

50 años de la autopista Y asturiana de
Pavimento de Hormigón.

TRIBUNA ABIERTA

Pavimentos de hormigón: mirando al futuro
sin juzgar el pasado

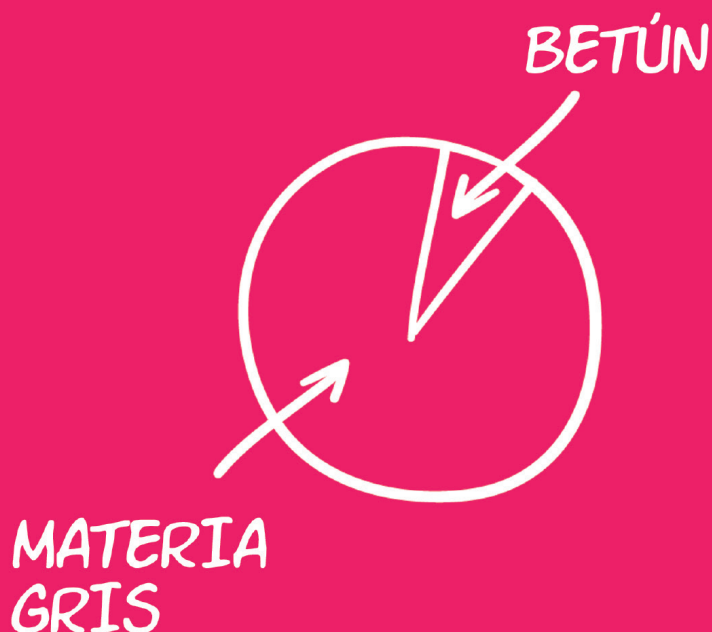
RUTAS TÉCNICA

Nuevas experiencias: auscultación de la deflexión con equipo
Raptor en la RCE

Túneles de carretera como infraestructuras inteligentes y
cooperativas en la movilidad conectada

Optimización de actuaciones en la red estatal a partir de los
datos de la motocicleta conectada





En realidad, construir una carretera necesita muy poco betún.

¿Tienen idea de cuanta inteligencia contiene una carretera? Probisa construye carreteras que desactivan los gases contaminantes, drenan la lluvia, absorben el ruido. Carreteras más seguras que mejoran la frenada, que resisten al calor, al hielo, a la intemperie. Carreteras ahorradoras de recursos naturales. Carreteras inteligentes gracias a la suma del talento de nuestros colaboradores.

Probisa
Abrimos paso a nuevas ideas

Tribuna Abierta**03 Pavimentos de hormigón: mirando al futuro sin juzgar el pasado**

César Bartolomé Muñoz

Entrevista**05 José María Coronado Tordesillas, Catedrático de Urbanismo****Rutas Técnica****08 Nuevas experiencias: auscultación de la deflexión con equipo Raptor en la RCE***New experiences: monitoring deflection with equipment at traffic speed*

Álvaro Navareño Rojo, Miguel Ángel González Manchado y José Manuel Sanz García

15 Túneles de carretera como infraestructuras inteligentes y cooperativas en la movilidad conectada*Road tunnels as smart, collaborative infrastructure in connected mobility*

Vicente Sebastián Alapont

26 Optimización de actuaciones en la red estatal a partir de los datos de la motocicleta conectada*Optimization of actions on the state network based on data from the connected motorcycle*

Roberto Llamas Rubio, Jesús Redondo González, Laura Crespo Bonilla

Cultura y Carretera**40 Notas de visionado**

Jesús J. Rubio Alférez

Actividades del Sector**42 Grupo de Trabajo para elaboración de la “Guía para la caracterización ambiental del árido reciclado en aplicaciones de carretera”****44 El XXII Premio Nacional ACEX reconoce la innovación tecnológica al servicio de la seguridad en conservación de carreteras****46 La movilidad inteligente consolida su madurez: interoperabilidad, datos y seguridad marcan el rumbo del 26º Congreso ITS España****ATC****48 Jornadas de Firms 2026****57 Jornada Técnica “Evaluación y clasificación del nivel de seguridad de la red. Experiencias nacionales e internacionales”****62 Jornada Técnica “Novedades del Reglamento General de Carreteras”****64 Webinar sobre la necesidad de recomendaciones específicas para carreteras de Baja Intensidad de Tráfico****66 Jornada Técnica “Ventilación e Iluminación de Túneles”****69 Curso de Formación de Operadores de Centro de Control de Túnel de Carretera en Santiago de Compostela****70 Próximos eventos ATC****73 Junta Directiva, Comités Técnicos y Socios de la ATC**

Edita:

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

Comité Editorial:

Presidente:

Álvaro Navareño Rojo Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (España)

Vicepresidente Ejecutivo:

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

Vocales:

Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior
Alfredo García García	Catedrático de la Universitat Politècnica de València
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS España
María Martínez Nicolau	Directora Técnica de Innovia-Coptalia
Jesús J. Rubio Alférez	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Javier Sainz de los Terreros Goñi	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

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
Valverde Jiménez Ajo	Presidenta del CT de Firms de Carreteras
Fernando Pedraza Majarrez	Presidente del CT de Movilidad, Planificación y Diseño
Manuel Romana García	Presidente del CT de Geotecnia Vial
Paula Pérez López	Presidenta del CT de Conservación y Gestión
Emilio Criado Morán	Presidente del CT de Puentes de Carreteras
Roberto Llamas Rubio	Presidente del CT de Seguridad Vial
Antonio Muruais Rodríguez	Presidente del CT de Carreteras Sostenibles y Resilientes
Mónica Laura Alonso Plá	Presidenta del CT de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico
Álvaro Navareño Rojo	Presidente del CT de Dotaciones Viales
Rita Ruiz Fernández	Presidenta del CT de Valor Histórico Patrimonial

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 207 ABRIL - JUNIO 2026

Pavimentos de hormigón: mirando al futuro sin juzgar el pasado



César Bartolomé Muñoz

Director de IECA Tecnología y Promoción

Hay infraestructuras que envejecen mal y desaparecen pronto. Otras, en cambio, envejecen a la vista de todos. Permanecen. Siguen soportando tráfico, inviernos, veranos, cargas pesadas, reparaciones puntuales y millones de vehículos. Y precisamente por eso, porque siguen ahí, se las critica como obsoletas y se las compara con las tecnologías actuales de manera injusta.

De los pavimentos de hormigón se dice que son ruidosos o incómodos, pero lo que no se dice es que esos pavimentos de hormigón sobre los que se opina cumplían sobradamente los requisitos funcionales y presenciales de las carreteras españolas de hace 30, 40 o 50 años. Y, con ciertas limitaciones, continúan cumpliendo con las exigencias actuales, pues continúan en servicio.

Sin embargo, los pavimentos de hormigón actuales ya no son los pavimentos de hormigón de hace treinta años. Han evolucionado en diseño, en materiales, en ejecución y, especialmente, en aquello que más percibe el usuario: la comodidad de circulación y la sonoridad.

La evolución no es menor. En los pavimentos de hormigón modernos, su textura se diseña. Su macro-textura y microtextura se controlan. Su regularidad se mide. Su comportamiento frente al ruido se considera desde la fase de proyecto. Y su conservación puede

abordarse mediante técnicas capaces de corregir defectos superficiales sin comprometer la capacidad estructural del firme.

Por eso no resulta razonable seguir juzgando los pavimentos de hormigón actuales únicamente por la experiencia acumulada en tramos construidos con criterios, maquinaria, materiales y exigencias funcionales de otra época. Sería como valorar la comodidad de un tren de alta velocidad actual por el recuerdo de un ferrocarril convencional de los años setenta.

España tiene, además, ejemplos que merecen una lectura más equilibrada. La conocida "Y" asturiana, que conecta Oviedo, Gijón y Avilés, fue inaugurada en 1976 y cumple 50 años en servicio en 2026. Construida con pavimento continuo de hormigón armado, sigue siendo una infraestructura esencial para la movilidad de Asturias. Ha soportado durante décadas tráfico muy superiores a los inicialmente previstos y continúa formando parte de la vida cotidiana de miles de usuarios.

Y la durabilidad es, probablemente, una de las palabras centrales del futuro.

Si queremos carreteras compatibles con los objetivos de sostenibilidad, descarbonización y eficiencia en el uso de recursos, debemos empezar a pensar con naturalidad en vidas útiles de 40 años o más. No pode-

mos permitirnos firmes que necesiten rehabilitaciones estructurales relevantes a los diez años. Una infraestructura viaria no debería concebirse como una sucesión de reconstrucciones periódicas, sino como un activo de larga duración cuyo mantenimiento se limite, en la medida de lo posible, a correcciones superficiales, renovación de características de rodadura o actuaciones funcionales.

La sostenibilidad no está solo en el material que se coloca el día de la obra. Está también en el material que no será necesario volver a colocar dentro de pocos años. Está en las obras que se evitan, en los cortes de tráfico que no se producen, en los desvíos que no se imponen, en los recursos que no se consumen y en las emisiones que no se generan durante sucesivas campañas de rehabilitación.

Pese a todo, en España los pavimentos de hormigón en carreteras han ido perdiendo presencia durante los últimos años. Con excepciones relevantes, como la A-33, su uso se ha reducido hasta quedar prácticamente fuera de muchas decisiones ordinarias de proyecto. Esta ausencia no es inocua. Cuando una tecnología deja de utilizarse, se pierde experiencia constructiva, se debilita la cadena de suministro, se reduce la especialización y se empobrece la competencia.

Y la competencia importa.

