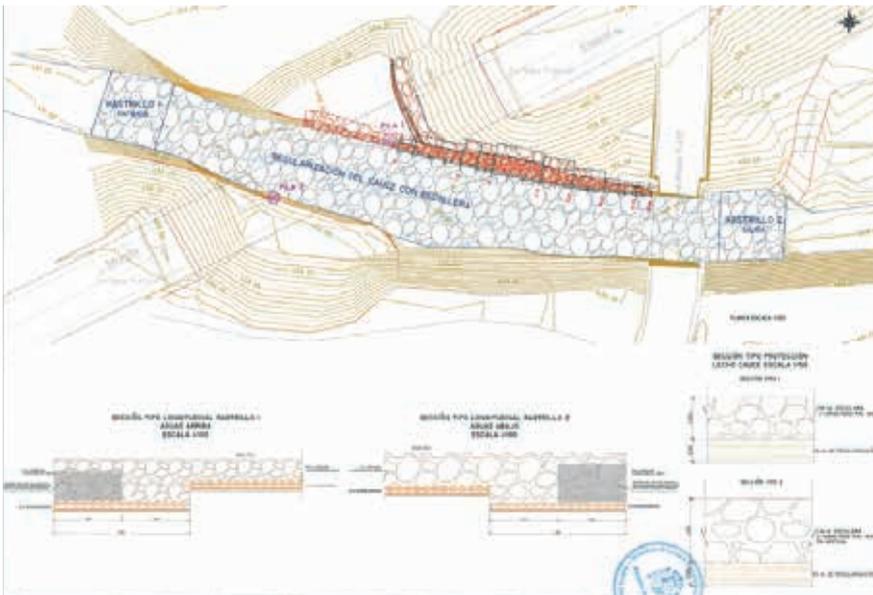


Figura 16. Planta de protección del cauce con lecho de escollera y secciones tipo

ble evacuación de una nueva avenida, que pudiera acaecer de manera simultánea a la construcción.

En la margen derecha se reforzó con bulones un muro de mampostería preexistente que sufrió pocos daños y se construyó un nuevo tramo de muro de esta tipología hacia aguas abajo.

Se protegió con escollera todo el lecho del cauce en una longitud de unos 130 m, con una anchura comprendida entre 8 y 10 m. El detalle de dicha actuación consistió en la regularización y limpieza del fondo de la

rambla (saneo de al menos 50 cm) y en la posterior colocación de un manto de escollera de espesor variable comprendido entre  $e = 90$  cm con  $W = 300$  kg de peso mínimo y  $e = 140$  cm con  $W = 1000$  kg de peso mínimo.

La actuación se limita hacia el E y el O, por rastrillos de entrada y salida que son 1 m más profundos que el encauzamiento y presentan una longitud  $L = 6$  m; de estos rastrillos se hormigona la mitad exterior, desde la solera hasta alcanzar una cota 50 cm inferior a la del lecho del cauce (Figura 16).

El comportamiento de la obra observado hasta la fecha ha sido muy satisfactorio. Aunque no se han vuelto a producir los caudales de 2013, en estos últimos años han tenido lugar algunas otras avenidas importantes, sin que la infraestructura haya sufrido daño alguno.

Las fotografías con las que concluye este artículo, dan buena cuenta de la ejecución de las obras (Figura 17 a Figura 21) y de su aspecto transcurridos ya más de ocho años desde su conclusión (Figura 22 y Figura 23).

## 5. Necesidades de materiales de préstamos y canteras. Presupuesto de la actuación

### 5.1. Necesidades de materiales de préstamos y canteras

El material de cantera más utilizado fue la escollera, de la que se emplearon más de  $2.500 \text{ m}^3$ , algo más de la mitad con peso  $W > 300$  kg y el resto con peso  $W > 1000$  kg.

Además se utilizaron gravas y materiales granulares limpios de tipo suelo, como, transiciones, materiales de filtro, apoyo y restauración geométrica de superficies, en un volumen ligeramente superior al de la propia escollera.

### 5.2. Presupuesto de la actuación

El presupuesto de ejecución material de la actuación fue de aproximadamente 550.000 euros de 2013, sin incluir tasas ni impuestos. ❖



Figura 17. Primera etapa de la reconstrucción del muro de escollera en el estribo norte del viaducto de 2002



Figura 19. Detalle de inserción de muro de escollera y semisección del lecho del cauce (ver además la Figura 15)

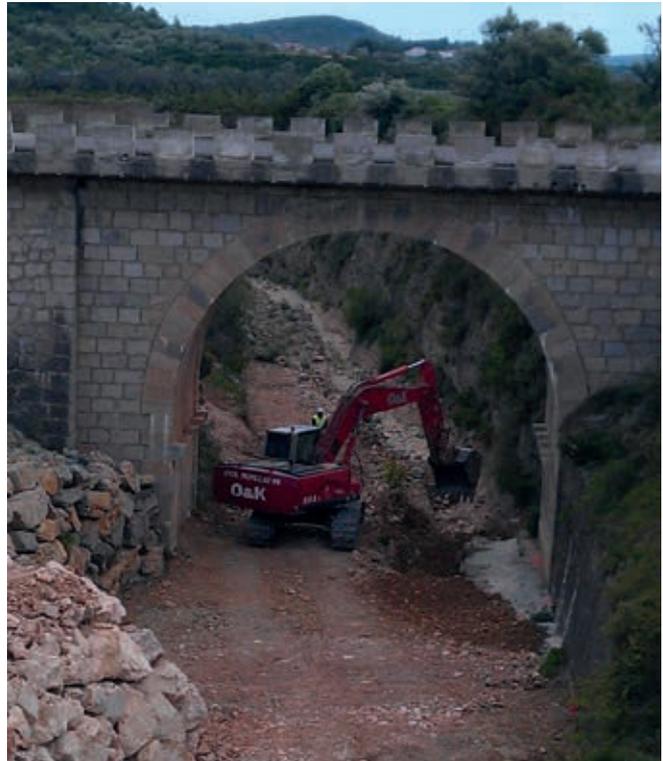


Figura 18. Trabajos para restitución de cauce por erosión en estribo S del puente de 1940. Se trata de una fase previa al escollero del lecho



Figura 20. Extendido de tierra vegetal en coronación del muro y cono de tierras del estribo (fase compatible con el paso del tráfico por el viaducto)



Figura 21. Aspecto de las obras, únicamente a falta de ejecución del rastrillo de entrada



Figura 22. Vista general de las obras, a los siete años de la incidencia (agosto de 2020)



Figura 23. Vista de los dos puentes desde el rastrillo de salida (aguas abajo) en agosto de 2020

## Premio a la mejor comunicación española para jóvenes profesionales

# Problemática de las sales fundentes en la corrosión de armaduras en tableros de puentes y afección a los postesados

## The problem of de-icing salts in the corrosion of rebars in bridge decks and their effects on post-tensioned structures

**Noemi Corral Moraleda**

*Responsable del Área de Rehabilitación  
LRA Infrastructures Consulting*

**Tomas Ripa**

*Socio- Director  
LRA Infrastructures Consulting*

El presente artículo desarrolla la problemática del empleo de sales fundentes en la corrosión de armaduras de tableros de puentes y su afección a los postesados. En concreto, se aborda esta problemática en el caso de estructuras afectadas por un proceso de degradación árido-álcali y sin tratamiento de impermeabilización, mediante el ejemplo de dos estructuras concretas cuya reparación se llevó a cabo en el año 2020. En estas estructuras, las tensiones internas por árido-álcali han dado lugar a la formación de fisuras longitudinales en la cara superior del tablero por las que se ha concentrado la penetración de los iones cloruro, lo que ha terminado provocando la rotura frágil de la armadura pasiva y la corrosión de los pretensados. El artículo presenta, asimismo, las conclusiones sobre los mecanismos más probables que han dado lugar a la rotura frágil de las barras.

This article expounds the problem of the use of de-icing salts in the corrosion of steel rebars in bridge decks and its effect on post-tensioning elements. In particular, the paper focuses this problem on structures affected by an aggregate-alkali reaction and without any waterproof treatment, by means of the example of two structures whose repair was carried out in 2020. In these structures, the internal stresses due to the aggregate-alkali reaction have caused longitudinal cracks in the upper face of the deck, through which the penetration of chloride ions has been concentrated, causing, finally, the brittle fracture of the steel bars and the corrosion of the prestressing elements. This article also explains some conclusions about the most probable mechanisms that resulted in the brittle fracture of the steel bars due to the extraordinary and unexpected nature of this phenomenon.

### 1. Introducción

El empleo de sales fundentes durante las épocas de vialidad invernal provoca, en las estructuras con ausencia de impermeabilización del tablero o con impermeabilizaciones deficientes, el ingreso de iones cloruro por la cara

superior del tablero. Este fenómeno puede verse agravado, asimismo, por la presencia de otras patologías presentes en el hormigón tales como porosidad, coqueas o incluso microfisuración del interior de la masa, que facilita la circulación de los agresivos hasta las armaduras y, en el caso de losas poste-

sadas, el ingreso de los agresivos en el interior de las vainas y la consecuente corrosión de los torones de postesado.

Este fenómeno se ha observado, precisamente, en dos estructuras cuya reparación se ha llevado a cabo en el año 2020; ambas estructuras consis-



Figura 1. Localización de la estructura en el enlace del Nudo de Colmenar

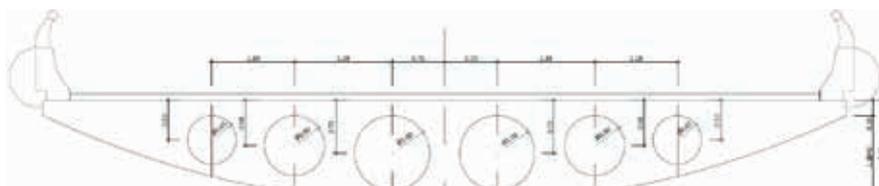


Figura 2. Sección tipo del tablero de la estructura del Nudo de Colmenar

tentes en losas de hormigón postesado con ausencia de impermeabilización del tablero en las que, además, existía un proceso de degradación del hormigón por reacción árido-álcali.

En ambos casos, la patología más relevante que se observó fue la existencia de fisuración de alineación longitudinal en la cara superior del tablero con un elevado número de armaduras transversales seccionadas en la alineación coincidente con las fisuras longitudinales. La forma de rotura de las barras de acero, sin aparente estricción, indicaba una rotura frágil por un fenómeno de corrosión-fatiga. En efecto, el ingreso de cloruros a través de las fisuras actúa como un filo que va seccionando la armadura con el paso del tiempo, reduciendo drásticamente su sección resistente como consecuencia de la corrosión progresiva, lo que, unido a la presencia de otras acciones mecánicas concomitantes, acaba generando la rotura frágil de la sección completa de la barra. [1]

El presente artículo pretende, por tanto, exponer la problemática de las

sales fundentes en la corrosión de armaduras y la afección a los postesados, a partir de las conclusiones obtenidas en los estudios e investigaciones realizados en dos casos concretos, prestando especial atención al fenómeno observado de rotura frágil de las armaduras transversales por lo extraordinario de este fenómeno y ahondando en los mecanismos más probables que han dado lugar a esta patología.

## 2. Descripción de las estructuras. Problemática detectada

### 2.1. Descripción de las estructuras

#### - Viaducto del Nudo de Colmenar (Madrid)

Esta estructura permite la conexión entre la M-607 sentido entrada a Madrid y la M-40 dirección A-1 en el Nudo de Colmenar. (Figura 1)

La estructura discurre por encima de varias infraestructuras entre las

que destacan las carreteras mencionadas (tronco de M-40, M-607 y ramales de enlace), así como vías de Adif, tanto de la red de Cercanías (línea C4) como de Alta Velocidad.

Se trata de un paso superior hiperestático de tipología losa aligerada de hormigón postesado in situ, de planta curva y 561 m de longitud total, que se distribuyen en 17 vanos de luces 20,5 - 32,2 - 35,6 - 37,9 - 56,4 - 32,9 - 36,7 - 39,0 - 28,8 - 29,6 - 36,5 - 28,6 - 30,3 - 32,9 - 33,1 - 28,4 - 21,6 m, según los datos tomados en el levantamiento topográfico realizado en el marco de las obras de reparación de la estructura.

La sección transversal es constante en toda la longitud del tablero, presentando la losa geometría curva con un canto máximo de 1,40 m en eje de tablero y reduciéndose a 0,20 m en borde de tablero por medio de un segmento circular. La sección se compone de un conjunto de seis aligeramientos circulares de diámetro variable entre 0,65 m y 1,00 m. (Figura 2)

El pretensado dispuesto en los vanos no es constante debido a la distinta longitud de los vanos, variando desde 9 tendones de 15 Ø 0,6" en los vanos cortos hasta 16 tendones de 19 Ø 0,6" en los vanos de mayor luz.

#### - Estructura de la carretera SG-20 (Provincia de Segovia)

Esta estructura se localiza en el pk. 3+410 de la carretera SG-20, en la provincia de Segovia. Se trata de una estructura de 97 metros de longitud que resuelve el cruce de la carretera SG-20 sobre la glorieta que conecta la N-110, la SG-20 y la carretera de acceso a Segovia. (Figura 3)

La estructura, de planta recta, consiste en una losa postesada de 4 vanos con distribución de luces 21,00+27,50+27,50+21,00 metros. Por su parte, la sección transversal es constante en toda la longitud del tablero, de tipo losa postesada forma-



Figura 3. Localización de la estructura de la carretera SG-20

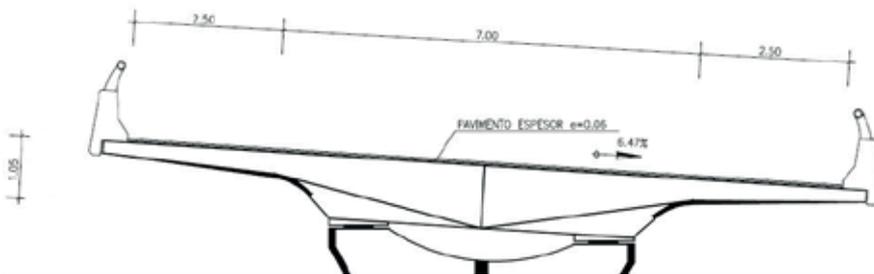


Figura 4. Sección tipo del tablero de la estructura de la carretera SG-20

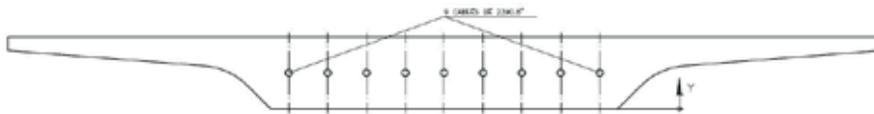


Figura 5. Sección tipo de pretensado en la estructura de la carretera SG-20

da por un núcleo de hormigón de 7,00 m de anchura y voladizos laterales de 2,50 m. (Figura 4)

El pretensado dispuesto en la estructura está formado por 9 tendones de 22 Ø 0,6", constante en toda la longitud de la estructura y trazado curvo coincidente con la distribución de momentos flectores. (Figura 5)

## 2.2. Patologías detectadas en la fase inicial

La evaluación del estado de conservación de una estructura y la detección temprana de daños requiere la realización de inspecciones programadas y sistematizadas, que permitan conocer el nivel de prestaciones de una estructura en un momento dado. Por ello, es esencial establecer una estrategia de conservación que, además de otros aspectos, establezca los niveles de

inspección y la frecuencia con la que se realizan las mismas. En este sentido, se pueden definir varios niveles de inspección en función del personal que las realiza, los medios que se emplean y la frecuencia con la que se llevan a cabo. Si bien no es objeto del presente artículo ahondar en las fases que conforman la gestión de la conservación de las estructuras, sí se quiere poner de manifiesto la importancia de la realización de inspecciones programadas y sistematizadas, por cuanto son un aspecto fundamental para la detección

temprana de patologías y constituyen el punto de partida de las fases de estudio y evaluación posteriores.