Si en la práctica solo se proyecta y licita una familia de soluciones, el mercado se estrecha. Las alternativas dejan de competir en igualdad de condiciones y los precios acaban reflejando esa falta de tensión competitiva. Recuperar un volumen significativo de pavimentos de hormigón no solo permitiría optimizar sus propios costes mediante continuidad industrial, aprendizaje y economías de escala. También introduciría una presión competitiva saludable sobre las soluciones bituminosas. En un mercado con alternativas reales, ambas tecnologías tendrían incentivos para mejorar: en precio, en prestaciones, en sostenibilidad y en innovación.

No se trata de sustituir un monopolio técnico por otro. Tampoco de afirmar que el hormigón sea siempre la mejor solución. La clave está en permitir que esa comparación se produzca de verdad.

Los pavimentos de hormigón han demostrado que pueden permanecer. Ahora toca demostrar, con las tecnologías del siglo XXI, que también pueden ofrecer al usuario una experiencia de circulación acorde con las exigencias actuales. Durar ya no basta. Hay que durar bien. Y esa es, precisamente, la dirección en la que la tecnología del pavimento de hormigón lleva años avanzando. ❖



José María Coronado Tordesillas

Catedrático de Urbanismo en la Escuela de Caminos de Ciudad Real

Por Álvaro Navareño

José María Coronado Tordesillas es ingeniero de caminos, canales y puertos por la Universidad de Cantabria, 1993. Inició su trayectoria laboral en 1995 como técnico de asistencia técnica y desarrollo en Repsol Productos Asfálticos, hasta que, en octubre de 1998, se incorporó a la Universidad de Castilla-La Mancha como profesor en la recién nacida Escuela de Ingeniería de Caminos, que acabaría dirigiendo entre 2013 y 2017. Hoy día es catedrático de urbanística y ordenación del territorio.

Su tesis doctoral sobre la evolución histórica de los criterios territoriales del trazado de carreteras sirvió de punto de partida para el desarrollo de una línea de investigación en identificación y valoración del patrimonio de las carreteras históricas, que ha compaginado durante estos años con el estudio de los impactos territoriales del tren de alta velocidad, en particular en localidades pequeñas.



Cursaste tus estudios en Santander. ¿Te condicionó esto para estudiar Caminos?

No, más bien fue, al contrario. Mi padre era perito agrícola, y trabajaba en el MOPU en servicios afectados, con lo que la ingeniería de carreteras me era cercana. Mi padre hacía por

las tardes proyectos de riegos y cosas así, y colaboraba con otros técnicos. Uno de esos proyectos fue una urbanización en Ciudad Real, y un buen día un ingeniero de caminos con el que trabajaba mi padre me dijo que si era capaz de ejecutar el Spectrum -ese ordenador casi de juguete que nos volvió locos en los 80- un progra-

ma en “Basic” de cálculo de redes de abastecimiento que venía en un libro. Aunque no sabía muy bien lo que hacía el programa, lo hice correr y eso me permitió acercarme a la ingeniería y decidirme definitivamente por hacer caminos. Como recompensa me compraron una impresora, que para mí fue todo un lujo. Una vez decidido a hacer caminos, acabé en Santander porque mi abuelo, aparejador de la RENFE, tenía un piso allí donde iban solo en verano, y casualidades de la vida, como no me admitieron en el colegio mayor donde estudiaban mis amigos de Ciudad Real, me fui a Santander que nos salía un poco más económico y era una ciudad que me gustaba desde niño.

¿Te gustaban las infraestructuras, el transporte y el patrimonio?

De niño me alucinaban los coches, con mis primos hacía circuitos para hacer carreras, luego el “scalextric” me llenó muchos años de adolescencia con más primos y amigos. Todo lo que tuviera ruedas siempre me ha gustado, y aunque entonces no era consciente de ello, esto de hacer circuitos probablemente era un síntoma de que llevaba un ingeniero dentro. El “Exin Castillos”, que felizmente conservo, también era de mis juguetes favoritos. Por otro lado, desde el colegio siempre me gustó la historia, pero ya se sabe, si se te daban bien la física y las matemáticas no te podías ir a letras, cosas de esos tiempos. El acercamiento hacia la historia de la ingeniería lo hice en la escuela, donde teníamos una asignatura en segundo que era un pequeño islote de humanidades entre matemáticas, campos, mecánicas y resistencias. Allí pude disfrutar de un par de clases de Juan José Arenas sobre historia de los puentes que despertaron mi interés por estos temas.

Has dirigido la Escuela de Ingenieros de Caminos de Castilla-La Mancha, ¿cómo era en ese momento la escuela, y qué objetivos te planteaste como director?

Fueron unos años muy intensos en todas las escuelas, porque coincidieron con los efectos de la crisis de 2009 que nos afectaron poco después. Por un lado, sufrimos un importante bajón en el número de alumnos de nuevo ingreso, por otro lado, eran tiempos de vacas flacas en la Universidad y estuvimos que salir adelante con presupuestos recortados. Mi objetivo principal fue mantener las fortalezas de la Escuela de Ciudad Real, como es el uso del aprendizaje basado en proyectos como metodología docente que ha demostrado en estos más de 25 años que, además de formar buenos ingenieros con conocimientos técnicos solventes, es capaz de dotarles de capacidades transversales (el trabajo en grupo, el liderazgo, la expresión oral, la expresión gráfica, etc.) que luego son fundamentales para su desarrollo profesional.

De tu experiencia como profesor desde entonces hasta la actualidad ¿has visto algún cambio en cómo afrontan esta carrera los alumnos a lo largo de este tiempo?

Yo creo que todas las generaciones miramos a los que vienen por detrás con cierta displicencia, cuando no con una mezcla de envidia y desprecio. Recuerdo que mis profesores nos decían que éramos los peores alumnos que habían tenido nunca, que el nivel no paraba de bajar, que no sabían dónde iba el país con unos torpes como nosotros... Esto sigue pasando, me temo, pero en realidad no son peores, simplemente sus circunstancias son diferentes y lo que pasa es que nuestra regla de medir la realidad hace años que está fuera de norma. Lo que sí veo es que los alumnos actuales,

aunque siempre hay de todo, valoran otras cosas más allá del resultado académico. Igual que nosotros, tienen sus pasiones, sus ilusiones, etc., y quizás no estén siempre tan dispuestos a dejarlas de lado en aras de un aprobado más o menos. Quizás sean menos maoquistas de lo que éramos nosotros, supongo que mejor para ellos.

¿Crees que hay margen de mejora en las actuales Escuelas de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, para motivar y atraer a los nuevos alumnos hacia esta profesión?

Si, atraer el talento hacia la ingeniería civil debería ser una prioridad de todo el sector, porque cuanto más talento haya en las Escuelas, mejores ingenieros tendremos al servicio del país, de las empresas, o de los ciudadanos. Hay mucho que hacer, porque no dejamos de ser una rama de la ingeniería que, para muchos chavales, está muy lejos de su experiencia vital. Todos han ido al médico, ven lo que hacer un abogado en las series de la tele, saben lo que hace un arquitecto porque todos viven en un edificio, etc. pero no son conscientes de la ingeniería que hay detrás del hecho de abrir un grifo, o de poder ir en el tren, o coger un avión, o viajar por carretera. Porque nuestra labor es discreta y, en general no les llega, y muchos de ellos no tienen la suerte que yo tuve de poder acercarme a ella cuando estaba en el instituto.

Tu tesis trata sobre la “Evolución de la relación entre carreteras y territorio” ¿crees que hoy día esta evolución continúa?

Si, absolutamente, aunque ahora se construyen menos carreteras que otros tiempos puesto que buena parte de la red está consolidada, el territorio es un ser vivo en continuo proceso de adaptación, y las carreteras son clave para esos cambios. La accesibilidad



que las carreteras proporcionan condiciona la ubicación de nuevas actividades. Además, las carreteras que un día fueron principales hoy son relegadas por nuevos trazados, teniendo que adaptar su función a la de vías locales.

El hecho de disponer de redes de alta capacidad solventes ha permitido mirar a los viejos trazados con otros ojos, y para darles en muchos casos nuevas funciones como son la turística o la cultural, de ahí las tendencias actuales respecto a las carreteras paisajísticas y/o históricas.

Has escrito distintos libros sobre ingeniería, urbanismo, territorio, patrimonio, ¿cómo ves el urbanismo en la ingeniería de caminos hoy en día? Y ¿qué aspectos echas en falta?

El urbanismo es una disciplina muy transversal y creo que comprender los procesos territoriales es esencial para hacer buena ingeniería de caminos, porque hacemos la infraestructura del territorio, el esqueleto, por tanto, muchos ingenieros hacen urbanismo, muchas veces sin saberlo. El diseño de un enlace, de una variante, de un trazado carretero o ferroviario, la ubicación de una estación, etc. muchas veces condiciona más el futuro de las ciudades que los planes de urbanismo. Y los ingenieros debemos ser conscientes

de este hecho, y reivindicar, frente a otras profesiones, nuestro trascendente papel en la construcción del territorio. Quizás esto está más claro en las grandes ciudades, pero como profesión, prestamos menos atención a los municipios pequeños, donde por otro lado, el impacto de la ingeniería es, proporcionalmente, mucho mayor.

Has escrito y trabajado sobre carreteras y sobre ferrocarriles, en la actualidad ¿ves a la carretera como una amenaza o como una oportunidad?

Creo que son modos diferentes que tienen funciones diferentes, y que podrían ser más complementarios de lo que son en la actualidad. El ferrocarril es poderoso cuando hay grandes tráfico, grandes volúmenes... por eso se desenvuelve bien en, y entre, grandes áreas metropolitanas. Sin embargo, la carretera está en todas partes, es capilar, da servicio donde otros no llegan, y es fundamental para la actividad de los territorios menos densos, pero sufre en las grandes ciudades porque sus necesidades de espacio no pueden ser cubiertas. Las carreteras urbanas sí creo que tienen un futuro incierto, en vista a lo que está pasando en otros lugares, donde antiguos cinturones de autopistas urbanas se están reconvirtiendo en bulevares, aunque creo que pasará todavía algún tiempo antes de

que algo así suceda en España. Por otro lado, el mundo rural se mueve por carretera, y se seguirá moviendo así.