En el caso de las estructuras objeto de estudio, la primera alarma sobre el estado de conservación se produce en el marco de estos trabajos de inspección programados; así, en el caso de la estructura del Nudo de Colmenar, durante la inspección principal (inspección visual por técnicos especialistas en estructuras, sin medios especiales de acceso y que se realiza cada 4 años) se advirtieron flechas excesivas en algunos vanos y fisuración abundante en el tablero, mientras que en el caso de la estructura de la carretera SG-20, fue por medio de una inspección rutinaria (inspección visual por técnicos de conservación) durante los trabajos de repavimentación de la estructura, la que detectó las grietas existentes en el tablero. De esta manera, la detección de los daños anteriores en el marco de las inspecciones programadas constituye la primera alarma sobre el estado de conservación de estas estructuras y es lo que da pie a la fase de evaluación posterior, en la que se realiza una inspección visual detallada por ingenieros especialistas en patología estructural y una campaña de auscultación y ensayos, con objeto de determinar el alcance real de las patologías detectadas y valorar sus implicaciones en el índice de seguridad estructural.

Los deterioros identificados en la fase de inspección visual detallada que pusieron de manifiesto la existencia de un proceso patológico grave fueron, fundamentalmente, la presencia de un proceso de degradación del



Figura 6. Fisuración longitudinal en la cara inferior del tablero (Estructura del Nudo de Colmenar)

hormigón por reacción árido-álcali que se manifestaba en una serie de daños particulares, el seccionamiento de las barras de armado transversal de la cara superior del tablero y defectos de inyección de las vainas de postesado.

El **proceso de degradación del hormigón por reacción árido-álcali** se manifestaba en los siguientes daños observables:

- Abundante fisuración longitudinal en la superficie inferior de la sección, orientada de forma paralela a las compresiones principales del pretensado. Esta fisuración en la parte inferior del tablero solo se observó en la estructura del Nudo de Colmenar, seguramente porque en el caso de la estructura de la carretera SG-20, y como se verá más adelante, el proceso de degradación del hormigón por reacción árido-álcali se encontraba en una fase más temprana. (Figura 6)
- Flechas verticales acusadas en el caso de la estructura del Nudo de Colmenar, especialmente en tres vanos: vano 5 (vano de mayor luz sobre la M-40) y vanos 8 y 11. La deformación de estos vanos apuntaba a una pérdida de rigidez del hormigón como consecuencia de la degradación por árido-álcali. Nuevamente, esta pérdida de rigidez del hormigón a través de la deformada no se percibió en la estructura de la SG-20, al encontrarse en un estadio más inicial del proceso de deterioro. (Figura 7)



Figura 7. Flechas acusadas apreciables en los vanos 5 y 8 de la estructura del Nudo de Colmenar



Figura 8. Fisura longitudinal observada en la cara superior del tablero (A la izquierda, estructura de la carretera SG-20; a la derecha, estructura del Nudo de Colmenar)



Figura 9. Reflejo en el pavimento de una de las grietas existentes en el tablero (Estructura de la carretera SG-20)



Figura 10 - Fracturación interior de la masa de hormigón en uno de los testigos extraídos en la estructura de la carretera SG-20ra SG-20)



Figura 11. Aureolas blanquecinas observadas alrededor de los áridos de los testigos extraídos sin necesidad de microscopía (A la izquierda, estructura de la carretera SG-20; a la derecha, estructura del Nudo de Colmenar)

- Fisuras longitudinales en la cara superior del tablero coincidentes con la dirección de los pretensados. Estas fisuras se observaron tras el fresado del pavimento en ambas estructuras, si bien eran más abundantes en la estructura del Nudo de Colmenar. (Figura 8)

En el caso de la estructura de la SG-20 la fisuración de la cara superior del tablero se llegaba a reflejar

en algunas zonas del pavimento (Figura 9)

Asimismo, en ambas estructuras, además de las grietas observadas en la cara superior del tablero, se extrajeron testigos en la alineación

de las fisuras con fracturación interior de la masa de hormigón (Figura 10)

- Asimismo, en el examen visual de los testigos extraídos en la alineación de las fisuras, se observó la



Figura 12 – Detalle de las barras seccionadas en la estructura del Nudo de Colmenar



Figura 13. Barras seccionadas en la estructura de la carretera SG-20



Figura 14. Aspecto del óxido observado en uno de los testigos extraídos en la traza de la fisura para su examen visual



Figura 15. Chequeo de los tubos de purga para comprobación de la colmatación de los mismos (Estructura de la SG- 20)

presencia de una aureola blanca alrededor de algunos áridos, compatible con la formación de gel de sílice de naturaleza expansiva, resultado de la reacción árido-álcali (Figura 11)

Por otro lado, se observó el seccionamiento de las barras de armado transversal con una alineación de rotura coincidente con algunas de las grietas longitudinales y con apariencia macroscópica de rotura frágil. Para la observación de las armaduras, se realizaron pequeñas calas en la alineación de las grietas (Figura 12 y 13).

Este tipo de rotura de tipo frágil es, probablemente, el daño más relevante observado en las estructuras objeto de estudio por lo extraordinario del fenómeno. En este sentido, el acero para armar se trata de un material dúctil, por lo que el hecho de haber experimentado una rotura frágil solo parece compatible con un fenómeno de corrosión-fatiga, que sugiere la existencia de un ataque localizado de corrosión por cloruros provenientes de los tratamientos de vialidad invernal y que penetran fácilmente en el interior de la masa de hormigón a través de las grietas existentes en la cara superior del tablero hasta alcanzar las armaduras. En el examen visual de los testigos extraídos en la estructura de la provincia de Segovia, se ha observado un óxido muy poco viscoso, que incluso en alguna etapa del proceso de corrosión ha debido ser completamente líquido por la elevada migración que se observa del óxido a las zonas de hormigón circundante, lo cual solo es compatible con la presencia de corrientes eléctricas en la estructura o con la presencia de agua en circulación con altas concentraciones de cloruros. No obstante, el puente carece de iluminación y, por tanto, no parece posible que haya corrientes erráticas o vagabundas, lo que apuntaría a un ataque localizado por cloruros. (Figura 14)

Por último, se observaron indicios de posibles defectos de inyección de las vainas de postesado al examinar los tubos de purga descubiertos en la zona fresada, mediante la introducción en su interior de una cinta métrica o un destornillador para verificar si estos se encontraban colmatados. En este chequeo previo se observó que varios de los tubos de purga no estaban inyectados de lechada hasta la cara superior de la losa y que, por tanto, sería probable que pudiera existir una inadecuada inyección de las vainas de pretensado, lo que dió pie a la posterior inspección con boroscopio en la campaña de auscultación y ensayos que se lleva a cabo en las estructuras. (Figura 15)

Además de las patologías anteriores, hay que señalar que en ninguna de las estructuras se observó la presencia de ningún tratamiento de impermeabilización en la cara superior del tablero, lo que contribuye ciertamente a agravar y acelerar cualquier proceso de degradación de la estructura.

De esta forma, los daños anteriores, detectados en la fase de estudio inicial del estado de conservación las estructuras, apuntan a la existencia de un proceso de degradación del hormigón por reacción árido-álcali, que ha dado lugar a una fisuración longitudinal abundante, parte de la cual se ha observado en la cara superior del tablero de ambas estructuras y, en el caso de la estructura del Nudo de Colmenar, importantes flechas verticales causadas por la pérdida de rigidez del hormigón característica de fases avanzadas del proceso de degradación árido-álcali.

Asimismo, y como se verá más adelante, la rotura de las barras de armado transversal superior en ambas estructuras, con apariencia de rotura frágil y con una alineación de rotura coincidente con las fisuras longitudinales observadas, sugiere que la rotura de las barras es consecuencia de

un fenómeno de corrosión-fatiga, en el que la corrosión se produce como consecuencia del ingreso de cloruros procedentes del empleo frecuente de sales fundentes a través de las grietas de la losa y la presencia de las cargas cíclicas de tráfico.

Por otro lado, el empleo de sales fundentes en losas postesadas sin tratamiento de impermeabilización, puede contribuir a la progresión de daños graves en el pretensado como la corrosión o incluso la rotura de los alambres que, si bien se trata de defectos no observables en las fases iniciales de inspección, es posible detectarlos por medio de una inspección con boroscopio en las fases de auscultación posteriores, tal como se detalla en los siguientes epígrafes.

### 3. Investigación y auscultación realizada

La identificación de los deterioros anteriores en la fase de estudio inicial por medio de una inspección visual detallada da lugar a la realización de una campaña de auscultación e investigación de las estructuras, de cara a ratificar las hipótesis iniciales y determinar el grado de afección real de las patologías detectadas en el índice de seguridad estructural. Estas investigaciones consistieron, fundamentalmente, en lo siguiente:

- Determinación de las características mecánicas del hormigón (módulo de deformación y resistencia), analizando su composición y con observación por microscopía electrónica.

En ambos casos, los resultados confirmaron la existencia de reacción árido-álcali en todos los testigos extraídos. (Figura 16)

En el caso del Puente de Colmenar, en todas las probetas extraídas se observaron en mayor o menor medida áridos fracturados y parcialmente alterados por procesos de degradación química, observando presencia de poros e interfaces árido-pasta colmatados con depósitos blanquecinos. Por otro lado, en el caso de la estructura de la carretera SG-20 se determinó que, por el tamaño y forma de los cristales observados, la reacción árido-álcali se encontraba en un estado incipiente pero ya consolidado.

Asimismo, se determinó una pérdida media del módulo de rigidez en los testigos extraídos en el Puente de Colmenar del 54%, mientras que en la estructura de la SG-20 no se observó una pérdida significativa del mismo.

- Determinación del contenido en cloruros y otros procesos de ataque químico al hormigón, observando un contenido muy elevado de cloruros en algunos de los testigos extraídos en el Puente de Colmenar (1,57% referido al hormigón, en peso, frente a un 0,2% admisible según la EHE-08) y un porcentaje inferior al máximo permitido en el caso de los testigos analizados en el puente de Segovia, un hecho que resulta incompatible con la presencia de óxido poco viscoso y el alto grado de disolución de las armaduras observado, por lo que

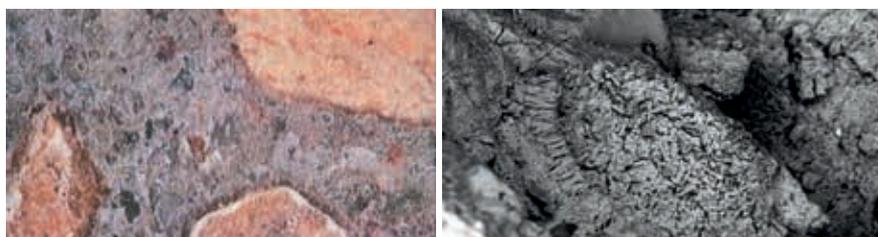


Figura 16. Aspecto de los geles detectados en la microscopía (A la izquierda, estructura del Nudo de Colmenar, a la derecha, estructura de la carretera SG-20)

se trata de un aspecto a analizar en el futuro en el puente reparado.

En este sentido, la investigación de la penetración de cloruros adquiere especial importancia en el caso de tableros de losas postesadas en la medida en que puedan afectar a los pretensados de la estructura, especialmente cuando estos presentan deficiencias en la inyección y otros defectos de ejecución como se verá más adelante. La ausencia de un tratamiento de impermeabilización adecuado del tablero resulta, asimismo, un factor determinante en estos casos.

- Además del chequeo de los tubos de purga realizado en la fase inicial y la realización de calas para el examen visual de algunas zonas de las vainas, se realizó una inspección de los cables de postesado por medio de boroscopio para evaluar el estado de la inyección y de los torones de pretensado.

Las principales patologías que se detectaron en esta inspección fueron conexiones incorrectas entre los tubos de purga y las vainas (falta de taladro en la vaina), relleno de la vaina incompleto en diferente grado según las zonas dejando cordones sin protección tanto en puntos altos como en tramos adyacentes, cordones corroídos e incluso rotos por corrosión bajo tensión, exudación de lechada, etc. Asimismo, se observó que las cotas de trazado en los puntos altos eran diferentes a las de proyecto, con un desplazamiento vertical del eje del tendón respecto a la cota teórica de hasta 220mm en el caso del puente del Nudo de Colmenar. (Figura 17)

Nuevamente, si bien los defectos detectados en las vainas de pretensado eran similares en las dos estructuras, la cantidad, extensión y grado de avance era mayor en el Puente de Colmenar, incluso con

defectos que ponían de manifiesto una mala praxis en la ejecución del pretensado, como la presencia de tubos de purga simplemente apoyados sobre la vaina que carecía de orificio de conexión con el tubo. (Figura 18)

#### 4. Evaluación de los resultados

La inspección visual detallada llevada a cabo junto con la campaña de auscultación y ensayos realizada permitió detectar y ratificar la existencia de una serie de patologías graves en las estructuras objeto de estudio, las cuales, además de ser más numerosas en el Puente de Colmenar, se encontraban en un estadio más avanzado del proceso de deterioro y eran concomitantes con otras patologías debidas a incidencias durante la ejecución, que no son el objeto fundamental del presente artículo. En este sentido, las patologías más relevantes detectadas en las estructuras y que, por si mismas, constituyen una problemática grave en tableros de losas postesadas de hormigón por sus implicaciones en la seguridad estructural, son las siguientes:

- Proceso de degradación del hormigón por reacción árido-álcali, contaminación por cloruros procedentes del empleo de sales fundentes y ausencia total de impermeabilización del tablero.
- Rotura sistemática de las barras de armadura pasiva transversal superior por un proceso de corrosión-fatiga.
- Daños en los torones de pretensado, más o menos graves según la estructura, con una patología de corrosión bajo tensión y la consiguiente rotura de varios alambres.

Las patologías anteriores suponen, por tanto, una afección significativa

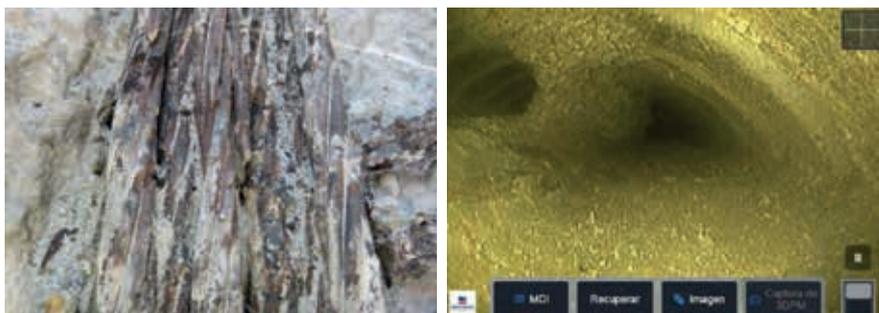


Figura 17. A la izquierda, cordones corroídos e hilos rotos; a la derecha, consistencia anormal de lechada con formación de espuma (Estructura del Nudo de Colmenar)



Figura 18. Falta de conexión entre tubo de purga y vaina de pretensado (Estructura del Nudo de Colmenar)

tiva a las condiciones de seguridad de la estructura, en mayor o menor grado en función de su extensión y grado de evolución. No obstante, si bien las estructuras objeto de estudio presentaban otros deterioros menores, se han destacado los anteriores por la estrecha relación que se llega a deducir entre ellos y por lo extraordinario e inesperado del fenómeno de rotura frágil de las barras de armado transversal, que se describe más adelante.

Así pues, el proceso de deterioro de la estructura comienza con un hormigón sensible a la reacción árido-álcali, es decir, áridos potencialmente reactivos (sílice reactiva) que, en presencia de agua y los álcalis de la pasta de cemento, dan lugar a la formación de un gel expansivo que produce tensiones internas en la masa de hormigón. En este sentido, la ausencia de un tratamiento de impermeabilización del tablero juega un papel determinante en la activación de la reacción árido-álcali, ya que para que esta se produzca es necesaria la aportación de agua (normalmente de una fuente externa); por lo que, en ausencia de agua, es decir, con una correcta impermeabilización del tablero, es posible frenar, o incluso llegar a paralizar, esta reacción.

Las tensiones internas que se producen en el hormigón como consecuencia de la reacción anterior, provoca la aparición de fisuras que, si bien en un elemento masivo o modelo idealizado formarían una red de fisuración homogénea y multidireccional, en los elementos resistentes como tableros de puente, la orientación de esas fisuras está condicionada por la geometría del elemento y la orientación de los esfuerzos. De esta forma, en las dos estructuras objeto de estudio, estas fisuras presentaban un trazado longitudinal, es decir, fisuras paralelas a las isostáticas de compresión.

La formación de las fisuras longitudinales, con grandes aberturas de fisura (fuera de los límites normativos) provoca, junto con la ausencia de un tratamiento de impermeabilización adecuado del tablero, el ingreso de cloruros a la estructura procedentes de las sales fundentes empleadas en los trabajos de vialidad invernal, facilitando de esta manera los procesos de corrosión de la armadura pasiva y de los torones de postesado.

En efecto, en los dos casos de estudio las barras de armado transversal superior presentaban roturas de la sección completa y de apariencia frágil. En este sentido, si bien las roturas de elementos de acero por un proceso de corrosión bajo tensión es un fenómeno ciertamente habitual, en los casos del Puente de Colmenar y el de la carretera SG-20, las roturas observadas son completamente diferentes a las formas de rotura habitual por contaminación por cloruros, que se presenta como una corrosión local que progresa hacia el interior en forma de cono invertido.

En estas estructuras, las barras mostraban una apariencia macroscópica de rotura frágil que apuntaba a la presencia de acciones mecánicas concomitantes al ataque por cloruros [1]. Si bien, a día de hoy, se siguen analizando las roturas detectadas en las barras por medio de ensayos y análisis en laboratorios especializados, la hipótesis más probable que se baraja es que se trate de un fenómeno de corrosión-fatiga, en el que se produce el agrietamiento del elemento metálico por la acción simultánea de una tensión cíclica y la presencia de un medio agresivo que provoca la corrosión localizada del acero. En efecto, la presencia de cargas cíclicas asociadas al tráfico en las estructuras, provocaría el avance del frente de fisuración en la picadura de la barra de acero provocada por la penetración de cloruros. En este caso, a diferencia de los procesos de

corrosión bajo tensión, en los que es necesario la presencia de una tensión permanente -o estática- (como en el caso de los cables de pretensado) para que se produzca la rotura del material, en los procesos de corrosión-fatiga esta tensión debe ser cíclica. En los casos de estudio, no parece razonable achacar la rotura de las barras a un fenómeno de corrosión bajo tensión, por cuanto no se trata de barras con un nivel alto de sollicitación y, en ese caso, el plano de rotura tendría apariencia de rotura cuasi-frágil.

Por último, el ingreso de cloruros a través de las grietas longitudinales, agravado por la ausencia de un tratamiento de impermeabilización y los defectos de inyección de las vainas de pretensado, provoca que la corrosión llegue a los cables de pretensado en ciertas secciones, originando incluso la rotura de algunos torones, esta vez sí, por corrosión bajo tensión. Asimismo, es preciso señalar que en cualquier inspección que se realice del pretensado en una estructura, existe un elevado grado de incertidumbre sobre la fiabilidad del estado de conservación al tratarse de un elemento que no es accesible para su inspección en el 100% de la longitud y, por tanto, es preciso considerar esta incertidumbre en la evaluación del estado de conservación que se realiza de la estructura y en la propuesta final de reparación que se realice en última instancia.

## 5. Estrategias para la prevención y reparación

Las patologías anteriores constituyen una problemática grave en los tableros de puente de losas postesadas. No obstante, para que estas patologías se produzcan es necesaria la confluencia de varios factores (Figura 19).

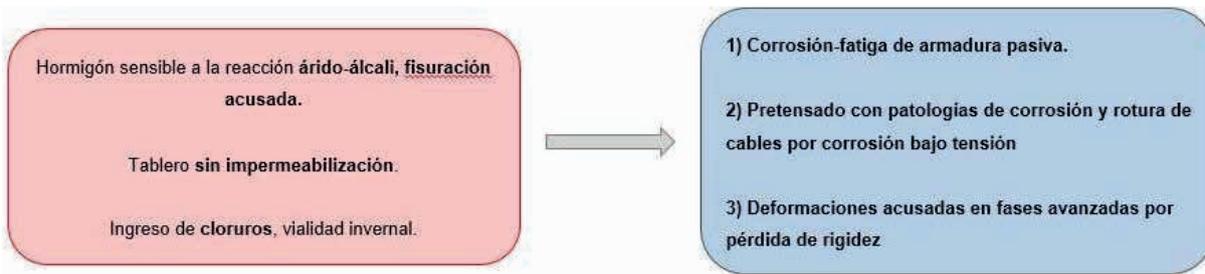


Figura 19.

La ausencia de una adecuada impermeabilización del tablero que impida la entrada de agua en la estructura y la penetración de los cloruros procedentes del empleo de sales fundentes, juega un papel determinante en el progreso de las patologías anteriores. En este sentido, para que se dé la reacción árido-álcali, además de la presencia de sílice reactiva y álcalis, es necesaria la presencia de agua que provenga de una fuente externa. Así, la reacción cesará cuando uno de los reactivos anteriores se consuma.

Por otro lado, los procesos de corrosión de la armadura pasiva y los tonos de pretensado, necesitan la presencia de un medio agresivo para prosperar. En este caso, la ausencia de un tratamiento de impermeabilización del tablero facilita la penetración de los iones cloruro al interior de la estructura, agravándose este proceso en las zonas del tablero previamente fisuradas, donde se incrementa la velocidad de corrosión por el alto porcentaje de ingreso de cloruros que se produce a través de las fisuras.

En virtud de lo anterior, es sencillo deducir que la ejecución de impermeabilizaciones adecuadas en la fase de ejecución de las estructuras es un factor determinante para evitar la progresión de las patologías anteriores. No obstante, en estructuras existentes con falta de impermeabilización o impermeabilizaciones deficientes, en las que los daños ya han progresado y han dado lugar a una evolución patológica, se debe optar por estrategias de reparación basadas en la restitución de las zonas afectadas y el encapsulamiento completo de la estructura. En este caso, una adecuada estrategia de reparación consistiría en lo siguiente:

- Hidrodemolición del tablero hasta descubrir la armadura transversal afectada, reposición de la armadura y reconstrucción con hormigón de árido fino hasta la cota inicial.
- Reinyección de las vainas de pretensado mediante una inyección al vacío por medio de una lechada fluida con inhibidor de corrosión

que mejore significativamente la durabilidad.

- Ejecución de una capa de hormigón de ultra altas prestaciones (UHPCFR) para el encapsulamiento de la estructura de, aproximadamente, 3 cm para la mejora significativa de las prestaciones de la estructura en términos de durabilidad debido a su elevada compacidad y a la ausencia casi total de poros. Además, proporciona una mejora adicional del comportamiento de la estructura frente a flexión transversal al constituir un material de elevadas prestaciones mecánicas (hasta 150 MPa de compresión y 12 MPa de flexotensión) y comportamiento resistente multidireccional.

En el caso particular de las estructuras objeto de estudio, a la vista de las patologías detectadas y considerando su extensión y grado de evolución, se adoptaron las siguientes decisiones en cuanto a su reparación.

En el caso de la estructura del Nudo de Colmenar, debido a las pa-

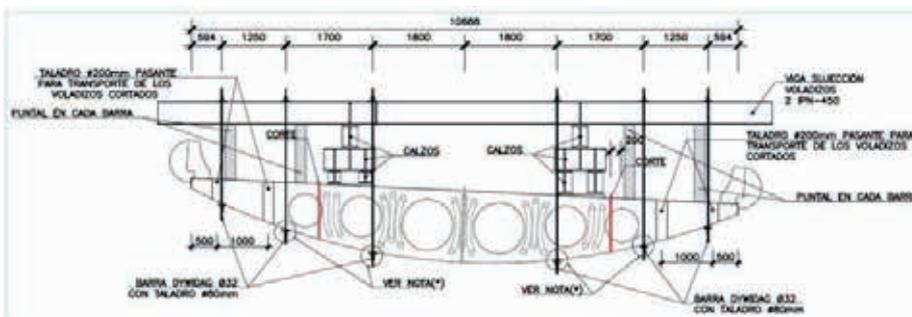


Figura 20. Desmontaje del tablero existente

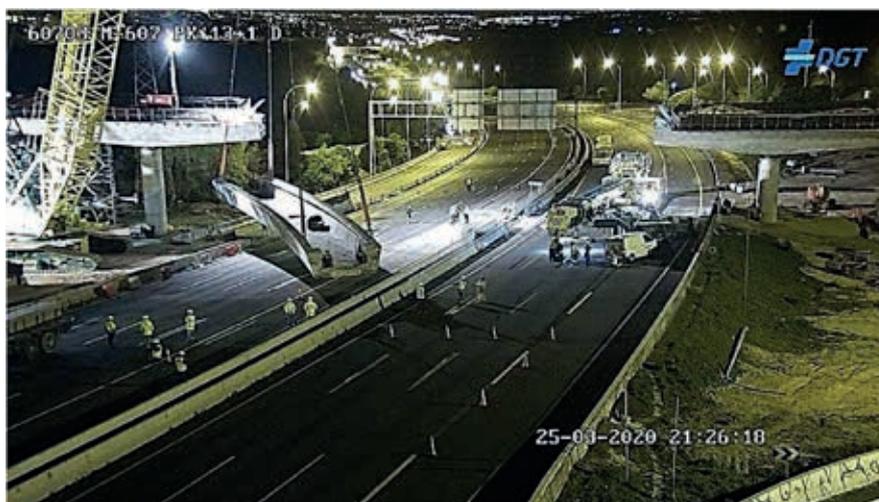


Figura 21. Montaje del nuevo tablero sobre las calzadas de la M-40

tologías detectadas, su extensión y grado de evolución y, en última instancia, los graves daños detectados en el pretensado, se concluyó que la alternativa más razonable era la demolición íntegra del puente y posterior reconstrucción con un nuevo tablero prefabricado de hormigón.

Por el contrario, en el caso de la estructura de la carretera SG-20, en la que los resultados de las inspecciones y ensayos realizados determinaron que se encontraba en una fase más temprana del proceso de deterioro, y no habiendo detectado daños alarmantes en el pretensado, se optó por una estrategia de reparación de la estructura basada en la estrategia de reparación anterior: reposición de las armaduras seccionadas, reconstrucción de las zonas de hormigón fisuradas, reinyección de las vainas de pretensado y encapsulamiento completo del tablero para evitar la entrada de agentes agresivos al interior de la estructura.

## 6. Conclusiones

Las patologías observadas en las estructuras objeto de estudio constituyen una problemática grave que ha progresado debido a la confluencia de varios factores. La ausencia de un tratamiento de impermeabilización en

la estructura ha facilitado la penetración de los iones cloruro procedentes del empleo de sales fundentes así como la degradación del hormigón por reacción árido-álcali y los procesos de corrosión de la armadura pasiva y los pretensados.

En este proceso de degradación, las tensiones internas generadas por la reacción árido-álcali han dado lugar a la aparición de fisuras longitudinales en la cara superior del tablero en las que se han concentrado las sales de deshielo que han facilitado los procesos de corrosión de la armadura pasiva y de los cables de pretensado. La propagación de este medio agresivo junto con las cargas mecánicas concomitantes ha provocado la rotura frágil de las barras de armado transversal. Si bien actualmente se están llevando a cabo investigaciones en laboratorios especializados para determinar los mecanismos más probables de rotura, todo apunta a un fenómeno de corrosión-fatiga, en el que las cargas cíclicas de tráfico son las que inducen la propagación del frente de fisuración con la carga tensional añadida de la expansión del hormigón por la reacción árido-álcali.

Asimismo, si bien se trata de una patología que se ha observado de manera reciente en las estructuras presentadas en el artículo, no se tra-

ta de un fenómeno excepcional, sino que, a raíz de su identificación en el Puente de Colmenar, se ha observado en otros puentes de tipología similar.

Las patologías anteriores son resultado de la confluencia de varios factores, no obstante la presencia de agua juega un papel determinante en el proceso de deterioro. En este sentido, una estrategia de conservación adecuada pasa por minimizar la entrada de agua en la estructura a lo largo de la vida en servicio. Por ello, la ejecución de tratamientos de impermeabilización de altas prestaciones en las fases de construcción es un aspecto clave para evitar la progresión de las patologías anteriores y sus efectos en la seguridad estructural que, en casos como el del Puente de Colmenar, pueden llegar a ser irreversibles. Igualmente, en estructuras existentes sin tratamiento de impermeabilización en las que estas patologías ya han progresado, es posible ralentizar la velocidad de deterioro adoptando medidas enfocadas a restituir las zonas deterioradas y encapsular la estructura mediante el empleo de hormigones de ultra altas prestaciones. No obstante, en este caso será imprescindible realizar una campaña de auscultación y ensayos de cara a determinar la magnitud, extensión y grado de evolución de las patologías detectadas y valorar la incertidumbre sobre la fiabilidad del estado de conservación de toda la longitud del pretensado, al ser un elemento esencial para la seguridad estructural del puente e inaccesible para ser auscultado.