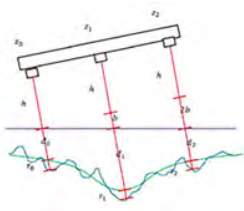
Tu estás preocupado por el Patrimonio de Carreteras. ¿Por qué te interesa? ¿Por qué crees que debe ser preservado?

Creo que la preservación de cualquier bien cultural se origina en su conocimiento. En mi caso, después de patear muchas carreteras históricas para entender las lógicas de su ubicación en el territorio, descubrí junto a mis compañeros de la Escuela, Javier Rodríguez y Rita Ruiz, que las viejas carreteras estaban llenas de elementos valiosos de todo tipo: puentes, casillas, viejos hitos kilométricos, guardarruedas, señales, viejas gasolineras, etc. a los que había que prestar atención porque, en muchos casos, era un patrimonio en lenta pero imparable destrucción. Ese patrimonio nos une a los ingenieros que, antes que nosotros, hicieron posible disponer de estas redes de carreteras que tan importantes han sido para el progreso de los lugares, y es justo reconocer su trabajo, su memoria, y no dejar que desaparezca completamente sepultado por las necesidades imparable del progreso. Y así, además, este patrimonio, bien recuperado, nos puede servir para atraer visitantes a territorios en regresión económica y demográfica, y es posible que encontremos en esta herencia del pasado, una valiosa oportunidad para el futuro.

¿Algo más?

Nada, solo mostrar mi agradecimiento por esta oportunidad, y por el trabajo que desde esta publicación se hace en post de una visión global de la carretera, desde los enfoques técnicos más rigurosos, hasta otras aproximaciones más diversas y "culturales", también valiosas para mejorar nuestro conocimiento de esta maravillosa infraestructura. Muchas gracias. ❖

Nuevas experiencias: auscultación de la deflexión con equipo Raptor en la RCE



New experiences: monitoring deflection with
equipment at traffic speed

Álvaro Navareño Rojo
Dirección General de Carreteras, MITMS

Miguel Ángel González Manchado
Dirección General de Carreteras, MITMS

José Manuel Sanz García
Ineco, Dirección General de Carreteras, MITMS

En el marco de la auscultación sistemática de la Red de Carreteras del Estado (RCE) llevada a cabo por la Dirección General de Carreteras, se viene realizando desde hace más de treinta años la medida de la deflexión.

Actualmente, la auscultación de la deflexión a nivel de red en la RCE se realiza con equipo Curvímetro, que toma los datos a una velocidad aproximada de 20 km/h, por lo que tiene cierta afección al tráfico, ya que precisa un vehículo de preaviso. Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado nuevos equipos de auscultación que evalúan la condición estructural del pavimento mediante tecnología de sensores láser circulando a velocidad de tráfico.

Esto supone, por un lado, una menor afección a los usuarios de la vía, evitando cortes de carril y presencia de vehículos en la calzada circulando a velocidades reducidas, lo que aumenta los niveles de seguridad y comodidad del usuario.

Por otro lado, la evolución de la tecnología hace posible emplear otros métodos de medida de la deflexión con resultados distintos a los métodos tradicionales, pero también útiles en la gestión de los firmes de carreteras.

En este artículo se recoge la experiencia obtenida por esta campaña de medida realizada en 2025 y algunas conclusiones sobre la aplicación del equipo en España.

As part of the systematic monitoring of the State Road Network (RCE) carried out by the Directorate-General (DG) for Highways, deflection measurements have been performed for over thirty years.

Currently, network-level deflection monitoring on the RCE is performed using a curvimeter, which collects data at an approximate speed of 20 km/h. This has some impact on traffic, as it requires a warning vehicle. However, in recent years, new monitoring equipment has been developed that evaluates the structural condition of the pavement using laser sensor technology while traveling at traffic speed.

This results in less disruption to road users, avoiding

lane closures and the presence of vehicles on the roadway traveling at reduced speeds, thus increasing user safety and comfort.

On the other hand, technological advancements have made it possible to use other deflection measurement methods that yield different results than traditional methods but are also useful in road pavement management.

This article presents the experience gained from this measurement campaign carried out in 2025 and some conclusions regarding the application of the equipment in Spain.

El equipo Raptor: descripción y principio de medida

El equipo multifunción Raptor para la auscultación estructural a velocidad de tráfico se instala en un camión con una cabeza tractora y un semirremolque que contiene todo el equipo de medición. La carga del eje trasero se consigue con un lastre de carga variable que se puede regular entre 6 y 10 t. Las medidas para este contrato se han realizado con una carga de 10 t.

Hay que tener en cuenta que, debido a las dimensiones del tráiler, el equipo Raptor está especialmente indicado para la medición en vías de alta capacidad, no siendo aconsejable su empleo en carreteras convencionales ni en trazados con radios pequeños.

No obstante, cabe mencionar que la medida de la deflexión en España, de acuerdo con la Norma 6.3 IC Rehabilitación de Firmes, de la Instrucción de Carreteras, se realiza con una carga normalizada de 13 t.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que el equipo Raptor no

mide directamente la deflexión del firme de la carretera (Projet National de recherche et développement "Durée de vie des chaussées" (DVDC), 2022). El equipo utiliza una serie de 12 perfilómetros láser de líneas equidistantes dispuestos sobre una viga de carbono de 5,40 m de longitud (sensores posicionados hasta 3,60 m por delante y 1,50 m por detrás de la rueda trasera).

Los perfilómetros calculan la distancia vertical mediante triangulación láser. El emisor láser del sensor, su cámara y el objetivo forman un triángulo. El perfilómetro de línea utiliza la distancia conocida entre el emisor láser y la cámara, y dos ángulos conocidos para calcular la distancia entre el sensor y el objetivo (la superficie de la carretera).

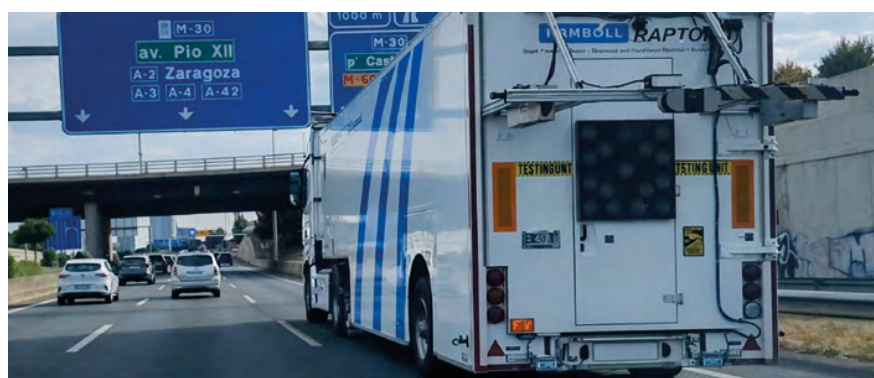


Figura 1. Vista de un equipo de auscultación estructural a velocidad de tráfico. Fuente: UTE EC-RAMBOLL



Figura 2. Posicionamiento de los láseres. Fuente: UTE EC-RAMBOLL

La medición de distancias mediante un perfilómetro consta de cuatro factores: la altura (h) de la viga respecto a un plano de referencia, el ángulo (θ) de la viga con el plano de referencia, el estado de la superficie (r_i) del pavimento con respecto al plano de referencia en la posición i , y la deflexión (d_i) del pavimento debido a la carga.

El equipo Raptor funciona a velocidades de hasta 90 km/h, el límite de velocidad legal habitual para camiones en algunos países europeos, siendo habitual la adquisición de datos a velocidades de 80 km/h.

Una vez realizada la medida, el software de proceso discretiza el cuenco y se extraen los valores máximo, D1, D2, D3, D4, D5 y D6, correspondientes a las distancias respectivas de 0, 200, 300, 450, 600, 900 y 1.200 mm del punto de aplicación de la carga.

Experiencias internacionales

En Europa, la distribución de los equipos es la siguiente:

- *Traffic Speed Deflectometer* (TSD, con licencia de la empresa Greenwood): disponible en Dinamarca, Italia, Polonia, Alemania y Reino Unido.
- *Rapid Pavement Tester* (Raptor, con licencia de la empresa Ramboll): disponible en Francia y Suecia.