## Referencias

- [1] Andrade Perdrix, C. (2020). Informes sobre las causas de los daños en las estructuras del Nudo de Colmenar y de la carretera SG-20. ❖

# Reunión en Sevilla del Comité Técnico 1.1 de PIARC y Taller Internacional sobre “*Innovation and Innovative Organizations*”

**Christos S. Xenophontos**

*RIDOT, Estados Unidos  
Presidente del CT 1.1*

**José Manuel Blanco Segarra**

*DGC, MITMA, España  
Secretario del CT 1.1*

**Jonathan Spear**

*Policy and Strategy Advisor, Reino Unido  
Colíder del GT2 del CT 1.1*

## Comentario general

El Comité Técnico 1.1 “Funcionamiento de las Administraciones de Transporte” ha mantenido su cuarta reunión del ciclo 2020-2023 en Sevilla, del 21 al 26 del pasado noviembre, primera presencial que un CT de PIARC ha podido celebrar desde el desencadenamiento de la pandemia COVID-19. Su formato híbrido ha incluido un Taller Internacional sobre “*Innovation and Innovative Organizations*” con participantes de España, Estados Unidos, Reino Unido y Francia y, debido a las limitaciones de tiempo, las presentaciones de Australia, Bélgica, Sudáfrica y Minnesota (EE. UU.) inicialmente previstas, se trasladaron al Taller sobre “*Innovation as a PIARC Cross-Cutting Issue*” de la reunión (virtual) de PIARC de mitad de ciclo a celebrar a la semana siguiente.

El video completo del Taller en Sevilla puede verse en [Workshop on Innovation and the Innovative Organization - PIARC International Workshop - 23 Nov 2021 - YouTube](#)

En nombre del TC 1.1 agradecemos vivamente el apoyo de la ATC, de la Dirección General de Carreteras (MITMA) y la plena colaboración del Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental, Marcos Martín Pantoja, en la organización de la reunión y del Taller Internacional.

## Taller Internacional sobre “*Innovation and Innovative Organizations*”

El CT 1.1 concibe la innovación como un imperativo por tratarse de una materia directamente relacionada con el desempeño actual y futuro de las administraciones de carreteras, sus relaciones con los usuarios/clientes y las partes interesadas, y el desarrollo de los futuros modelos de servicio. El Taller se ha centrado en dos áreas principales: los fundamentos de la “innovación organizativa” y la “innovación aplicada”, desde las perspectivas académica, privada, nacional e internacional.

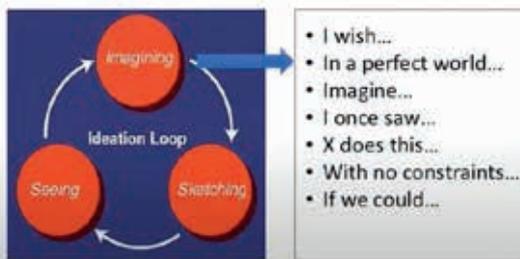




En la introducción por José Manuel Blanco Segarra (secretario del CT 1.1, España) y por Christos Xenophonos (presidente del CT 1.1, EE. UU) se expuso cómo se implantó en el CT el debate sobre la innovación y su vinculación con la administración de carreteras del futuro, y fue presentado el concepto de la Estrella Polar que debe guiarnos al servir a las personas y a la sociedad en su conjunto, tras lo que se inició la cadena de las doce sucesivas intervenciones.

- **Cat. Mark FAGAN**, catedrático de políticas públicas, Harvard University (EEUU): *“Abrirse a la innovación: Un imperativo del sector público”*.

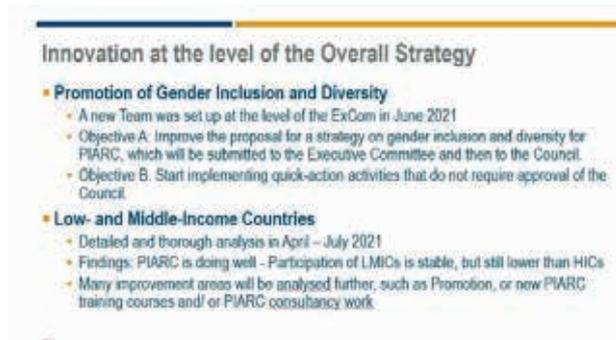
**Bringing in Innovation**



Su presentación sentó las bases de la importancia de la innovación para los organismos del sector público como vehículo para incrementar el “valor público”. Planteó el reto que representa la definición y creación de “valor público” y destacó la importancia no sólo de la innovación sino también de la creación de una “cultura de la innovación” que se mantenga durante la

institucionalización de los nuevos procesos. Presentó diversas formas de hacer que la innovación nos llegue tales como el “Ciclo de Ideación”, los “Hackathon” o el Ciclo Kaizen, para actividades de mejora continua y apuntó que si tal proceso de continua mejora es asumido en el nivel organizativo se convierte en parte de la cultura organizativa y facilita la innovación.

- **Patrick MALLEJACQ**, Secretario General de PIARC (Francia): *“La innovación como cuestión transversal de PIARC”*.



Expuso que la Secretaría General considera la innovación como una cuestión transversal horizontal y que se está coordinando con los comités para determinar posibles proyectos conjuntos y evitar solapamientos. El fundamento de PIARC es el intercambio de conocimientos, la determinación de buenas prácticas y la puesta en común de los resultados mediante informes, manuales en línea, seminarios o talleres como éste. PIARC moviliza a expertos internacionales en carreteras y transporte en más de 20 comités y gru-

pos de estudio que trabajan en ciclos de cuatro años que culminan en los congresos de PIARC, estando el próximo ya previsto para octubre de 2023 en Praga.

- **Jonathan SPEAR**, Asesor de Política y Estrategia de Transporte, Atkins Acuity, Dubai (Reino Unido): “*La Innovación como hilo conductor del CT 1.1 de PIARC*”.



Explicó que, en el anterior ciclo, el CT 1.1 ya había considerado a la innovación como parte de su labor en “Evaluación de la Transformación de las Administraciones de Transporte” en el que también se consideró la Gestión de los Cambios y la Innovación (véase el Informe 2019R21ES), y señaló que la innovación tiene efectos sobre los clientes y usuarios, la finalidad, la estructura, las capacidades y las tecnologías.

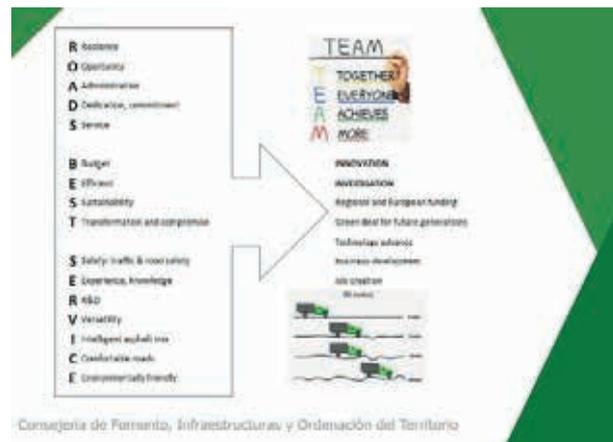
Aquí cabe destacar que la labor que el CT 1.1 está realizando muestra que sólo aquellas organizaciones que innoven serán capaces de captar y cumplir las expectativas de sus clientes y de la sociedad con los recursos que tengan a su disposición. Esta visión está siendo estudiada por el GT 2 y también conlleva en el CT consideraciones acerca de las experiencias de los clientes y la diversidad en la fuerza de trabajo. El CT está empezando a considerar cómo puede ser la “Agencia de Transporte del futuro”.

- **Ana Luz JIMÉNEZ ORTEGA**, Jefe Provincial de Tráfico en Sevilla y Coordinadora de Andalucía, Ceuta y Sevilla, Ministerio del Interior: “*El enfoque de la Dirección General de Tráfico*”.



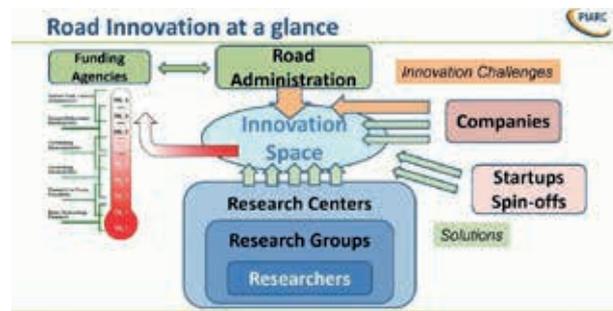
Señaló que, desde su creación, la DGT ha sido siempre un organismo con un fuerte carácter innovador y con acciones singulares para lograr sus objetivos. Destacó que la innovación no equivale necesariamente a nuevas tecnologías, sino que “*pequeñas acciones innovadoras pueden hacer que se alcancen grandes logros*”. Además, presentó buenas prácticas recomendadas acerca de lo que deben hacer las organizaciones para convertirse en “organizaciones innovadoras” y adoptar una cultura de innovación. Concluyó con el consejo siguiente: “La innovación es esencial para sobrevivir, porque lo único que nunca cambia es el hecho de que todo está siempre cambiando”.

- **Susana BENAVIDES VEDIA**, Subdirectora de Infraestructuras, DG de Infraestructuras de la Junta de Andalucía: “*El enfoque de la Dirección General de Infraestructuras de la Junta de Andalucía*”.



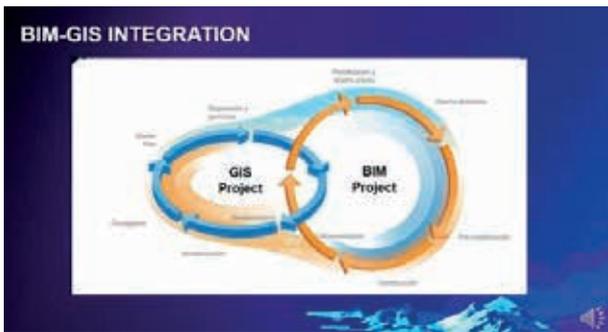
Expuso varios ejemplos de innovación aplicada que la Consejería está llevando a cabo y subrayó que el objetivo es proveer el mejor servicio aprovechando los medios disponibles y con la implicación de empleados públicos, la universidad y el sector privado. Además, compartió con los asistentes dos interesantes vídeos sobre innovación aplicada.

- **Cat. Alfredo GARCÍA**, Catedrático de Ingeniería de Carreteras y Director del ITRAT, Universitat Politècnica de València (España): “*Los retos actuales de la innovación tecnológica en el nuevo campo del transporte por carretera*”.



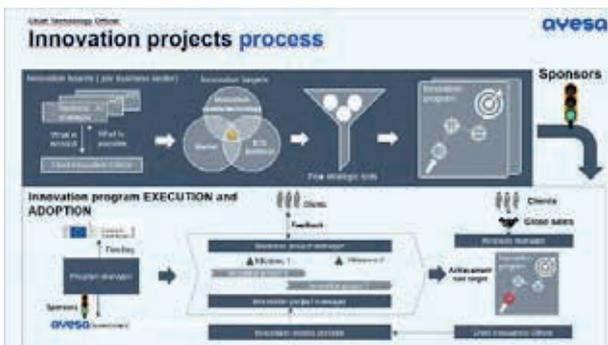
Aportó su visión de qué será el nuevo campo del sector de la carretera, los cambios que se están produciendo y los venideros y cómo las “Smart Roads” demandan numerosas innovaciones de todo tipo que procederán de numerosos actores, incluyendo a diversos tipos de compañías tecnológicas, grupos universitarios de investigación y centros de investigación, a todo lo cual deberán dar respuesta las administraciones.

- **José Manuel CENDÓN ALBERTE**, Subdirector General de Infraestructuras de Movilidad, Ayuntamiento de Madrid (España): “La tecnología y la digitalización en la DG de Planificación en Infraestructuras de Movilidad”.



Expuso ejemplos de innovación que la Dirección General está llevando a cabo centrándose en el empleo de la metodología BIM en la remodelación del Nudo Norte de Madrid, la integración BIM – SIG y una aplicación para teléfonos móviles destinada a los desvíos de tráfico.

- **Juan de Dios HERMOSÍN RAMOS**, Director de Tecnología, AYESA (España): “¡INNOVACIÓN! El único activo real de una empresa privada”.



Presentó la perspectiva de una empresa del sector privado y destacó la fusión de las infraestructuras y el mundo digital y la importancia de aplicar de manera integrada la ingeniería y la tecnología. Su visión es que todo ello está vinculado al talento, las actitudes y la cultura organizativa y a la necesidad de disponer de una estrategia unificada, un modelo de gobernanza y un procedimiento para los proyectos de innovación.

- **Matthew DAUSS, Esq.**, Presidente de la IATR, International Association of Transportation Regulators (EE. UU.): “El modelo de gobernanza de las agencias de transporte público para adaptarse a las innovaciones impulsadas por el sector privado”.



Expresó su opinión de que la mayoría de los organismos de transporte siguen anclados en modelos de gobernanza del pasado siglo XX y que para adaptarse a los servicios y tecnologías que están emergiendo, sumado a los cambios que la COVID-19 ha traído y los problemas de financiación, se precisa un cambio de estructura de gobernanza que ha de empezar de arriba hacia abajo y basado en lo que denominó “los cinco pilares de la gobernanza”.

- **Eric OLLINGER**, Jefe de la MARRN (Misión de apoyo a la red de carreteras nacional) DIT/DGITM (Francia): “Mecanismos de apoyo en Francia a la innovación en carreteras. Centrados en el CIRR, Comité de Innovación en Carreteras y Calles”.

**Support mechanisms for road innovation (financing excluded)**

Device	Operator	TRL	Principle
Technical notices	IDRRIM	8-9	Access to the market for products which are not standardized yet
Roads and Streets Innovation Committee (CIRR)	Cerema	6-8	Open road testing with evaluation by a trusted third party
National projects	IREX	3-6	Collaborative applied research projects

Aportó una de las perspectivas internacionales presentando los mecanismos de apoyo a la innovación en carreteras, así como al importante “Programa de Inversiones de Futuro” que incluye, entre otras, destinar 200 millones de euros a la movilidad automatizada e infraestructuras conectadas y bajas en carbono. Además, expuso el sistema de apoyo del CIRR consistente en pruebas en la propia carretera que son evaluadas por terceros.

- **Thomas D. EVERETT**, Director Ejecutivo de la FHWA, Primer Delegado ante PIARC (EE. UU.): *“Fomentando una cultura de la innovación. Perspectiva organizativa de la FHWA acerca de la innovación”*.



Proporcionó la perspectiva de la FHWA acerca de la innovación y una panorámica de los principales programas para su despliegue y de los elementos de una “cultura de la innovación”. Destacó que la meta de la FHWA es encabezar el desarrollo de prácticas y tecnologías que mejoren la seguridad y el rendimiento del sistema nacional de transporte, desde su concepción hasta su aplicación para mantener capacidad de respuesta y de adaptación y explicó el “enfoque EDC” (Every Day Counts) para el rápido despliegue de innovaciones comprobadas, pero infrutilizadas.

- **Ángeles MARÍN ANDREU**, Jefe de la Oficina de la Estrategia de Movilidad, MITMA (España): *“Estrategia de Movilidad Segura, Limpia y Conectada 2030”*.



Tras exponer los diversos impactos del transporte y la movilidad, así como los principales factores impulsores de la transformación del sector y su compleja gobernanza, trató acerca de cómo afronta el MITMA tales retos mediante una estrategia, la Ley de movilidad sostenible y el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, y esbozó sus nueve ejes

señalando que la cultura innovativa es esencial, así como la participación del conjunto del ecosistema de la movilidad.