Las principales experiencias piloto internacionales de medida con equipos de medida de parámetros estructurales a velocidad de tráfico se recogen a continuación (Projet National de recherche et développement “Durée de vie et des chaussées”, 2024) (tabla 1)

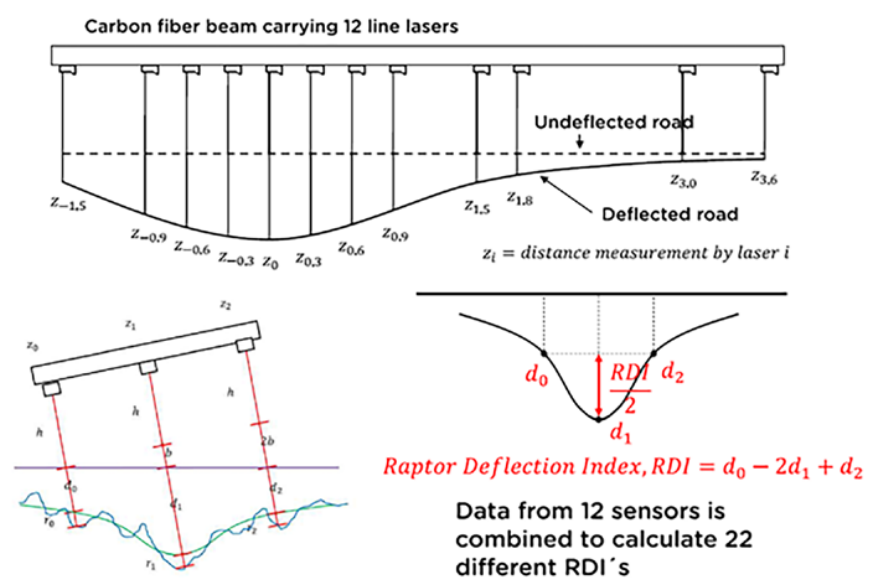


Figura 3. Principio de medida del equipo Raptor. Fuente: UTE EC-RAMBOLL

Tabla 1. Principales experiencias piloto internacionales. Fuente: Projet National DVDC – Durée de Vie Des Chaussées y elaboración propia

País	Longitud auscultada [km]
Estados Unidos (Departamentos de Transporte de California, Idaho, Georgia, Illinois, Nevada, Nueva York, Pensilvania, Carolina del Sur y Virginia)	5 928
Noruega	30 000
Suecia	4 000
Finlandia	1 500
Reino Unido	21 050
Italia	3 000
Bélgica	Comparativa realizada en un tramo de 85 km.
Francia	2 000 Adicionalmente, se ha realizado una comparativa en un tramo de 13 km en la autovía A-28 y se han medido 168 km dentro del Projet National DVDC – Durée de Vie Des Chaussées.

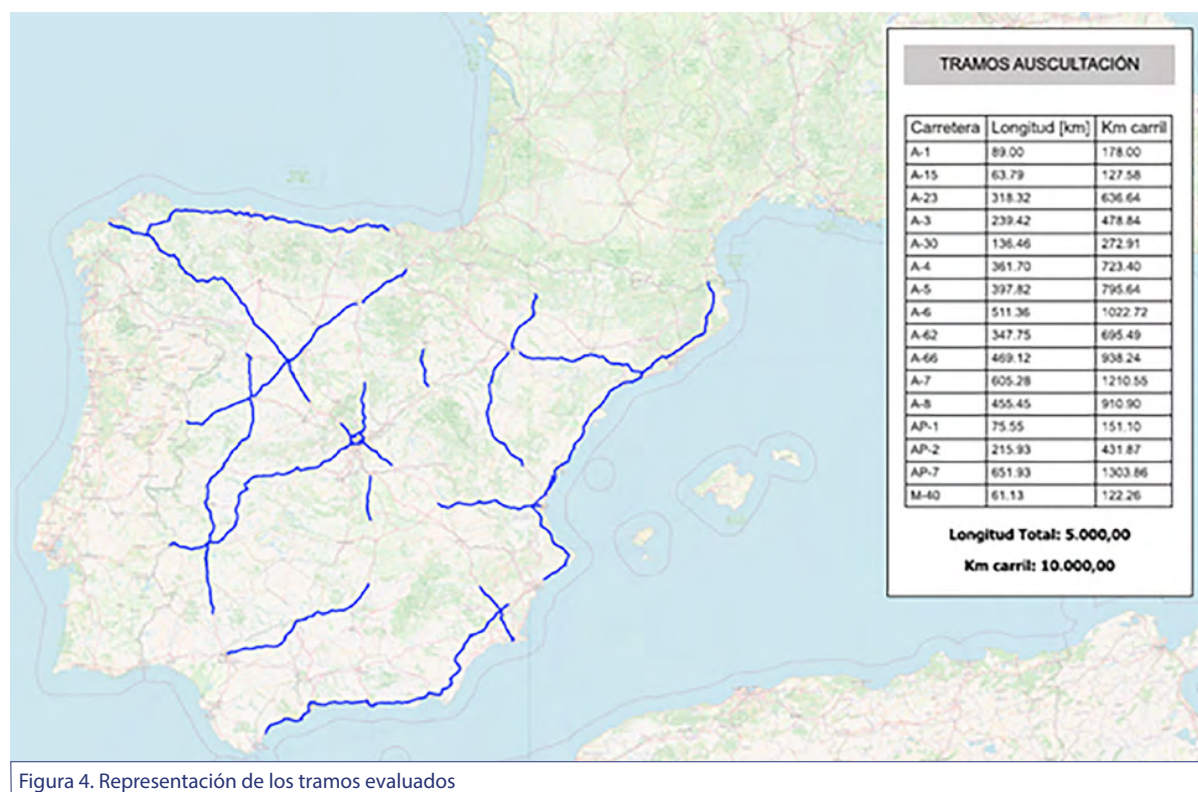


Figura 4. Representación de los tramos evaluados

En este sentido, en algunos países se han publicado estudios intentado correlacionar los datos del parámetro estructural a velocidad de tráfico con la deflexión medida con deflectómetro de impacto (Ford, 2022), no siendo equiparable hasta la fecha.

Asimismo, se han realizado comparativas recientes entre ambos equipos (Raptor y TSD) concluyendo que, con carácter general, las medidas de Raptor son inferiores a las del TSD, si bien ambos equipos son sensibles a las variaciones de temperatura, tipo de firme, espesor de las capas asfálticas, rigidez y módulo de la explanada (Hamidi, et al., 2024). En este sentido, la influencia de la temperatura del pavimento y el ruido en los resultados de los equipos dinámicos de medición de la deflexión también han sido apuntados como factores clave en otros estudios (Abdelmuhsen, 2024), así como la importancia de la velocidad

de adquisición de la deflexión para una velocidad de circulación dada (Rada, et al., 2023). También se han realizado estudios de los datos de Raptor para su aplicación al cálculo inverso (determinación, a partir de valores de deflexión, de los módulos de los materiales de las capas), pero no se ha obtenido un resultado concluyente, ya que se detecta una influencia crítica del espesor de las capas (Mitelski, 2024).

La campaña en la red española

La campaña planteada en la Red de Carreteras del Estado (RCE) ha abarcado un total de 10.000 km de carril, midiendo el carril exterior en vías de alta capacidad en gran parte de la geografía nacional.

Los tramos se han elegido atendiendo a criterios de volumen de

tráfico pesado, pertenencia a corredores de transporte de mercancías de largo recorrido, tipo de sección de firme y disponibilidad de auscultaciones de deflexión recientes con las que poder realizar una comparativa.

Dado que el equipo realiza la medición a velocidad de tráfico, se ha contado con un plazo de ejecución de tan solo 8 meses para la medida de los 10.000 km. La medida se ha realizado en la primavera de 2025.

Limitaciones encontradas

Detección precisa de zonas

Se ha realizado un estudio según los tipos de firme, como se detalla posteriormente. No obstante, con carácter general, tras el análisis de los tramos evaluados puede

decirse que el parámetro medido con el equipo Raptor tiene un comportamiento relativamente coherente respecto a la deflexión medida con curvímetro en la mayor parte del trazado. No obstante, hay también zonas donde no es consistente. Por ejemplo, en la autovía A-5, calzada creciente, en el entorno de los PP.KK. 301+900 y 302+900 sí reproduce en ambos parámetros la cresta. (Figura 5)

Sin embargo, existen tramos donde el Raptor no es sensible a picos de deflexión medidos con curvímetro. Un ejemplo es la imagen de la Figura 6, calzada creciente de la A-66 en Cáceres, donde los picos (deflexión superior a 50 centésimas de mm medida con curvímetro) entre los PP.KK. 436+500 y 438+000, no se detectan en absoluto en la medida del Raptor.

En este sentido, por tanto, el equipo de evaluación a velocidad de tráfico no resultaría adecuado para su uso a nivel de proyecto, esto es, para la determinación precisa de las zonas susceptibles de recibir una rehabilitación estructural en una carretera.

Órdenes de magnitud

Con carácter general, los valores del equipo a velocidad de tráfico, debido a las diferencias en su principio de medida, desafortunadamente no ofrecen una serie de valores desplazada en todos los puntos respecto al curvímetro. En cambio, la mayoría de los tramos se caracterizan por lo siguiente:

- En el rango de valores bajos de deflexión, el equipo Raptor presenta valores más elevados que el curvímetro.
- En el rango de valores altos de deflexión, el registro del Raptor ofrece valores inferiores (crestas menos marcadas).

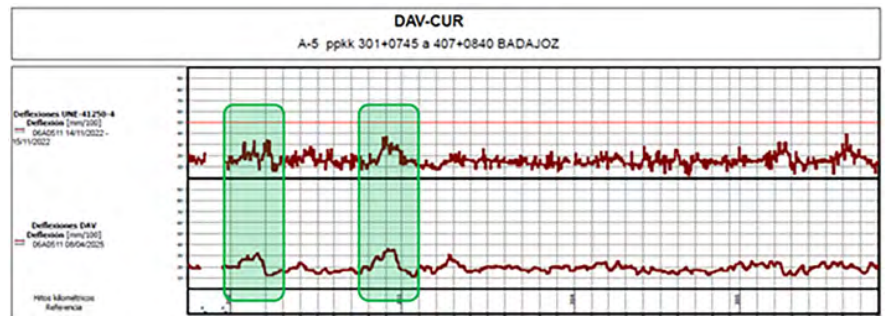


Figura 5.

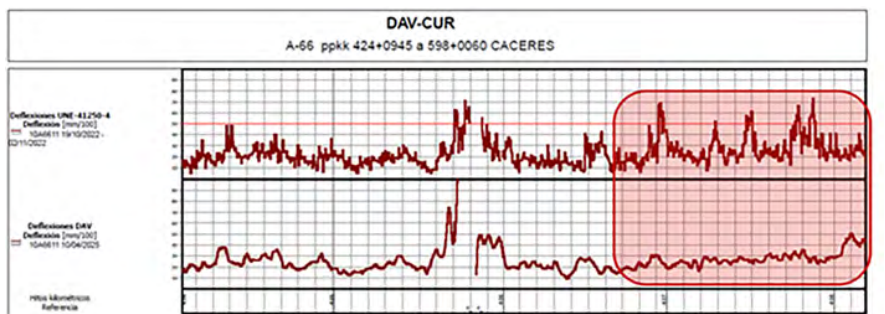


Figura 6.