## Conclusiones

Las presentaciones y consiguiente debate permitieron obtener las siguientes conclusiones clave sobre la innovación y su aplicación a las Administraciones de Transporte y Carreteras:

- La innovación puede servir como vehículo esencial para que las agencias de carreteras y transporte aporten un mayor valor público a la sociedad.
- A menudo, la fuente de innovación provendrá de fuera del sector del transporte, o se generará mediante empresas privadas, inventores y emprendedores, lo que significa que las agencias de carreteras y transporte deben buscar inspiración e ideas desde una perspectiva amplia.
- Históricamente, el sector de las carreteras ha tenido un rendimiento desigual en términos de innovación. Básicamente, el vehículo motorizado conducido por el ser humano y propulsado mediante motor de combustión interna es el mismo en 2020 que en 1900 aunque ahora ello empieza a ser alterado por nuevos planteamientos de electrificación, autonomía y transformación digital.
- La innovación no consiste únicamente en nuevas tecnologías, sino que también implica el reajuste y racionalización de los procesos, nuevas formas de prestar servicios, implicar, motivar y recabar ideas de las personas, incluidas las pequeñas cosas que éstas pueden hacer para que su propio trabajo sea más eficiente en el día a día. *“Las pequeñas acciones innovadoras pueden hacer que se alcancen grandes logros”*.
- El trabajo del CT 1.1 ha mostrado que la innovación afecta a todas las facetas de una organización, desde las personas hasta los clientes, los sistemas y los procesos. Por lo tanto, tiene que estar plenamente integrada, en el nivel organizativo, en todas las funciones, de arriba abajo y no limitarse a un único departamento o sección.
- Desarrollar una “cultura de la innovación” precisa tiempo y esfuerzo, pero es una necesidad si un organismo quiere seguir mejorando. Cuando la continua mejora se convierte en parte de la cultura de una organización, prolifera la innovación.



- Los organismos de carreteras y transporte deben hacer evolucionar sus actuales modelos de gobernanza para poder adaptarse a los servicios y tecnologías emergentes y afrontar las innovaciones generadas por los sectores privado y académico, así como por otros organismos públicos de diferentes ámbitos.
- Fomentar la diversidad en la fuerza de trabajo de una organización, en todos los niveles, ayuda a impulsar la innovación, pues reúne a personas con diferentes procedencias, conjunto de habilidades, perspectivas vitales y puntos de vista. La innovación prospera ante el reconocimiento de las diferencias.
- Centrarse en el despliegue rápido de innovaciones probadas, pero infrautilizadas, puede dar grandes resultados, como ha demostrado la iniciativa Every Day Counts de la FHWA. La EDC es un modelo con base en cada Estado, que determina y despliega rápidamente innovaciones probadas pero infrautilizadas que hacen que el sistema de transporte sea adaptable, sostenible, equitativo y más seguro para todos.
- La innovación siempre implica un riesgo de fracaso y de que las iniciativas no alcancen las expectativas. Ello es parte natural del proceso de aprendizaje y permite descartar los enfoques ineficaces en una fase temprana y destinar los recursos a las líneas más prometedoras.
- La innovación debe regularse de forma adecuada y proporcionada a medida que madura y es adoptada, buscando maximizar los beneficios para la sociedad en su conjunto (sin dejar a nadie atrás) al tiempo que se determinan y mitigan los riesgos, especialmente en torno a cuestiones como la seguridad, la privacidad y la equidad.
- *“La innovación es esencial para sobrevivir, porque lo único que nunca cambia es el hecho de que todo está siempre cambiando”.*

### Comentarios finales. Taller durante la reunión de mitad de ciclo de PIARC y Taller del CT 1.1 que celebrará en Polonia en abril 2022

La cuestión de la innovación ha sido identificada como una cuestión transversal en el Plan Estratégico 2020-2023 de PIARC y, por ello, los autores trabajaron con la Secretaría General de PIARC para organizar el Taller virtual “La innovación como tema transversal de PIARC” que se celebró el 1 de diciembre de 2021 durante la reunión de mitad de ciclo de la Asociación. Las presentaciones de Australia (Main Roads Western Australia), Bélgica (AWV, Flandes), Sudáfrica (SANRAL) y EE. UU. (Minnesota DOT) proporcionaron la oportunidad de estudios de caso y sus trasfondos para el sólido debate que tuvo lugar durante dicha reunión.

Por último, uno de los pasos más críticos para progresar es la aplicación y ampliación. Como reconocimiento de lo crítica que es esta parte, el CT 1.1, en colaboración con la Dirección General de Carreteras Nacionales y Autopistas de Polonia (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, GDDKiA), y con el apoyo del Congreso Polaco de Carreteras (Polski Kongres Drogowy), que actúa como Comité Nacional de PIARC en Polonia, está organizando un Taller sobre “Implementación de la Innovación - El Paso Crítico”. El Taller tendrá lugar en formato híbrido, presencialmente en Varsovia (Polonia) y en línea, el 26 de abril de 2022 y se celebrará en inglés con interpretación simultánea al polaco. ❖

# La métrica de los puentes



## Eduardo Toba Blanco

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Abogado y Poeta

### 1. El Puente y el concepto de Belleza

A aquella clásica definición de Belleza como: “una relación armoniosa entre las partes y el todo, y el todo con sus partes”, deberíamos añadir la nota de que aquella armonía o su contraria (ruptura), pero también su negación caótica, se manifiesta esencialmente de manera ondulatoria y vibrante, penetrando las partes en el todo, y aquellas entre sí y con su humano observador.

La Belleza que procede de la obra de Arte, es un tensor, que puede ser covariante o contravariante, con el tensor que constituye el acervo cultural de su observador, y cuyo producto producirá siempre una deformación de dicho acervo, modificando su sentido estético.

Así un puente como objeto creado por el hombre debe tener como fin el de unir las riberas separadas del territorio, librar un accidente natural o artificial, para permitir que ambas orillas las alcancen los seres humanos. Pero también influirá en el resto de las Artes como luego veremos.

¿Dónde se produciría la mayor armonía en esa múltiple relación, la del puente con ambas riberas?, de acuerdo con los criterios que venimos defendiendo, en lo estricto, en lo mínimo necesario para alcanzar el fin buscado.

### 2. El lenguaje de la Obra

Con la obra presentada en su plano humilde, desvestida de boato y banalidad, podríamos entrar ya, dentro de su esencia. Sufriríamos con ella su estado tensional, comprendiéndola física y matemáticamente, y estableceríamos en esa relación trilateral (tierra, obra, observador) tal y como sucede con la obra conceptual, un lenguaje ondulatorio, que traducido en ritmos no dejaría de ser el único lenguaje universal.

### 3. La Métrica de los Puentes

Como en la obra artística, las limitaciones de la obra pública también provienen del interior del artista, pero en el caso de la obra pública, el genio está anclado a la tierra, al entorno, a la capacidad resistente de los materiales, a la función, a los presupuestos, a los plazos.

A partir de estos factores limitantes, los Ingenieros dotan a la estructura de ritmo, de rima, de simetría, la hacen volar, o la anclan firmemente al terreno.

Podemos recurrir a la Poética para diseñar un puente, y crear ritmos y rimas. hacer que suene y resuene en nuestras almas.

Desde la plástica sutileza de Salginatobel (Robert Maillart, 1930), a la prosa rítmica del viaducto de Millau



PUENTE LUIS I en Porto (T. Seyrig 1886). (Fotografía de E.Toba., Pintura de Tono Correa Corredoira)



VIADUCTO DE MILLAU. (Ing. Michel Virlogeux, y Arq. Norman Foster, 2004)

(ing. Michel Virlogeux, y arq. Norman Foster, 2004), las obras de arte, Puente, son innumerables, son grandiosas.

Sus creadores, hablaron el lenguaje puro y limpio de la Matemática, y ocupados en la consecución de su proyecto y en la conjunción de todos sus condicionantes, las desposeyeron de sus limitaciones como hombres e irremisiblemente las dotaron de una estética ética.

Ese es el momento en el que la obra pública se convierte en Arte.

Sin embargo, la realidad es que esta transformación solo a veces se consigue, y con frecuencia son demasiadas las variables que juegan en contra. Cada vez se hace más patente que cuanto más se aleja la Obra Pública de su transformación en Arte, más se condena al hombre a convivir en un ambiente desagradable, hostil e hiriente.

#### 4. Objetivar la percepción

Un alma sensible al Arte y la Belleza se recrea en la contemplación reiterativa de la obra artística.

La obra es un manantial imperecedero. Habla un lenguaje ondulatorio que es preciso captar con los sensores

de nuestra sensibilidad, de manera que a base de verla o sentirla de modo reiterativo, produce la transformación permanente de nuestro sentido estético.

La obra nos impregna de sí misma a fuerza de contemplarla, y nos transforma hacia nuevas posiciones estéticas si nos dejamos guiar. Este fenómeno que ocurre a cualquier perceptor sensible a la belleza, afecta también a su propio creador, lo transforma su obra, aunque casi siempre habrá de romper, enfrentarse a sus distintas manifestaciones para poder seguir creando, a riesgo de morir atrapado por la última

¿Cómo podríamos objetivar la percepción?, para poder valorarla, además de la obra producida por su creador, es necesario realizar encuestas cuantitativas, y recurrir a las selectivas, a través de los análisis de motivación, que generalmente las realizan expertos a través de entrevistas en profundidad con el fin de individualizar las razones por las que la actuación de que se trate, puede ser aceptada o rechazada.

Las opiniones, aun siendo subjetivas, adquieren con este método visos de objetividad.

### 5. El puente y la fotografía artística

Con motivo de las Fotografías seleccionadas para la exposición Rande en Nueva York, ganador del segundo premio IABSE, como el segundo mejor proyecto a nivel mundial, incorporo a mi exposición estas bellas imágenes de dos de los autores que han participado en esta brillante exposición, y que me han sido facilitadas por AUDASA para esta publicación.

En ellas se percibe como juegan todos los elementos del Ambiente con esta magnífica obra de Ingeniería.



AMPLIACIÓN DEL Puente de Rande. Ingeniero autor Manuel Juliá y MC2. Finalista de los premios OSTRÁ y IABSE



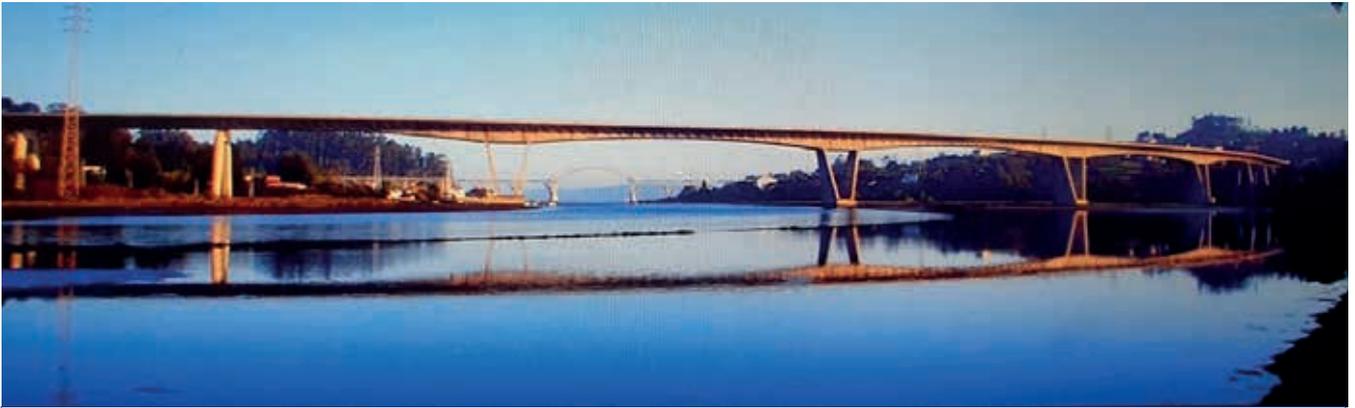
PUENTE DE RANDE. Ampliación. Directora de las obras Ana Fernández Prieto, Ingeniera de Caminos, C. y P. de AUDASA



SURFISTA ENTRE LA NIEBLA DE RANDE. Marta García Brea



RANDE. Alberto Vázquez Fernández



PUENTE DE EL PEDRIDO AP-9. Juan José Arenas de Pablo- Marcos Pantaleón



PUENTE DE EL PEDRIDO AP-9



El Viejo Puente del Pedrido



El Nuevo Puente del Pasaje. Director del proyecto Ing. Eduardo Toba, Autores: U.T.E. ICEACSA, PROYFE y FERNANDEZ CASADO

## 6. El puente en la literatura y en el cine

El puente ha servido como fuente de inspiración para infinidad de obras de Arte.

Como ejemplos en la Literatura y el Séptimo Arte podemos citar:

- Un puente sobre el Drina, Ivo Andric.  
*La ciudad de Visegrad (Bosnia), situada a orillas del río Drina, tuvo un momento de esplendor en la Edad Media por constituir un puente de tránsito entre el mundo cristiano y el islámico.*
- Los puentes de Madison (The Bridges of Madison County).
- El puente sobre el río Kwai.
- Vértigo.

El Golden Gate, en San Francisco, es otro de los puentes más cinematográficos.



VERTIGO y GOLDEN GATE. En la foto Kim Novak

Aparece en películas como el Halcón Maltés, Harry el Sucio, Superman, La Roca, El Origen del Planeta de los Simios, o Vértigo, dirigida por Alfred Hitchcock y protagonizada por James Stewart y Kim Novak, y considerada una de las mejores películas de la historia del cine.

## 7. El puente en la poesía

### Orillas del Duero,

Antonio Machado

*Entre cerros de plomo y de ceniza  
manchados de roídos encinares  
y entre calvas roquedas de caliza,  
iba a embestir los ocho tajamares  
del puente el padre río,  
que surca de castilla el yermo frío.*

### Soledad,

Rosalía de Castro

*Un manso río, una vereda estrecha,  
un campo solitario y un pinar,  
y el viejo puente rústico y sencillo  
completando tan grata soledad.*

### Puentes.

Pablo Neruda

*Puentes: arcos de acero azul adonde vienen  
a dar su despedida los que pasan  
por arriba los trenes,  
por abajo las aguas,*

### Canción cinco.

Blas de Otero

*Por los puentes de Zamora,  
sola y lenta, iba mi alma.  
no por el puente de hierro,  
el de piedra es el que amaba.  
a ratos miraba al cielo,  
a ratos miraba al agua.*

### Posesión.

Vicente Aleixandre

*Negros de sombra. caudales  
de lentitud. impaciente  
se esfuerza en armar la luna  
sobre la sombra sus puentes.*

**El puente,**

Hart Crane

Poema épico o como conjunto de poemas líricos, tal vez indicio de un género nuevo: la "epopeya modernista".

El puente está inspirado en uno de los emblemas poéticos de Nueva York: el Puente de Brooklyn.



PUENTE DE BROOKLYN

**CONTEMPLANDO UN HERMOSO PUENTE CONFORME SE PROYECTABA**

Eduardo Toba Blanco

A Coruña 3 de junio del 2021, Sala Barrié. Sobre él Puente de Ramsey en Liverpool, autor José Romo, FHECOR

*Hace tiempo que traspasé la crisálida del alma,  
y sentí tu piel,  
penetré con mis ojos tus sentidos,  
idealicé tu forma,  
esculpí con mis manos tu presencia,  
me vinculé a tu alma*

*Pero tu ausencia me arrastró a lo más hondo,  
y lloré sin lagrimas hasta desgarrar mi interior,  
buscándote en silencio  
no te encontré*

*Lo intenté tantas veces  
pero tu imagen volvía*

*y se marchaba  
huyendo de mí  
Sufriste como yo ya imaginaba,  
pero te faltó valor para decir tan sólo dos palabras:  
amor te amo*

*Te faltó decisión,  
ya te había vencido la falta de esperanza,  
el desconsuelo*

*Te busqué tantas veces  
pero Tú, ya no estabas,  
Sentí tu ausencia  
y lloré sin lagrimas*

## 8. Conclusiones

A través de nuestro análisis y exposición podemos demostrar QUE:

- La obra pública de carácter histórico ha sido asumida por la colectividad como obra de arte o patrimonial. no viene sucediendo lo mismo con la obra contemporánea.
- Los Ingenieros debemos reivindicar nuestro papel de creadores dentro del territorio con nuestras actuaciones de Obras Públicas.
- El arte Conceptual, Minimalista, puede ser un buen punto de partida para que los ingenieros relacionemos lo útil y bello de modo simultáneo.
- Existe entre el colectivo de ingenieros, cada vez un mayor número de los que se sienten atraídos por el mundo de las Artes. dando así a nuestras obras su verdadero significado. así conseguiremos que la obra de Ingeniería adquiera el carácter de obra de arte y patrimonial, como legado histórico, para las futuras generaciones.
- A través del conocimiento de las Humanidades el ingeniero se hará cada vez más humanista, y en ese momento al pensar en el ser humano al realizar su obra, se aproximará cada vez más al logro de belleza.
- Podemos recurrir a la Poética para diseñar un puente, y crear ritmos y rimas. hacer que suene y resuene en nuestras almas.

## Bibliografía

- [1] Caruncho, Luis y otros: "EL PASO, 40 años después"; 1997; Edita Fundación Pedro Barrié de la Maza; A Coruña.
- [2] Castro, Antón: "LAS MANZANAS DE YOKO ONO"; 1995; Edita Espiral Maior; Santiago de Compostela.
- [3] Castro, Antón, y Olivares, Rosa: Catálogo del proyecto de ISLA DE ESCULTURAS; 2000; Edita Consellería de Cultura de la Xunta de Galicia; Santiago de Compostela
- [4] De Sambad, Daniel: "Retrato estético de un artista maldito que se creía Oscar Wilde"; 1998; Edita Diputación Provincial de Pontevedra.
- [5] Español Echániz, Ignacio: "LAS OBRAS PUBLICAS EN EL PAISAJE"; 1998; Edita CEDEX; Madrid.
- [6] Maderuelo, Javier; ARTE PUBLICO; 1994; Edita Diputación de Huesca. Huesca
- [7] Kerouac, Jack: "En el camino". Edit. ANAGRAMA
- [8] Keith, Patrick, y otro: "ESCULTURA BRITANICA CONTEMPORANEA: De Henry Moore a los años 90"; 1996; Edita Fundação de Serralves y Auditorio de Galicia; Santiago de Compostela.
- [9] Michaux, Henri: "ESCRITOS SOBRE PINTURA"; 2000; Edición traducción y prólogo de Chantal Maillard, de la colección de "Arquitectura" dirigida por el profesor Francisco Jarauta y otros, y patrocinada por el Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia.
- [10] Pérez Sanz Antonio: "Las Ecuaciones de las Flores". Revista SIGMA nº 26.
- [11] Semprún, J.: "La Espiral. Naturaleza, Simbología y Cosmos". Grabados de M. Chirino. Fundación Maphre Guanarteme.
- [12] Toba Blanco, Eduardo, y otros: "EL JARDIN DE HERCULES: 14 escultores bajo la luz del faro"; 1995; Editor J. M.Villar; A Coruña.
- [13] Toba Blanco, Eduardo: "LA CIUDAD Y EL MAR: Un recorrido por los paseos marítimos"; 1999; Editor J. López Garrancho; A Coruña.
- [14] Toba Veloso, Rosa: Tesis doctoral: "Dendrímeros electroactivos con núcleo de viológeno"
- [15] Westerdahl, Eduardo: "LA ESCULTURA DE PABLO SERRANO"; 1984; Ediciones Polígrafa, S.A.; Barcelona.
- [16] Toba Blanco, Eduardo: "El hombre en la obra de Tono Galán". Revista Guadalimar.
- [17] Toba Blanco, Eduardo: "Las obras públicas y el Land Art". Revista O.P.
- [18] ACTAS DE LAS I JORNADAS INTERNACIONALES SOBRE PAISAJISMO; Santiago de Compostela 1991; Editan los Colegios de Arquitectos, Ingenieros Agrónomos, e ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [19] ACTAS ARTE Y NATURALEZA; El paisaje; 1996; Edita Diputación de Huesca
- [20] ACTAS ARTE Y NATURALEZA; El jardín como arte; 1997; Edita Diputación de Huesca.
- [21] ACTAS DEL II CONGRESO DE INGENIERIA DEL PAISAJE; 1997; Edita Asociación Española de Ingeniería del Paisaje.
- [22] Catálogo de la exposición "MINIMAL-MAXIMAL" celebrada el año 1999 en el CGAC; Santiago de Compostela. ❖

“EL SABER NUNCA HA ESTADO TAN CERCA”



Descubre más en

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

# Jornada sobre Normativa Estructural y Geotécnica en los proyectos de la Dirección General de Carreteras



Madrid, 24 de febrero de 2022

La Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero, recoge en su artículo 126 las reglas que se deben seguir para el establecimiento de las prescripciones técnicas que rigen los contratos públicos. El apartado 5b de dicho artículo, incluye un orden de prelación que comienza por las especi-

ficaciones técnicas contenidas en normas nacionales que incorporen normas europeas, lo que en el caso de España se refiere a normas UNE EN.

Para dar cumplimiento al mandato del legislador, en la Dirección General de Carreteras (DGC) del MITMA se redactó la *Orden Circular 1/2019 sobre aplicación de los Eurocódigos a los proyectos de carreteras*, en la que se dispone que los puentes y estructuras asimilables, así como los terraplenes,

desmontes y demás obras geotécnicas de la Red de Carreteras del Estado, se deben proyectar con los Eurocódigos Estructurales. Esta orden resulta de aplicación a los proyectos de nueva construcción y elementos afectados por ampliación o refuerzo, cuya Orden de Estudio se emita con posterioridad a su entrada en vigor, es decir el 25 de marzo de 2019

Algo más de dos años después, el 10 noviembre de 2021, entró en vigor el Real Decreto 470/2021 de



Javier Herrero



Rosario Cornejo



Pilar Crespo

aprobación del Código Estructural, que recoge en su disposición adicional segunda la plena validez del proyecto con el conjunto completo de la serie Eurocódigos (normas UNE EN 1990 a 1999) para los órganos o entidades del sector público y dentro de su ámbito, que son las estructuras de hormigón, de acero y mixtas.

En este contexto, el pasado día 24 de febrero de 2022, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) organizó, con la colaboración del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP), la jornada sobre “*Normativa estructural y geotécnica en los proyectos de la Dirección General de Carreteras*”.

Dicha jornada se celebró en el auditorio Betancourt de la sede central del CICCP en Madrid y contó con la participación de ponentes de la Dirección General de Carreteras (DGC), del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), del mundo universitario y de empresas constructoras y consultoras de

acreditado prestigio en el ámbito de la ingeniería de estructural.

En primer lugar, tomó la palabra **Javier Herrero**, director general de Carreteras del MITMA, quien introdujo la jornada remarcando como objetivo prioritario la seguridad estructural y el hecho de que para su consecución se requiere un marco normativo que refleje el máximo nivel de conocimientos disponible y que resulte integral y coherente. También destacó el beneficio que obtendrán las empresas constructoras y consultoras españolas al trabajar con la misma normativa en toda Europa.

En segundo lugar, lo hizo **Pablo Bueno**, presidente de Tecniberia, la Asociación Española de Empresas de Ingeniería, Consultoría y Servicios Tecnológicos, recalcando el hecho de que el sector que representa se ha alineado con la iniciativa de proyectar con Eurocódigos impulsada por la Administración General del Estado, en este caso por la DGC. Son claras e innegables las ventajas que proporciona el hecho de trabajar con las mismas reglas y criterios técni-

cos en toda Europa.

A continuación, el vicepresidente del CICCP, **Ricardo Martín de Bustamante**, defendió la idea de que los avances normativos que se están llevando a cabo, “hacen más eficiente y sostenible el proyecto y la construcción y mejoran la explotación y el necesario mantenimiento de nuestra red de carreteras”.

**Rosario Cornejo**, directora técnica de la DGC, que durante el acto ejerció el papel de introducida de cada una de las presentaciones, destacó en su ponencia inicial el hecho de que la manera más eficiente de defender los intereses españoles es estando presentes en Europa ya que, en un mercado único, con plena libertad de servicios y profesionales, es allí donde se discuten y redactan las normas. Además, señaló que la ausencia de duplicidades y la coherencia entre las normas contribuyen a hacer crecer nuestra eficacia dando como resultado una mayor seguridad de las obras. En la misma línea subrayó que “La DGC ha hecho una apuesta por

la normativa europea de proyecto como conjunto completo y coherente de normas que da respuesta a nuestras necesidades”.

Concluidas las presentaciones iniciales, se dio paso a las ponencias monográficas sobre aspectos concretos de los Eurocódigos, tanto de los más directamente relacionados con las estructuras, como de los dedicados a la geotecnia y el sismo. Dentro de la jornada se presentaron algunas de las nuevas guías de aplicación que va a publicar la DGC próximamente.

En este contexto, tomó la palabra **Pilar Crespo**, jefe del área de Estructuras de la DGC. Su primera presentación versó sobre el marco normativo para el proyecto de puentes de carretera remarcándose que el Real Decreto de aprobación del Código Estructural reconoce la validez del conjunto completo de la serie Eurocódigos para el proyecto de las estructuras dentro de su ámbito. Indicó que “Esta supresión de las fronteras normativas será beneficiosa para un país exportador de ingeniería como es en la actualidad España”. La disposición adicional segunda constituye el punto de encuentro entre la OC 1/2019 y el Código Estructural. En cuanto al futuro de los reglamentos estructurales españoles resaltó el hecho de que éstos no deben entrar en conflicto con las normas europeas sino apoyarse en ellas. Otro aspecto fundamental que abordó fue el de la responsabilidad del proyectista, indicando que, aunque las normas UNE-EN tienen carácter voluntario, se convierten en obligatorias bien a través de exigencias contractuales o bien al estar referidas en un reglamento, ya sea nacional o europeo. En su segunda presentación, introdujo la serie Guías Eurocódigos que cuenta ya con cinco títulos publicados y siete en esta-

do de redacción muy avanzado, cuyo objetivo principal es facilitar la aplicación de los Eurocódigos en los proyectos de la DGC.

La siguiente área temática dedicada a los Eurocódigos y los anejos nacionales españoles, contó con las respectivas presentaciones de los profesores **José María Goicolea**, catedrático de la UPM y presidente del comité técnico de normalización UNE-CTN 140 Eurocódigos estructurales, y de **José Simón Talero**, director general de Torroja Ingeniería y presidente del UNE-CTN 140/SC10 y SC1.

En la exposición del primero se detallaron los principios bajo los que se han elaborado los Eurocódigos estructurales como son, entre otros, consenso internacional, redacción de alta calidad o la incorporación de investigaciones contrastadas y también se expusieron algunas de sus características clave destacando el hecho de que “el conjunto de Eurocódigos constituye un sistema normativo coherente y estable”. La conferencia de José Simón Talero se dedicó a la segunda generación de Eurocódigos y las razones que han llevado a su elaboración, así se destacó el hecho de que la redacción de esta segunda generación ha supuesto “una evolución, no una revolución”. Se pretende, entre otros aspectos, mejorar la facilidad de uso de los Eurocódigos, añadir un nuevo Eurocódigo de Vidrio estructural o incorporar resultados de avances en el análisis o de investigaciones contrastadas.

En la siguiente exposición, el director de la ingeniería IDEAM que ha sido miembro del equipo redactor de la EN 1994, **Miguel Ortega** afirmó que, en lo referente a las especificaciones técnicas de los materiales, la compatibilidad entre los Eurocódigos y el Código



Álvaro Parrilla

Estructural está resuelta e hizo un recorrido sobre la nueva guía para las especificaciones técnicas del hormigón que la DGC va a publicar próximamente. En su presentación resumió el análisis de la compatibilidad entre el Eurocódigo 2 y el Código Estructural que se realiza en la guía, resaltando ciertas diferencias a nivel de designación entre ambos en aspectos como tipo y función estructural, clase de resistencia o clase de consistencia.

**Álvaro Serrano**, director técnico MC2 y miembro del CEN/TC 250 Grupo Horizontal de Puentes, presentó las dos nuevas guías para la definición de las especificaciones técnicas del acero (la del acero pasivo y activo y la del acero estructural) que “facilitan la aplicación de los Eurocódigos y aclaran la compatibilidad entre las normas europeas y el Código Estructural”. De forma análoga al discurso de Miguel Ortega, en su exposición, Álvaro Serrano detalló la plena compatibilidad entre los Eurocódigos y el Código Estructural y cuáles son los matices terminológicos entre ambos.



José Estaire



Coloquio final de la Jornada

A continuación, llegó el turno de la ingeniería geotécnica, **Álvaro Parrilla**, jefe de área de Geotecnia de la DGC, sintetizó la evolución de la normativa española de los últimos años. El Eurocódigo 7 ha supuesto una aportación fundamental y un cambio respecto a la práctica previa en toda Europa, por cuanto que supone utilizar las mismas bases de proyecto que en estructuras, destacándose el hecho de que este Eurocódigo se usa incluso para obras exclusivamente geotécnicas sin intervención de acero, hormigón u otros materiales estructurales, tales como terraplenes, desmontes, mejoras de terreno, etc.

Dentro de la misma área temática, el jefe de área del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, **José Estaire**, miembro del equipo redactor de la EN 1997, expuso el cambio que ha supuesto para la geotecnia el empleo del método de los factores parciales frente al clásico del factor de seguridad global y expuso las líneas generales del nuevo Eurocódigo 7, pendiente solo de cuestiones formales y que dupli-

cará sus contenidos respecto de la versión vigente. La comunidad geotécnica española, ha hecho un importante esfuerzo de adaptación y ha participado activamente en la redacción del Anejo Nacional, que coordinó el propio José.

El sismo se abordó en la última presentación, a cargo de **Amadeo Benavent**, catedrático UPM y miembro del equipo redactor de la EN 1998, cuya segunda versión está prácticamente terminada y que incorpora avances muy relevantes respecto a la anterior. Su comparación con la normativa española vigente terminó con la conclusión de la extrema urgencia de actualizar la norma nacional. El ponente felicitó a la DGC por haber optado por los Eurocódigos, con los que considera que no sólo se alinea con Europa, con lo que se enseña en las universidades españolas y se mejora la competitividad entre las empresas y las consultorías de estructuras fuera de España, sino que también se opta por priorizar la seguridad frente a cualquier otra consideración. En la misma línea afirmó que "la apli-

cación íntegra de los Eurocódigos mejora la seguridad de nuestros puentes frente al sismo".

La jornada concluyó con un coloquio en el que se comentaron y discutieron parte de los contenidos de la sesión con preguntas tanto de los asistentes presenciales como de los que seguían la jornada a distancia a través de la retransmisión en streaming (unos mil trescientos en total).