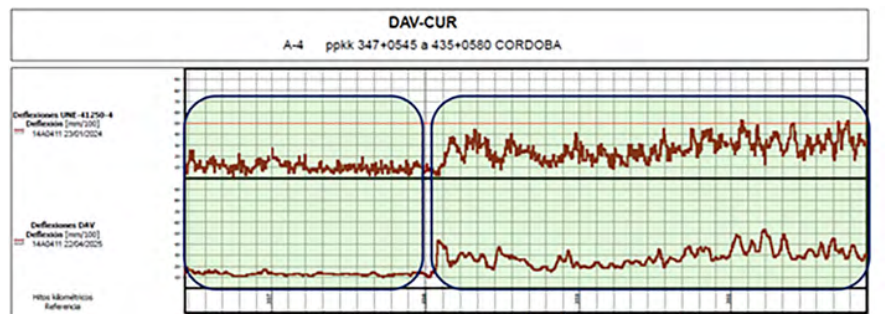


Figura 7.

A modo de ejemplo, en el tramo de la autovía A-4 en Córdoba, PP.KK. 356+500 a 361+000 de la calzada creciente (firme semiflexible en todo el tramo), se evidencia este fenómeno claramente. Los valores bajos de deflexión (<10 centésimas de mm con curvímetro) son todos >10 centésimas de mm en el Raptor. En cambio, en la zona de valores altos, el registro del curvímetro ofrece valores superiores, quedando los valores del Raptor en rangos inferiores. (Figura 7)

Este fenómeno (aplanamiento o achatamiento de la serie muestral)

plantea dificultades para la detección de zonas de rehabilitación a nivel de proyecto.

El fenómeno descrito ha sido detectado en otros estudios (Trimarchi Maldonado, 2021), concluyendo que la fiabilidad del equipo Raptor no es comparable a la ofrecida por equipos como el deflectómetro de impacto (FWD), especialmente en los casos de series de deflexión de valores bajos, donde el equipo Raptor tiene poca sensibilidad.

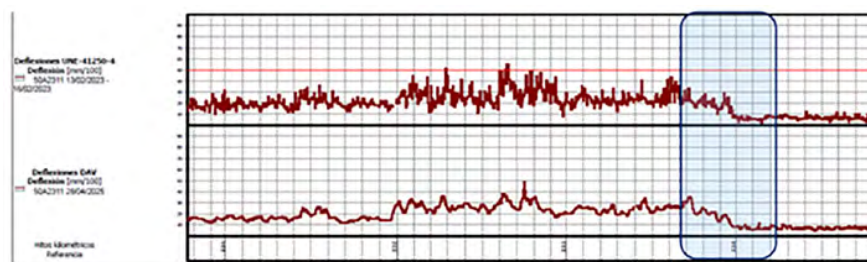


Figura 8.

Influencia del tipo de sección de firme

Algunos estudios han avanzado la influencia del tipo de firme en los resultados de la auscultación con Raptor respecto a equipos convencionales (Madsen & Pedersen, 2022).

En los tramos analizados, se ha identificado una mayor sensibilidad del parámetro estructural del Raptor respecto a la deflexión medida con curviámetro cuando la sección es flexible o semiflexible. En cambio, cuando la sección es semirrígida, el comportamiento del parámetro estructural del Raptor es relativamente más plano. A modo de ejemplo, en la autovía A-23, calzada creciente, en el entorno de los PP.KK. 233-234 (provincia de Zaragoza) se produce un cambio de sección de firme de semiflexible a semirrígida, y ese paso a una sección de mayor rigidez se refleja correctamente con una caída tanto en la deflexión del curviámetro como del parámetro estructural del equipo Raptor. (Figura 8)

En el caso de firmes mixtos que tienen en su base losas de hormigón, dado que no se emplea el equipo curviámetro para su evaluación estructural (suele emplearse deflectómetro de impacto convencional (FWD) o pesado (HWD)), no se ha realizado comparativa respecto a los datos obtenidos con el equipo Raptor.

Principales ventajas

En la campaña de auscultación a nivel de red con equipo Raptor en la Red de Carreteras del Estado se han detectado algunas ventajas respecto a los equipos empleados hasta el momento.

La principal ventaja es el rendimiento de la medida, ya que la circulación a velocidad de tráfico permite realizar la auscultación de una mayor longitud en menor tiempo, reduciendo la afección al tráfico (no precisa realizar corte de carril, lo que representa una mejora en términos de seguridad viaria, al evitar colisiones por alcances).

Otra de las ventajas es la posibilidad de obtener datos a nivel de red de la totalidad de la red de alta capacidad de la RCE de forma anual, bienal o con la periodicidad que se determine (actualmente se realiza auscultación anual de la deflexión de un porcentaje de la red).

Por otra parte, el equipo también presenta ventajas en términos de sincronización y multifuncionalidad: Raptor integra múltiples sensores que mide diversos parámetros de forma simultánea: además de la deflexión, puede medir la regularidad (IRI), el perfil transversal (DPT), la textura superficial y capturar imágenes de vídeo HD, con un posicionamiento GPS que permite obtener varios parámetros referenciados al mismo punto, lo que facilita el trabajo de gabinete

y la obtención de conclusiones, al integrar varios parámetros en el análisis.

Por último, aunque la inversión inicial en el equipo es elevada, el coste operativo por kilómetro auscultado es significativamente menor que en los métodos tradicionales debido a la eliminación de los costes de señalización y gestión de tráfico y a la velocidad de ejecución de la medida, que reduce las dietas y horas de personal de campo.

Conclusiones

Como reflexiones finales, puede indicarse, con carácter general, que Raptor no es el equipo más adecuado para realizar mediciones a nivel de proyecto ni constituir la base de la rehabilitación de firmes en tramos concretos. En este sentido, sigue siendo necesario disponer de una auscultación de la deflexión con valores puntuales (deflexión patrón) que pueda constituir la base para la detección de zonas singulares, zonas de agotamiento estructural y zonas con falta de capacidad de soporte en general.

En relación con el principio de medida, si bien es cierto que el comportamiento del parámetro estructural a velocidad de tráfico es relativamente coherente con el de la deflexión en grandes tramos, el orden de magnitud no es consistente (en unas carreteras con gráfica de valores superiores, en otras con gráfica de valores inferiores respecto a la deflexión). Ello puede deberse, probablemente, a la determinación de la cota del perfil de referencia (línea violeta en la Figura 9) que sirve de base para la determinación matemática del valor de la deflexión como diferencia del perfil real respecto a dicha línea de referencia.

Ello explicaría que en unas carreteras la serie muestral esté claramente por encima de los valores de deflexión medidos con curviámetro, y en otras carreteras la serie muestral se encuentre en valores sistemáticamente inferiores a la deflexión medida con curviámetro.

En relación con la influencia del tipo de sección de firme, las series analizadas no permiten extraer una conclusión definitiva, si bien se ha detectado que, allí donde la deflexión con curviámetro no es sensible al cambio de tipo de firme (bien porque pueda tratarse de un suelocemento disgregado, con dosificación de cemento heterogénea, etc.), el parámetro estructural de Raptor tampoco lo es, y viceversa: donde la deflexión medida con curviámetro sí detecta la influencia del cambio de rigidez en la transición entre dos tipos de firme diferente, el parámetro estructural de Raptor también evidencia claramente ese cambio de rigidez.

Por último, cabe indicar que el análisis presentado en este artículo sobre la campaña de auscultación realizada no es exhaustivo, antes bien, el gran volumen de datos obtenido permitirá realizar análisis futuros sobre tramos concretos, empleando estadísticos o considerando otras variables (climatología, tipo de suelos, características de la explanada, etc.).

En términos de sistema de gestión de firmes, los datos de Raptor sí permiten medir en poco tiempo y con seguridad, lo que puede facilitar la priorización de zonas de actuación que, una vez detectadas, puedan ser objeto de una auscultación de detalle con curviámetro y un proyecto de rehabilitación.