Tras dicho coloquio se procedió a la clausura formal del evento, que se puede reproducir íntegramente a través de youtube; por este canal y a fecha de preparación de esta reseña, la Jornada había superado las tres mil seiscientas visualizaciones. ❖

# Cómic con Caminos 2022



Madrid, 26 al 27 de marzo de 2022

La agrupación de ingenieros de caminos Vertebra!, ha organizado la primera convención que fusiona el mundo del cómic con las obras de ingeniería civil. Esta edición de debut de la *ComicCon Caminos* acercó el trabajo de los ingenieros civiles al gran público a través de un medio tan atractivo como es el noveno arte.

El papel de una carretera, un puente o un túnel como espacio y como símbolo en una novela gráfica, cómo queda un escenario urbano tras una batalla entre superhéroes y supervillanos o el rol como configurador de proyectos de ciudad que pueden trazar tanto un cómic como una obra civil son algunos de los vínculos que se propuso destacar y celebrar ComicCon Caminos, la primera edición del Salón del Cómic y la Ingeniería Civil que se celebró los días 26 y 27 de marzo en la Central de Diseño de Matadero Madrid.

Las obras públicas forman parte de nuestro día a día tanto en su utilización como en constituir parte de nuestro patrimonio cultural. Por tanto, las actividades del salón

han tenido como principal objetivo transmitirlo a sus asistentes mientras disfrutaron de sus diversas actividades. Con ellas se ve que en el mundo del cómic los elementos de ingeniería civil son escenario, hilo conductor o incluso protagonistas del relato, al igual que lo son de nuestra realidad.

Así lo ha representado la exposición que se reunió en seis bloques temáticos (caminos, puentes, terminales, abastecimientos, ferrocarriles y túneles) reproducciones de viñetas de autores españoles. A través de más de 40 paneles, el autor de la misma, el ingeniero de caminos Carlos Polimón, nos hace un maravilloso recorrido a través de las diversas infraestructuras, combinando viñetas de comics con diversas explicaciones sobre las mismas, en un lenguaje sencillo y apto para la comprensión de todos los públicos. La carretera, razón de ser de esta asociación técnica, ha estado magníficamente representada en diversos paneles tal como ilustra el presente artículo, tanto por la propia carretera, como elementos de la

HABLEMOS DE CAMINOS

¿POR QUÉ DICES CAMINOS, SI HACÉIS CARRETERAS?

NO, HACEMOS CAMINOS, LA CARRETERA ES UN CAMINO

ME ESTÁS LIANDO...

INGENIERA DE CAMINOS, ¿HOLA? VERÁS, TE CUENTO

¡PERO BUENO! ¡ME ESTÁS AGUJEREANDO EL ASFALTO!

**¿CAMINOS O CARRETERAS?**

«¿QUÉ HAN HECHO LOS ROMANOS POR NOSOTROS?»

LOS ROMANOS HICIERON GRANDES COSAS, PERO LA QUE LES CATAPULTÓ A CREAR UN IMPERIO FUERON SUS CALZADAS, PREPARADAS PARA QUE SE CRUZARAN DOS CARROS



23 DE DICIEMBRE DEL AÑO 14 A.C., FUNDACIÓN DE CESAR AUGUSTA

ENTRE LOS AÑOS 29 Y 24 A.C., EL EMPERADOR ROMANO AUGUSTO VISITÓ HISPANIA Y EN TARAGONA SE CURÓ DE UNA DOLENCIA HERÉDICA.

TRAS LA RECUPERACIÓN LLEGÓ EL PERIODO CONOCIDO COMO LA "PAX AUGUSTA", QUE TRAJÓ A TODAS LAS PROVINCIAS DE LA PENINSULA MEJORAS A NIVEL POLÍTICO, ECONOMICO Y SOCIAL.

EL VALLE DEL EBRO SE CONVIERTE COMO HÁ DE ACESO AL INTERIOR DE LA PENINSULA.

YA ORILLAS DEL RÍO Y COMIENZANDO CON LAS PRESENTACIONES DEL GALILEO Y DEL INVERNIA, NACIÓ LA COLONIA CAESAR AUGUSTA, HOY ZARAGOZA.



TRAS LA CAÍDA DE ROMA Y HASTA EL RENACIMIENTO, LOS CAMINOS Y LOS PUENTES SE HACEN MÁS ESTRECHOS, MÁS PENSADOS PARA CAMINANTES Y JINETES

Y UN DÍA LOS HUMANOS INTENTAMOS EL AUTOMOVIL Y NOSOTROS DESARROLLAMOS LAS CARRETERAS

Y CUANDO INVENTAMOS EL TREN, FUSIMOS LAS VÍAS

LOS INGENIEROS CIVILES PONEMOS SIEMPRE EL CAMINO A TODO LO QUE INVENTEMOS



1. Comic Con Caminos Sara Soler



2. Calendario 2022 para Gobierno de Aragón Álvaro Ortiz



3. Volois Jaime Calderón



4. The curiosity shop Montse Martín Juárez



misma tan significativos como sus puentes y túneles, que permiten vertebrar el territorio.

Diversos ingenieros de caminos, junto con los artistas, dialogaron alrededor de las mesas redondas sobre temas comunes que están presentes en el día a día. Abordaron cuestiones de interés como la evolución del paisaje, los medios e infraestructuras de transporte, las ciudades y las civilizaciones o las creaciones pasadas y futuras de la especie humana.

También hubo una serie de talleres dirigidos a público de cualquier edad. Sus participantes aprendieron a dibujar, conocieron los elementos de las obras públicas y hasta pudieron entender cómo se crean, se sostienen o fallan las estructuras.

ComicCon Caminos contó con algunos de los mejores dibujantes y guionistas del panorama español, como David Aja, creador del cartel, o Sara Soler, ganadora del premio del Salón del Cómic de Barcelona 2020. Sara ha realizado un cómic sobre el tema de la ComicCon que cuenta una divertida historia relacionada con la actividad profesional de la ingeniería civil.

El evento fue promovido por el Ayuntamiento de Madrid, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y por ADIF. Igualmente contó con la colaboración de numerosas empresas, entre las que destacan Copcisa, Alauda, Sika, Eiffage e Ineco.

El evento, adicionalmente fue emitido en Streaming en directo, por la entidad ITAFEC, para todos aquellos que no pudieron asistir presencialmente al mismo.

Vertebra! es un grupo de ingenieros e ingenieras de Caminos sin ánimo de lucro, constituido por Alejandro Enfedaque, Ángel Gil Camino Blázquez, Carlos Polimón, Curro Lucas, David Villalmanzo, Isabel Lorenzo, Jorge Bernabéu, Juan Carlos Arroyo, Lara Rueda, Luis Andrés Ferreiro y Manuel Romana. Se han acercado a la sociedad para transmitir en qué consiste la profesión, relacionándolo con la cultura y las artes de una manera sencilla y atractiva usando enfoques distintos a los habituales, aprovechando todo el potencial de las nuevas herramientas de comunicación y redes sociales. La Comic Con Caminos, que tiene voluntad de continuidad y réplica, a buen seguro es el primer proyecto de otros muchos que vendrán. ❖

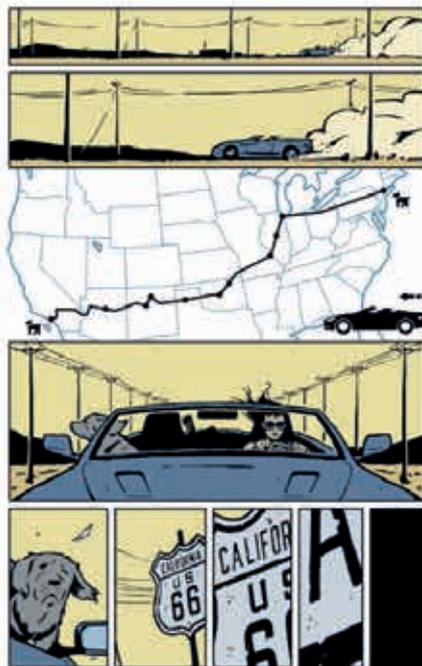


# CUANDO EL CAMINO ES LIBERTAD



POR EL CONTRARIO, EL CAMINO, EN CUANTO SALIMOS DE LOS NUCLEOS URBANOS DA SENSACION DE LIBERTAD

TIEMPO PARA TI, KMS POR DELANTE Y EL PELO AL VIENTO



2.



3.

POR UN MOMENTO SIENTES QUE TODO ESTÁ EN ARMONIA

CAMINOS QUE TE LLEVAN A TUS SITIOS SOÑADOS, A LA X EN TU MAPA PARTICULAR



1. Cenizas  
Álvaro Ortiz



2. Hawkeye  
David Aja



3. Tótem  
Laura Pérez



Mesa Inaugural compuesta por, de izquierda a derecha, Charo Cornejo, Jorge Ordas, Javier Herrero, Álvaro Navareño y Pablo Sáez.

## Madrid, 23 de marzo de 2022

El pasado 23 de marzo de 2022 tuvo lugar la Jornada sobre Seguridad en las operaciones de conservación de carreteras, que reunió a más de 300 técnicos del sector viario español entorno a un problema de gran interés y preocupación, la seguridad en conservación, bajo las dos premisas básicas de mejora constante de la seguridad de los usuarios que circulan por las carreteras y la mejora continua de la seguridad de los operarios de conservación que realizan su actividad en condiciones de tráfico abierto.

Las medidas preventivas que inciden sobre el comportamiento de los usuarios de la carretera son totalmente necesarias para que se respeten las señales y tengan un comportamiento responsable desde el punto de vista de la seguridad vial. Y conviene, además, poner de manifiesto la trascendencia que tiene el comportamiento del usuario cuando circula por zonas donde se están realizando trabajos de mantenimiento u obras de rehabilitación, así como, incidir en la formación y concienciación de los propios ope-

rarios que realizan su actividad en calzada con tráfico abierto.

La jornada fue inaugurada por el director general de carreteras del MITMA, D. Javier Herrero, al que acompañaron en la mesa inaugural el subdirector de conservación de la DGC, Álvaro Navareño, el subdirector de gestión de la movilidad y tecnología de la DGT, Jorge Ordás, la presidenta de la ATC, Charo Cornejo y Pablo Sáez, presidente de ACEX.

Se abrió la jornada con una ponencia sobre la Nota de Servicio,

2/2021, de recomendaciones para la mejora de la seguridad en las actividades de conservación y otros trabajos con afección a la Red de Carreteras del Estado, a cargo de Ángel García Garay, en la que se establecen medidas que incidan en la mejora de la seguridad de los trabajadores que realizan tareas sobre la carretera, buscando minimizar los riesgos laborales asociados a la actividad, y en consecuencia de los usuarios de las vías. La NS plantea una serie de actuaciones a corto en los contratos de conservación, en los contratos menores, en las emergencias, en actuaciones de particulares y en obras de construcción que afecten a carreteras en servicio, así como acciones a medio plazo.

Una segunda ponencia a cargo de Fernando Ruiz, de la DGT, abordó el Plan de movilidad segura y sostenible, PMSS, que constituye una actualización de la guía metodológica para mejorar la seguridad de los trabajadores y ciudadanos en general que tiene como objetivos conseguir un desplazamiento seguro, eficiente y sostenible de los trabajadores, a lo largo de la jornada laboral, e incluyendo, además, los itinerarios de ida y vuelta a su puesto de trabajo, que suponen más de 36.000 accidentes de los 52.248 accidentes laborales de tráfico que tiene lugar en nuestras carreteras.

La tercera ponencia estuvo a cargo de Irene Martín Robles, del MITMA, que abordó los contenidos que deben desarrollarse en el Documento de Información del Promotor, DGP, en los contratos de conservación, que deben de considerarse como obra, según la ley 31/1995 y el RD 1627/97, y por tano debe realizarse una evaluación de riesgos, para lo cual la administración debe informar al adjudicatario, a través del documento de información del promotor (DPI) los posibles riesgos de la actividad a realizar.



Mesa Redonda "Accidentalidad en trabajadores de conservación en carreteras" compuesta por Fernando Sanz, INSST, Ana Blanco, DGT, Pablo Sáez, ACEX, Felipe Collazos, DGC, Pilar Ituero, FICA-UGT y Mónica Valdeolmillos, CCOO.

La siguiente ponencia abordó, de forma complementaria, el contenido básico a desarrollarse en el Documento de Gestión Preventiva que debe elaborar el adjudicatario. Debiendo ser las características fundamentales realista, específico y práctico. La exposición corrió a cargo de Janire del Campo Escola, de Serveo.

La jornada continuó con una interesante mesa redonda donde todos los agentes involucrados en la seguridad de las actividades de conservación expusieron su visión sobre la problemática de la accidentalidad de los trabajadores de conservación, en la búsqueda de una minimización del número y gravedad de los accidentes, buscando soluciones que pasan por el incremento de la actividad preventiva y la formación de los operarios, así como por la concienciación de los usuarios, sin olvidar el estricto cumplimiento de las estipulaciones de seguridad. En la mesa participaron Fernando Sanz, INSST, Ana Blanco, DGT, Pablo Sáez, ACEX,

Felipe Collazos, DGC, Pilar Ituero, FICA-UGT y Mónica Valdeolmillos, CCOO.

Finalizó la jornada en su sesión matutina con una ponencia de Toño Pérez Peña, DGC, sobre la NS 1/2021 sobre la cartelería de instalaciones, el equipamiento de los vehículos de conservación, mejorando la visibilidad y flexibilidad en el uso de los vehículos de conservación en sus operaciones en calzada, aumentando la superficie de balizamiento en los vehículos, introduciendo el uso de amortiguadores de impacto, modificando la distancia entre conos (aumentando la misma en zonas rectas y disminuyéndola en los tramos de inicio), en una clara búsqueda de mejora de la seguridad de los operarios.

Comenzó la sesión vespertina Francisco García, ACEX, quien expuso las novedades del equipamiento de seguridad para los trabajadores, mediante la aplicación de nuevas tecnologías y sistemas que mejoran sustancialmente la misma.

La siguiente ponencia fue impartida por Javier Uriarte, DGC en Asturias, en la que expuso el grado de avance del Grupo de Trabajo multidisciplinar de la ATC sobre la colocación y retirada de la señalización provisional y los trabajos de actuaciones no programadas. Trabajo que se espera finalice, una vez se obtengan los resultados de las últimas pruebas realizadas con el uso de las recomendaciones emanadas de estos trabajos, antes del verano y que aportará nuevas líneas de actuación y de mejora en una operación tan habitual y de levado riesgo como es la de señalización.

La jornada continuó con la ponencia de Lorenzo Plaza, DGC en Aragón, que habló sobre las experiencias con los diversos tipos de huella sonora en los firmes de las carreteras y su aporte a la mejora de la seguridad de los usuarios. Quién destacó que esta solución no afecta a la señalización horizontal, aunque recomendó que el fresado se hiciera fuera de la marca vial. Destacó el incremento en 14 dB que puede llegar un camión a 90 km/h, o los 15,9 dB que se obtienen en un coche a 120 km/h. Planteó, finalmente, la problemática que suponen para las motos y los ciclistas.

Seguidamente Eduardo Valero, DGT, expuso las conclusiones de un trabajo realizado sobre la influencia que en la velocidad de paso de los conductores tienen los distintos elementos que se instalan en un corte de carril. Expuso la disminución de velocidades que se obtuvieron al añadir la incorporación de un operario con bandera (que es la que mayor reducción de velocidad genera), un radar, un carro de señalización, un estrechamiento de calzada mediante señalización horizontal y "puertas de entrada". Con un primer punto de partida el incumplimiento generalizado de los usuarios de las limitaciones estable-



Charo Cornejo, Álvaro Navareño y Pablo Sáez clausurarán la jornada

cidas. Concluyó también la mala experiencia que se obtuvo con el uso de badenes portátiles, no recomendando su utilización

Antonio Martínez Menchón, DGC en Murcia, expuso la experiencia que existe con el empleo de las instrucciones técnicas operativas de conservación, ITOC, que se plantean como unas instrucciones que buscan asegurar una metodología de calidad en las operaciones de conservación más significativas y de mayor frecuencia, así como la homogeneización de los procedimientos en la totalidad de la red de carreteras.

La última ponencia aborda las principales novedades que se plantean en el borrador de la Instrucción 8.3.IC de Señalización de Obras, fue presentada por Ignacio Sellers, del MITMA en Extremadura, que partió de la necesidad de actualizar una norma de enorme importancia cuya antigüedad es ya de 33 años. La necesidad de nuevas señales, de establecer pasillos de seguridad para los operarios, de disminuir la anchura de los carriles en los desvíos, y de incrementar el número de

ejemplos, de dar un sentido abierto a la norma, de forma que la misma pueda adaptarse a las necesidades reales del punto en que debe señalizarse y presentar la señalización móvil como una alternativa a la fija, y abordar las zonas urbanas, que hoy no están reguladas, fueron algunos de los aspectos esbozados de este borrador, que desean sea puesto en conocimiento del sector para que se puedan aportar propuestas de mejora al mismo.

En suma, una interesante y participativa jornada centrada en la problemática de la seguridad en las operaciones de conservación de carreteras, en la seguridad de sus trabajadores y en las interacciones con los usuarios de las carreteras, que ha puesto de manifiesto no sólo la preocupación de todos los agentes involucrados sino su disposición, la importante carga técnica que tiene la conservación de las carreteras y el conjunto de acciones que se están llevando a cabo para avanzar en una mejora continua de la seguridad. ❖

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



**Legislación y normativa técnica de carreteras**

**Acceso libre y gratuito**

# PRÓXIMOS EVENTOS ATC

La Asociación Técnica de Carreteras tiene previsto los siguientes eventos:

- **Jornada Técnica sobre Impermeabilización de Puentes de Carretera**  
Madrid, 26 de abril de 2022
- **Jornada Técnica sobre Normalización de Ventilación y Accesos Remotos en Túneles**  
Madrid, 18 de mayo de 2022
- **Jornadas Seguridad Vial**  
Málaga, 14 al 16 de junio de 2022
- **2ª Conferencia Internacional sobre la Explotación y la Seguridad de los Túneles de Carretera y VIII Simposio Nacional de Túneles**  
Grabada, 25 al 28 de octubre de 2022

¿Te gustaría que una foto tuya fuera portada de la revista RUTAS?



Si quieres que una imagen o fotografía aparezca como portada de la revista RUTAS, envía tu imagen junto a su título y autor a:

[info@atc-piarc.com](mailto:info@atc-piarc.com)

# Jornada Técnica

## Impermeabilización de Tableros de Puentes de Carretera

Madrid, 26 de abril de 2022

El próximo 26 de abril tendrá lugar en el Colegio de Ingenieros de Caminos de Madrid una jornada técnica sobre Impermeabilización de tableros de puentes de carreteras.

Se presentará un documento que puede servir de referencia para determinar qué sistema de impermeabilización de puentes puede ser adecuado según los casos. Hay grandes avances técnicos en este sentido, y conviene conocerlos con detalle al proyectar, construir y conservar estructuras. Igualmente se incluyen en el texto directrices sobre la ejecución y el control de calidad de los distintos sistemas existente, que no son fundamentales, sino cruciales. Sin una rigurosa puesta en obra no habrá merecido la pena comprar ningún sistema del mercado.

El documento es fruto del esfuerzo realizado por el grupo de trabajo sobre “impermeabilización de tableros de puentes de carretera” que se constituyó en el año 2016, ni más ni menos, en el seno del comité de puentes de la ATC. Hay que agradecer la constancia y el interés en que finalizara este trabajo; por este motivo, los autores del documento presentarán los distintos capítulos durante una jornada matinal.

Finalmente se ha planteado una mesa redonda con las administraciones responsables de proyectar, ejecutar y conservar las obras.

Estamos ya en el siglo XXI, el siglo de la transformación verde de la economía, y el de la transición ecológica del sistema productivo; hacia lo digital, hacia lo sostenible, por tanto, hay que hacer posible que nuestras estructuras envejecan despacio y sean durables. ❖



### IMPERMEABILIZACIÓN DE TABLEROS DE PUENTES DE CARRETERA

Comité de Puentes.

Asociación Técnica de Carreteras

Grupo de Trabajo: Impermeabilización de Tableros de Puentes de Carretera



Presentación del documento

IMPERMEABILIZACIÓN DE TABLEROS DE  
PUENTES EN CARRETERA

# Jornada Técnica

## Ventilación y Gestión de Túneles

Madrid, 18 de mayo de 2022

Por regla general, cuando se construyen infraestructuras del tipo túnel de carretera, aunque éstas sean de una determinada titularidad se ejecutan a través de una empresa contratista que a su vez subcontrata con una gran variedad de proveedores, fundamentalmente en lo que a instalaciones y equipamientos se refiere. Suele ser bastante común el que los Pliegos no siempre definan exhaustivamente los condicionantes que han de cumplir cada uno de los sistemas y subsistemas que constituyen un equipamiento por lo que muchas veces se adjudican los contratos con un criterio fundamentalmente económico al mejor postor, incluso uno diferente para cada una de las instalaciones, lo que hace que en ocasiones se presenten graves problemas de compatibilidad entre unos y otros sobre todo cuando se pretende una integración global en una única plataforma de gestión. Esta compatibilidad, además, debe de ser biunívoca.

Por ello cada uno de los sistemas y subsistemas deben poder ser suministrados, instalados y puestos a punto por distintos proveedores de forma indiferente y deben permitir su modificación y desarrollo de módulos para la integración de dispositivos de distintos proveedores actuales o futuros, siendo aplicable a todos los equipamientos que intervienen en garantizar la seguridad del túnel y facilitar la explotación.

Con este objetivo, en el ciclo 2016-2019, en el Comité técnico de túneles de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) se creó un Grupo de Trabajo multiciclo denominado "Normalización" con el objeto de establecer unos documentos sobre las características funcionales de los diferentes equipamientos que garanticen su operabilidad y que constituyan unas recomendaciones básicas para su normalización con características y valores concretos que se deberían cumplir. Además se aborda la normalización de la integración en el sistema de control (señales, protocolos, algoritmos, ...) para evitar protocolos propietarios entre dispositivos.

Con ello se pretende no limitar el mercado sino precisamente abrir el abanico a todos los proveedores de forma que varios de ellos puedan intervenir en un mismo proyecto, es decir se trata de homogeneizar protocolos y funcionalidades de manera que por parte de los fabricantes se provea de productos "abiertos", integrables y compatibles entre sí.



Presentación de los Informes Técnicos:

TÚNELES DE CARRETERA: RECOMENDACIONES PARA LA NORMALIZACIÓN DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN

y

TÚNELES DE CARRETERA: RECOMENDACIONES PARA LA NORMALIZACIÓN DE CONTROLADORES REMOTOS

En el caso objeto de esta Jornada, se presentan los documentos correspondientes a las recomendaciones para la normalización de los equipos asociados a los sistemas de ventilación y a los Controladores Remotos de modo que con ellos se alcancen unas mejores condiciones de explotación, de seguridad para los usuarios, de reducción de los costes asociados al consumo energético y de optimización de los recursos para garantizar un mejor mantenimiento.

Los Grupos de Trabajo que han llevado a cabo la redacción de los documentos han estado formados por técnicos de varios fabricantes así como por especialistas que han establecido los criterios y funcionalidad mínima necesaria para garantizar la compatibilidad entre las diferentes soluciones.

Confiamos en que estos documentos, que ahora se presentan, se conviertan en una guía de recomendación para todos los involucrados en las diferentes fases de un túnel de carretera, tanto para establecer un marco de comparación y posible normalización como para facilitar los procesos de integración en un Centro de Control independientemente de la tecnología, fabricante o empresas participantes. ❖



# 2ª Conferencia Internacional sobre la Explotación y la Seguridad de los Túneles de Carretera y VIII Simposio Nacional de Túneles

Granada, 25 a 28 de octubre de 2022

Tras el éxito de la 1ª Conferencia Internacional de PIARC sobre Túneles celebrada en Lyon, Francia, en octubre 2018, en esta ocasión junto al Comité nacional español (ATC) se va a organizar la 2ª Conferencia Internacional de PIARC y el VIII Simposio español de Túneles en octubre de 2022 en Granada, España, que reunirá el conocimiento e intercambio de experiencias internacionales de PIARC en esta materia junto a la ya tradicional y amplia cita nacional que organiza la ATC cada cuatro años, con la expectativa de reunir cerca de 1.000 profesionales de los túneles de carretera de todo el mundo para generar un debate global sobre los mismos.

PIARC es una Asociación apolítica y sin ánimo de lucro, uno de cuyos objetivos es la transmisión del conocimiento y el intercambio de experiencias en materia de carreteras. Los Programas de Trabajo se organizan por ciclos de cuatro años marcados por los Congresos Mun-

diales de Carreteras. Además a mitad del ciclo se organiza un Congreso Mundial de Vialidad Invernal.

El marco de trabajo para el desarrollo de los objetivos son los Comités Técnicos, siendo uno de los más activos el correspondiente a los Túneles de carretera, anteriormente denominado de Explotación de Túneles, que desde el año 1995 ha publicado 48 documentos además del Manual online y numerosos artículos en la revista Routes/Roads.

Por este motivo en octubre de 2018 se tomó la iniciativa de organizar una Conferencia internacional de Seguridad en Túneles que se celebró en Lyon y que fue un gran éxito de convocatoria, lo que ha animado a convocar una 2ª Conferencia, esta vez en España, que supondrá su consolidación.

Ante los nuevos retos del cambio climático, de una

economía sostenible y en el marco del Covid 19 encuentra sentido hablar de infraestructuras resilientes, concepto igualmente aplicable a los túneles, de modo que éstos deben de presentar elevadas tasas de disponibilidad con un nivel de seguridad aceptable incluso bajo circunstancias que supongan importantes alteraciones del funcionamiento normal, estableciéndose medidas para reducir los impactos. Ello además implicará la redefinición de las normas de diseño y gestión e integrar el concepto de resiliencia en el ciclo de vida.

Por otra parte, el sector del transporte está viviendo una revolución tecnológica con los desafíos de la transformación digital. Fenómenos como el vehículo autónomo, los vehículos compartidos, las plataformas digitales de movilidad o la electrificación y las nuevas energías de propulsión de los vehículos son realidades sobre las que debemos de trabajar ya por su directa relación en el modo de gestión y de explotación de los túneles. Sobre todos estos extremos también tienen mucho que decir los sistemas ITS y su permanente desarrollo.

Otros asuntos importantes son la gestión de los grandes túneles urbanos así como en general la ventilación e iluminación de los túneles y sus constantes avances.

Pues bien, la celebración de esta 2ª Conferencia internacional, coincidente con el VIII Simposio nacional de túneles de España permitirá exponer el estado del arte de todos estos temas tan novedosos y ser un foro de retroalimentación y de intercambio de ideas que permitirá seguir investigando y modelando los túneles frente a los retos que en pocos años estarán presentes y serán normales en nuestras infraestructuras. ❖

Día 1 / 25 octubre		
Mañana		
Sesión plenaria	09:00-10:00	Sesión de Inauguración
	10:00-11:00	Inauguración Exposición Técnica
	11:00-12:00	Mesa de Responsables de Redes de Carreteras
	12:00-13:45	1ª Sesión: "Los nuevos retos de los túneles ante el objetivo 2030"
Tarde		
	15:00-18:45	2ª Sesión: "Explotación y gestión sostenible de los túneles" (I)
Sala 1		Tema: "Resiliencia de los túneles"
Sala 2		Tema: "Sistemas ITS y su colaboración en la mejora de la explotación"
	21:30-23:30	Cena Oficial
Día 2 / 26 octubre		
Mañana		
Sesión plenaria	08:30-11:00	3ª Sesión: "Gestión de túneles urbanos y de elevado tráfico"
	11:30-14:00	4ª Sesión: "Nuevas energías de propulsión de vehículos y su impacto en los túneles"
Tarde		
	15:00-18:30	5ª Sesión: "Explotación y gestión sostenible de los túneles" (II)
Sala 1		Tema: "Gestión de las emergencias"
Sala 2		Tema: "Análisis de riesgos"
Día 3 / 27 octubre		
Mañana		
	08:30-11:30	6ª Sesión: "Ventilación e Iluminación"
Sala 1		Tema: "Ventilación"
Sala 2		Tema: "Iluminación y eficiencia energética"
Sesión plenaria	12:00-14:15	7ª sesión: "Estado actual de los túneles y su relación con la Normativa"
	14:15-15:00	Clausura
	15:00-16:30	Cocktail de despedida
Día 4 / 28 octubre		
Día completo		
		VISITAS TÉCNICAS



# 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. 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. Álvaro Navareño Rojo
- 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. José Luis Gochicoa González
  - D. Xavier Flores García
  - D. David Merino Rueda
  - D. Jesús Félix Puerta García
  - D. Carlos Estefanía Angulo
  - D. Ramón Colom Gorgues
- 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 Paris 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 Pedrazo 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.ª Paula Pérez López
- Secretario	D. Pablo Sáez Villar

### 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 CANCELA  
 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  
 2021 - D. ANTONIO SÁNCHEZ TRUJILLANO  
 2021 - D. JESÚS DÍAZ MINGUELA

### 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 COMPAÑÍA 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
- AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
- ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
- ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
- ALUMBRADOS VIARIOS, S. A.
- ALVAC, S.A.
- AMIANTIT ESPAÑA S.A.U.
- ANCADE
- ANTER
- API MOVILIDAD, S.A.
- APPLUS NORCONTROL S.L.
- AQUATERRA SERVICIOS INFRAESTRUCTURAS 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.
- CTS BITUMEN GMBH
- CYOPSA - SISOCIA, S.A.
- DILUS, INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS, S.A.
- DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
- DRACE GEOCISA, S.A.
- 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.
- FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
- FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
- FREYSSINET, S.A.
- GECOCSA, GENERAL DE CONSTRUCCIONES CIVILES, S.A.
- GEOCONTROL, S.A.
- GIRDER INGENIEROS, S.L.P.
- GIVASA S.A.
- 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.
- INGENIERIC S.L.
- INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
- INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
- INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A.U.
- J. A. ROMERO POLO S. A.
- KAO CORPORATION, S.A.
- KAPSCH TRAFFICCOM TRANSPORTATION S.A.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)
- SODECA, S. L. U.
- SGS TECNOS, S.A.
- SORIGUE, 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 (90) 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



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.**



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

## PORTADA RUTAS:

Si quiere que una imagen o fotografía aparezca como portada de la revista RUTAS, consultar en [info@atc-piarc.com](mailto:info@atc-piarc.com)

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](mailto:info@ongawa.org)  
[www.ongawa.org](http://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)