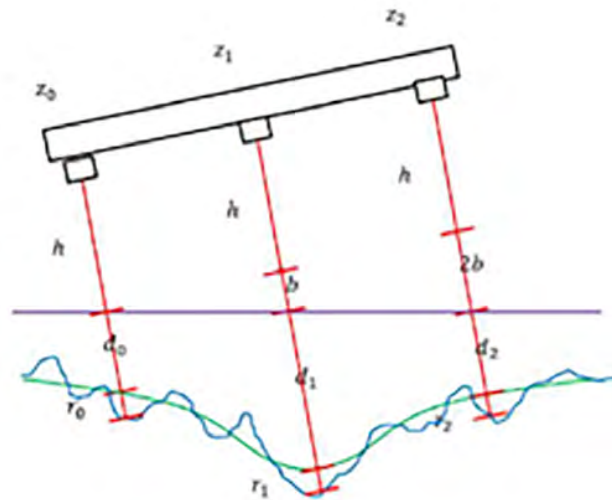


Figura 9. Principio de medida del equipo Raptor

Referencias

- [1] Abdelmuhsen, A., 2024. Application of artificial intelligence in the exploitation of deflection measurements for the mechanical characterization of pavement structures, Nantes, Francia: Nantes Université.
- [2] Ford, A., 2022. Analysis of Traffic Speed Deflectometer (TSD) data on State Highways in Southland, New Zealand, Queensland: University of Southern Queensland.
- [3] Hamidi, A., Hoff, I. & Mork, H., 2024. A sensitivity analysis on the simulated measurements of traffic speed deflection devices. International Journal of Pavement Engineering, 25(1).
- [4] Madsen, S. & Pedersen, N., 2022. Comparison of RAPTOR measurements with falling weight deflectometer deflections using backcalculation. s.l., Eleventh International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (BCRRA).
- [5] Mitelski, P., 2024. Analys av rullande bärighetsmätningar. Teknisk undersökning av relationer mellan vägens styvhet, materiallager och måtvärden. Lund, Suecia: Lunds Tekniska Högskola. Lunds Universitet.
- [6] Projet National de recherche et développement "Durée de vie des chaussées" (DVDC), 2022. Mesure de Déflexions à grand rendement DVDC/R/033, Paris: s.n.
- [7] Projet National de recherche et développement "Durée de vie et des chaussées", 2024. Essais croisés des matériels de déflexion à grande vitesse DVDC/R/050, Paris: s.n.
- [8] Rada, G., Nazarian, S. & Flintsch, G., 2023. Verification of Traffic Speed Deflection Devices' (TSDDs) Measurements, Blacksburg, VA: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP).
- [9] Trimarchi Maldonado, J., 2021. Rolling Weight Deflectometer for Stiffer Pavements: Combining Machine Learning and Field Data. Delft, NL: s.n. ❖

Túneles de carretera como infraestructuras inteligentes y cooperativas en la movilidad conectada



Road tunnels as smart, collaborative infrastructure in connected mobility

Vicente Sebastián Alapont

Miembro del Comité de Túneles de la ATC/PIARC

La llegada de los vehículos autónomos y conectados es una realidad, y resulta necesario establecer el marco en el que pueda articularse la cooperación entre el túnel, como infraestructura crítica de la red vial, y el vehículo conectado.

Las tecnologías asociadas a la movilidad conectada, cooperativa y automatizada (CCAM) se encuentran en fase de consolidación, pero aún parece prematuro definir especificaciones cerradas para el contexto específico de los túneles, cuando ni los sistemas a desplegar en las infraestructuras ni las tecnologías a incorporar en los vehículos están completamente normalizados.

En cualquier caso, el túnel forma parte de una red viaria y las tecnologías que se implanten en él deben estar alineadas con las de dicha red. Al mismo tiempo, es un tramo con características constructivas bien

conocidas, altamente sensorizado a partir de ciertas longitudes e intensidades de tráfico, dotado de equipamientos de seguridad y control normalizados, y con infraestructuras de comunicaciones que dan servicio a todos estos sistemas. Todo ello facilita, en principio, el despliegue de servicios cooperativos.

Este artículo revisa el estado del arte de los sistemas cooperativos desde la perspectiva de las infraestructuras y los sistemas de control de túneles, así como las tecnologías que incorporan los vehículos para la conducción autónoma y conectada. Sobre esta base, se plantea una reflexión sobre la evolución de los túneles hacia infraestructuras digitales, cooperativas y seguras, capaces de actuar como banco de pruebas y, a medio plazo, como nodos activos de la red viaria inteligente, siempre que exista un compromiso claro de innovación por parte de los gestores y explotadores.

The advent of autonomous and connected vehicles is now a reality, and it is necessary to establish a framework within which cooperation can be organised between tunnels—as critical infrastructure within the road network—and connected vehicles.

Technologies associated with connected, cooperative and automated mobility (CCAM) are currently in a phase of consolidation, but it still seems premature to define fixed specifications for the specific context of tunnels, when neither the systems to be deployed in the infrastructure nor the technologies to be incorporated into vehicles are fully standardised.

In any case, the tunnel forms part of a road network and the technologies implemented within it must be aligned with those of that network. At the same time, it is a section with well-known structural characteristics, highly

sensorised from certain lengths and traffic intensities, equipped with standardised safety and control equipment, and with communications infrastructure serving all these systems. All of this facilitates, in principle, the deployment of cooperative services.

This article reviews the state of the art in cooperative systems from the perspective of tunnel infrastructure and control systems, as well as the technologies incorporated into vehicles for autonomous and connected driving. On this basis, it reflects on the evolution of tunnels towards digital, cooperative and safe infrastructures, capable of acting as test beds and, in the medium term, as active nodes in the intelligent road network, provided there is a clear commitment to innovation on the part of managers and operators.

Prólogo

(Por Presidente del Comité C5 “Túneles” de la Asociación Técnica de Carreteras, ATC)

La red de carreteras de España tenía, a 31 de diciembre de 2024, 163.435 km, de los que 26.520 km pertenecen a la red del Estado, 71.145 km están gestionados por la Comunidades Autónomas y 67.770 km por las Diputaciones, sin contar la red a cargo de los ayuntamientos y las vías dependientes de otros organismos. De la totalidad de la red, 17.610 km (10,8 %) son vías de gran capacidad.

Hay estudios que están valorando si es necesario adaptar las carreteras, sensorizando tramos para obtener información del tráfico y desarrollar la movilidad eléctrica y el vehículo autónomo o si con la entrada del 5G, su velocidad y ancho de banda, no será necesaria la adaptación de toda la red de carreteras.

Las carreteras interurbanas españolas son recorridas por 13.000 km de fibra óptica y están monitorizadas con cerca de 10.000 dispositivos (cámaras, lectores de matrículas, aforadores y estaciones meteorológicas).

Actualmente, el conductor cuenta con dispositivos, dentro y fuera del vehículo, que le ayudan en la conducción más allá de la mera visión de conductor, y de la señalización estática, como PMV que informan en tiempo real de las incidencias (accidentes, retenciones, mal tiempo,...), semáforos que adaptan su funcionamiento a las condiciones del tráfico optimizando la regulación del flujo de vehículos, pasos de peatones que alertan a los conductores cuando un peatón se acerca, conos conectados, sistemas e-call, etc, sin olvidar todos los ADAS (sistemas avanzados de asistencia a la conducción) que incorporan los vehículos.

Pero el vehículo conectado no funciona solo. Necesita, además, de la infraestructura sobre la que circula y las conexiones entre ambos, sin olvidar a los usuarios.

Podremos conocer si hay un coche averiado ocupando un carril, que un coche se aproxima al mismo cruce que nosotros, que se acerca un vehículo de emergencia, que hay hielo en la calzada, detectar peatones y/o avisarles sobre vehículos que se acercan, etc. Podremos saber cuál es la ruta idónea, la conexión con otros modos de transporte, si hay plazas libres en un aparcamiento, etc. Es decir mejoraremos la seguridad vial y la movilidad. Pero además, desde el punto de vista ambiental, tendremos información para poder evitar atascos consiguiendo un menor consumo de combustible y, por tanto, generando menos emisiones.

El equipamiento vial con el que está dotada la infraestructura supone una fuente de información fundamental para la toma de decisiones, debiendo dotar a los elementos de la infraestructura de la carretera dispositivos que proporcionen información a los vehículos conectados (semáforos, señalización vertical, dispositivos de obras, sensores y receptores/emisores,...)

Pero es necesario poder “entender” la infraestructura, por lo que la carretera deberá aportar unos mí-

nimos. Deberá cumplir las normas vigentes referentes a trazado y equipamiento vial y contar con una conservación adecuada de la infraestructura y de los elementos instalados en ella, incluso deberían conocerse las necesidades de operatividad de los vehículos conectados para adaptar la infraestructura a sus necesidades.

España cuenta con 24,7M de turistas con una edad media que supera los 13 años. Los camiones, el 79% supera la década. Por tanto, ello supone muchos problemas de conexión.

La tercera pata de este ecosistema es el usuario que debe adaptarse al avance tecnológico. La rapidez con la que se van sucediendo los cambios ha puesto de manifiesto la problemática subyacente cada vez más frecuente. No siempre la adaptación es la adecuada ni lo rápida que sería deseable (ej.: banca y personas mayores).

Por tanto, y como conclusión, todo esto es aplicable a los túneles de carretera como un elemento más y singular de ella.

1. Introducción

La digitalización de la sociedad es un hecho indiscutible y está introduciendo nuevos paradigmas en todos los sectores, tanto a nivel personal como profesional. Esto se aprecia de forma muy clara en lo referente a la movilidad de las personas y las mercancías. Se están adoptando nuevas formas de movilidad personal, hay una tendencia de cambio hacia formas de propulsión con menor impacto ambiental, y las tecnologías emergentes están ya presentes en todas las etapas de la movilidad: desde la planificación de los desplazamientos, la información en tiempo real durante los mismos, hasta la operación y gestión de las infraestructuras y la explotación de toda la información generada.

En este contexto, la irrupción de los vehículos autónomos y conectados y, en un sentido más amplio, de la movilidad conectada, cooperativa y automatizada, hace necesario analizar de forma conjunta los conceptos de vehículo inteligente, infraestructura inteligente, comunicaciones V2X

y servicios C-ITS, y examinar cómo se proyectan sobre el ámbito de los túneles de carretera. El propósito de este artículo es precisamente ordenar estos elementos, revisar los marcos existentes y contextualizarlos en el entorno específico del túnel.

Pese a que las tecnologías en torno a los vehículos autónomos y conectados se van consolidando, todavía parece temprano establecer especificaciones concretas para su interacción en el contexto de los túneles, cuando no están completamente normalizados ni los sistemas a desplegar en las infraestructuras, ni las tecnologías a incorporar en los vehículos. Por un lado, las tecnologías se encuentran en un estado de madurez creciente, con marcos normativos, estándares y proyectos piloto que ofrecen una base sólida. Por otro, la condición de los túneles como infraestructuras críticas obliga a una aproximación prudente, donde la innovación tecnológica debe convivir con exigentes requisitos de seguridad, disponibilidad y continuidad de servicio.

Dado que el túnel es un elemento que forma parte de una red viaria, las tecnologías que se implanten en él deberían estar en armonía con las de dicha red. Al mismo tiempo, se trata de infraestructuras con características bien conocidas y un alto grado de instrumentación y control, lo que facilitará, en principio, el despliegue de servicios cooperativos. A partir de estos elementos, se plantea una reflexión sobre la evolución de los túneles hacia infraestructuras más inteligentes y cooperativas, capaces de integrarse en la movilidad conectada, aprovechando las tecnologías y sistemas que ya incorporan los túneles actuales.

Este artículo da continuidad al trabajo ya desarrollado por el Comité de Túneles de la ATC en materia de vehículos conectados y autónomos, y pretende ofrecer una reflexión realista sobre cómo puede evolucionar la relación entre los túneles de carretera y la movilidad conectada en los próximos años. [1], [2].

2. Vehículos autónomos y conectados en el contexto actual

La expresión “vehículo autónomo y conectado” suele utilizarse de manera genérica, pero desde el punto de vista técnico conviene diferenciar claramente sus componentes. Por un lado, la automatización de la conducción se refiere a la capacidad del vehículo para asumir, de forma parcial o total, las funciones que tradicionalmente ha venido desempeñando el conductor: percepción del entorno, evaluación de la situación, toma de decisiones y ejecución de maniobras. Por otro, la conectividad alude a la capacidad del vehículo para intercambiar información con otros vehículos, con la infraestructura o con plataformas externas de gestión mediante diferentes tecnologías de comunicación.

La automatización de los vehículos se apoya fundamentalmente en sensores embarcados (cámaras, radar, LIDAR, ultrasonidos, sensores inerciales) y en sistemas de fusión de datos que construyen una representación del entorno más próximo. Sobre esta base, los algoritmos de control determinan las maniobras a realizar en cada instante. La conectividad introduce una dimensión adicional: permite incorporar información que no es directamente observable por los sensores del propio vehículo (incidencias más allá del alcance visual, estado del tráfico unos kilómetros por delante, restricciones temporales, condiciones meteorológicas adversas, etc.), y transmitir a su vez información relevante para otros agentes del sistema.

Para estructurar los distintos grados de automatización se emplea habitualmente la clasificación de la SAE International (siglas en inglés de la Sociedad de Ingenieros de Automoción) expresada en su norma J3016, que distingue seis niveles, del 0 al 5, en función de las tareas de con-

ducción asumidas por el sistema de control del vehículo respecto al conductor humano. En la práctica, los niveles 1 y 2 agrupan las funciones avanzadas de ayuda a la conducción (ADAS), mientras que los niveles 3 y 4 corresponden a conducción condicionada y alta automatización en dominios operacionales acotados, reservando el nivel 5 para la automatización plena. Desde la perspectiva de la infraestructura, esta clasificación resulta útil para anticipar que las necesidades de apoyo desde la carretera serán diferentes según el nivel de automatización predominante en el parque de vehículos en cada momento. [3]

Sin embargo, en términos de explotación viaria resulta todavía más práctico pensar en vehículos con

distintos grados de “inteligencia funcional” y en cómo esa inteligencia se apoya, o no, en la cooperación con la carretera. En la práctica, hoy conviven vehículos con funciones avanzadas de ayuda a la conducción (mantenimiento de carril, control de crucero adaptativo, frenada automática de emergencia), con otros que apenas disponen de sistemas mínimos obligatorios. Este carácter heterogéneo de los vehículos que transitan por las carreteras será la situación habitual durante muchos años.

En paralelo, se observa una progresiva incorporación de capacidades de comunicación a bordo. Algunos fabricantes de vehículos comienzan a integrar de forma nativa comunicaciones V2X, mientras que otros optan por soluciones apoyadas



Figura 1. El túnel adaptado a la movilidad conectada.



Figura 2. Vehículo conectado con infraestructuras y otros vehículos.

en el teléfono móvil u otros dispositivos intermedios. A efectos de infraestructura, esto implica que durante un periodo prolongado la proporción de vehículos capaces de “escuchar” y “emitir” mensajes cooperativos será limitada y crecerá de forma gradual, conviviendo con una mayoría de vehículos sin estas capacidades.

En este escenario, la cuestión relevante desde la óptica de los túneles no es tanto si el vehículo llega a ser totalmente autónomo en términos absolutos, sino qué tipo de información puede intercambiar con la infraestructura y qué grado de ayuda a la circulación puede esperar de ella en cada fase de la evolución tecnológica. Desde la perspectiva de la explotación, vehículo e infraestructura deben considerarse elementos complementarios en los que las funciones del vehículo se apoyan en la información y en las condiciones que proporciona la infraestructura.

3. Infraestructura inteligente, comunicaciones V2X y servicios C-ITS

El concepto de infraestructura inteligente ha evolucionado desde la mera presencia de sistemas ITS aislados hacia una visión más integrada en la que la carretera —y el túnel como parte de ella— se concibe como un sistema capaz de percibir, decidir y actuar sobre su entorno. [4]

En la mayoría de los túneles, esta inteligencia se apoya en sistemas SCADA y en una red de sensores y actuadores ya consolidada.

La aparición de las comunicaciones V2X (Vehicle-to-Everything) introduce un cambio cualitativo. Bajo este paraguas se agrupan las comunicaciones entre vehículo y vehículo (V2V), vehículo e infraestructura (V2I), vehículo y red (V2N) o vehículo y otros usuarios vulnerables de la vía (V2P).

La infraestructura deja de ser un emisor de información prácticamente estática y pasa a convertirse en un nodo de una red de comunicaciones distribuida, en el que la información se genera, procesa y consume de manera más dinámica.

En este contexto se definen los servicios cooperativos C-ITS, entendidos como conjuntos de aplicaciones que la infraestructura y otros actores de la movilidad ponen a disposición de los vehículos y de los usuarios: avisos de vehículo detenido, alertas de obras, advertencias de condiciones meteorológicas adversas, avisos de vehículos prioritarios, recomendaciones de velocidad, información sobre aparcamientos, entre otros. Estos servicios se implementan mediante el intercambio de mensajes estandarizados (principalmente CAM y DENM) que permiten que un vehículo de cualquier fabricante pueda interpretar correctamente los mensajes emitidos por RSUs (Roadside Units) instaladas en distintos tramos de la red, con independencia del proveedor del equipo o del gestor de la infraestructura

Para que la infraestructura pueda considerarse verdaderamente “inteligente” en sentido cooperativo no basta con disponer de sensores y comunicaciones. Es necesario que exista una arquitectura integrada que conecte:

- los dispositivos de campo (sensores, detectores, señales, ventiladores, luminarias, RSU),
- las plataformas de supervisión y control (SCADA, sistemas de gestión de tráfico, servidores de aplicaciones C-ITS),
- y, cuando proceda, los sistemas externos (plataformas nacionales como DGT 3.0, espacios de datos de movilidad, servicios de información al viajero).

En muchos túneles de carretera buena parte de estos elementos es-

tán ya presentes, lo que proporciona una base sólida para plantear, cuando proceda, la incorporación de funciones cooperativas.

La incorporación de comunicaciones V2X y de servicios cooperativos no parte de cero sino que constituirá una evolución desde una base tecnológica y organizativa sólida. El reto técnico es extender esa inteligencia operativa hacia el exterior de forma que el túnel pueda:

- recibir información relevante procedente de los vehículos (por ejemplo, frenadas de emergencia, activación de luces de peligro, datos de adherencia, etc),
- y emitir hacia ellos información más rica y contextualizada que la que ofrece la señalización convencional (incidencias en el interior, cierres parciales, limitaciones temporales, rutas alternativas en redes de túneles, etc).

En este contexto, los estándares C-ITS ofrecen un marco común que facilita que las decisiones de un gestor de túneles no queden aisladas sino alineadas con la evolución de la red viaria y del ecosistema de movilidad conectada. El túnel sigue siendo, ante todo, una infraestructura de seguridad crítica, pero puede ir incorporándose de forma gradual como emisor y receptor de información dentro de los sistemas de gestión y supervisión de la movilidad conectada.

4. Condicionantes específicos del túnel para la movilidad conectada

Las consideraciones anteriores sobre vehículo inteligente, infraestructura inteligente y servicios C-ITS son de aplicación general a la red viaria. No obstante, al analizarlas desde la óptica de los túneles de carretera aparecen una serie de condicionan-



Figura 3. Equipamientos ITS y RSU para un túnel conectado.

tes específicos que influyen de forma directa en el diseño y en la viabilidad de los servicios cooperativos.

En primer lugar, el túnel es un entorno desfavorable para algunas de las tecnologías de soporte de la movilidad conectada, en particular para el geoposicionamiento y las comunicaciones radio convencionales. La pérdida de señal GNSS en el interior obliga a los vehículos a confiar en sistemas de posicionamiento relativos (odometría, sensores inerciales, fusión con mapas de alta definición), mientras que la atenuación de las señales móviles hace necesario recurrir a infraestructuras específicas (cable radiante, sistemas DAS, redes profesionales dedicadas) para garantizar servicios de voz y datos. Esta situación condiciona cualquier planteamiento de comunicaciones V2X que deberá apoyarse en estas infraestructuras existentes o en su ampliación.

En segundo lugar, los túneles de cierta entidad ya disponen de arquitecturas de control consolidadas basadas en sistemas SCADA y en una red extensa de sensores y actuadores: estaciones de toma de datos de tráfico, detección automática de incidentes, cámaras de vídeo y térmicas, sensores de parámetros ambientales, luminarias regulables, ventiladores, compuertas y barreras, entre otros.

Desde el punto de vista de la movilidad conectada, esto implica que una parte importante de la información que un servicio C-ITS podría requerir (detección de vehículo detenido, colisión, presencia de humo, cierre de carril, cambio de sentido) ya se encuentra disponible en el túnel, aunque actualmente solo se utilice para la explotación interna y la señalización convencional.

El tercer condicionante es de carácter operativo y organizativo. El túnel se explota con procedimientos muy definidos, tanto en situación normal como en situaciones degradadas o de emergencia. El tiempo de reacción ante un incidente, la coordinación con los servicios externos y la gestión de la evacuación están protocolizados y se entrenan periódicamente. La introducción de servicios cooperativos debe integrarse en esta lógica operativa y, por diseño, no puede dar lugar a mensajes contradictorios con la señalización ni a dependencias de comunicaciones que no cumplan los requisitos de seguridad del túnel. Así, por ejemplo, la arquitectura del sistema debe garantizar que un mensaje C-ITS no pueda proporcionar instrucciones diferentes a las indicadas por la señalización variable y que los servicios cooperativos no se apoyen en canales de comunicación cuya disponibilidad no esté alineada

con las exigencias de explotación y seguridad de la infraestructura.

Un cuarto aspecto a considerar es la condición de infraestructura crítica que tienen muchos túneles, con las obligaciones asociadas en materia de protección física y, en su caso, de ciberseguridad. Cualquier futura conexión de los sistemas del túnel con redes externas, ya sea para servicios cooperativos o para su integración en plataformas nacionales de datos, deberá abordarse bajo criterios estrictos de seguridad, de manera que la apertura hacia el exterior no comprometa la robustez ni la disponibilidad de los sistemas esenciales del túnel. Ello condicionará la forma en que se diseñen o rediseñen las redes de comunicación internas, con el fin de facilitar la integración de las RSU, los servidores C-ITS y los enlaces con plataformas externas, manteniendo los niveles de seguridad requeridos.

Finalmente, los túneles presentan también ventajas específicas en el contexto de la movilidad conectada. A diferencia de otros tramos a cielo abierto, en el túnel:

- la geometría y las condiciones del entorno están muy bien caracterizadas,
- el tráfico se concentra en un número limitado de carriles y se encuentra bajo una supervisión continua,
- la explotación se realiza desde centros de control que ya gestionan, en tiempo real, un volumen considerable de información.

Esto hace que, siempre que se respeten los condicionantes anteriores, el túnel pueda ser un entorno particularmente adecuado para probar y validar determinados servicios cooperativos: avisos de vehículo detenido o lento, advertencias de colisiones, notificaciones de cierre de carril o de túnel, avisos de presencia de vehícu-

los de emergencia o de condiciones anómalas en el interior, entre otros. En resumen, las características del túnel condicionan las posibilidades de aplicación de los servicios C-ITS, pero al mismo tiempo ofrecen ventajas específicas frente a otros tramos de la red, especialmente en lo relativo a la disponibilidad de datos y a la capacidad de control sobre la explotación.

5. Servicios cooperativos de mayor interés en túneles de carretera

Las especificaciones de servicios cooperativos C-ITS definen un catálogo relativamente amplio de funcionalidades de “Día 1” y “Día 1.5” aplicables al conjunto de la red viaria. [5] Sin embargo, desde la óptica de los túneles de carretera resulta útil identificar aquellos servicios cuya implementación puede aportar un valor más directo en términos de seguridad y explotación, tanto en el interior del túnel como en sus tramos de acceso.

Entre los servicios de seguridad de Día 1, destacan por su relación con la explotación de túneles los siguientes:

- el aviso de vehículo lento o detenido,
- las advertencias de colisión o de frenada brusca,
- el aviso de obras en la calzada,
- los avisos de presencia de obstáculos o condiciones peligrosas en la vía,
- el aviso de aproximación de vehículos de emergencia.

Todos ellos guardan una correspondencia clara con eventos que ya se monitorizan en la explotación actual de los túneles mediante la detección automática de incidentes, los sistemas de medida de tráfico y las cámaras de vigilancia. La principal diferencia es que, en un entorno

cooperativo, parte de esta información podría difundirse directamente al vehículo de forma estandarizada, complementando la señalización fija y variable.

En el ámbito de la gestión del tráfico, algunos servicios relacionados con la información de retenciones, y los avisos de cierre de carriles o de restricciones temporales pueden resultar especialmente útiles en los tramos de acceso al túnel. La posibilidad de emitir avisos anticipados sobre retenciones en el interior, limitaciones de capacidad o cierres programados facilita que los vehículos equipados puedan adaptar su velocidad o, en su caso, elegir itinerarios alternativos cuando la red lo permita. En redes urbanas o periurbanas con varios túneles próximos, determinados servicios de información de ruta también podrían contribuir a distribuir la demanda entre distintos tubos o itinerarios equivalentes.

En cuanto a los servicios de información al usuario, la infraestructura del túnel puede participar en la generación de mensajes relativos a:

- cierres totales o parciales del túnel,
- restricciones a determinados tipos de vehículos (por ejemplo, transporte de mercancías peligrosas),

- condiciones meteorológicas adversas en el entorno del túnel,
- disponibilidad de áreas de estacionamiento para la regulación del tráfico de vehículos pesados asociadas a la infraestructura, cuando existan.

En todos estos casos, los mensajes cooperativos no sustituirán a la señalización reglamentaria sino que la reforzarán, ofreciendo al vehículo una representación digital de la situación, coherente con lo que se muestre en la vía.

Desde el punto de vista de la ingeniería de sistemas, la implantación de estos servicios en un túnel no exige necesariamente desarrollar nuevas capacidades de detección sino aprovechar la información que ya generan los sistemas de explotación y canalizarla hacia plataformas C-ITS capaces de elaborar y difundir los mensajes correspondientes. El diseño de esta integración deberá respetar los condicionantes ya descritos en materia de comunicaciones, explotación y seguridad.

Conviene tener en cuenta que además de la implantación progresiva de capacidades C-ITS nativas en los vehículos, una parte creciente de los conductores accede a información de tráfico e incidencias a través de aplicaciones de navegación en disposi-



Figura 4. Servicios cooperativos C-ITS en túneles de carretera.

tivos móviles. En el caso de España, la plataforma DGT 3.0 ofrece un canal para que la información generada por las distintas entidades y administraciones responsables de la gestión del tráfico —entre ellas los gestores de túneles— pueda ponerse a disposición de estos servicios, independientemente de que el vehículo disponga o no de comunicaciones V2X embarcadas. Desde la perspectiva del gestor de túneles, lo relevante es que la información difundida por cualquiera de estos canales sea coherente con la explotación de la infraestructura y con la señalización mostrada en la vía.

6. La evolución de los túneles hacia infraestructuras inteligentes y cooperativas

Una vez introducidos los conceptos de vehículo autónomo y conectado, infraestructura inteligente, comunicaciones V2X y servicios cooperativos C-ITS, así como los condicionantes específicos de los túneles de carretera, puede analizarse su evolución hacia formas de explotación más inteligentes y cooperativas, entendidas como túneles más digitalizados, mejor integrados en el ecosistema de movilidad conectada y con una capacidad de interacción con los vehículos y con la red viaria.[6]

Más que establecer un concepto normativo, se trata de definir un marco de referencia en el que se puedan agrupar un conjunto de características y tendencias que previsiblemente irán adquiriendo mayor relevancia en los próximos años.

6.1. Elementos funcionales de un túnel inteligente y cooperativo

Desde un punto de vista funcional pueden identificarse varios rasgos que caracterizan a los túneles inteligentes y cooperativos:

- Mejora en la explotación de los datos disponibles: los sistemas actuales de túneles generan ya un volumen considerable de información sobre el estado de las instalaciones y del tráfico. Un túnel inteligente y cooperativo se orienta a utilizar estos datos no solo para la gestión operativa inmediata, sino también para el análisis de tendencias, la optimización de la explotación, el mantenimiento preventivo y la evaluación de la seguridad.
- Representación digital del túnel y de su entorno: la combinación de modelos geométricos detallados, inventarios de equipamientos y datos de explotación facilita la construcción de representaciones digitales del túnel (modelos o gemelos digitales) sobre las que puede simularse el comportamiento del sistema en distintos escenarios, analizar la respuesta ante incidentes o evaluar el impacto de modificaciones en las instalaciones y en los procedimientos.
- Interacción estructurada con el exterior: estos túneles de nueva generación incorporan la capacidad de intercambiar información de forma estructurada con otros sistemas (centros de gestión de tráfico, plataformas nacionales, servicios de información al usuario) y, cuando proceda, con los vehículos mediante estándares C-ITS u otros mecanismos interoperables. Esta interacción no sustituye a la señalización reglamentaria ni a los canales operativos existentes, pero añade una capa digital alineada con ellos.
- Integración de la dimensión cooperativa en la explotación: determinados servicios cooperativos pueden integrarse de forma natural en la lógica de la explotación, por ejemplo, difundiendo hacia los vehículos información sobre

incidencias detectadas por los propios sistemas del túnel, reforzando la gestión de cierres o restricciones, o complementando la información proporcionada por la señalización variable en los accesos.

6.2. Arquitectura técnica y relación con los sistemas existentes

Desde la perspectiva de la arquitectura técnica, un túnel inteligente y cooperativo puede describirse como la evolución coordinada de tres niveles:

- Nivel de campo, que agrupa los sensores, actuadores, estaciones de toma de datos, cámaras, equipos de ventilación e iluminación, señalización fija y variable, y las RSU que puedan instalarse para servicios cooperativos.
- Nivel de control y explotación, formado por los sistemas SCADA, los sistemas de gestión de tráfico, las aplicaciones de detección automática de incidentes, los servidores de bases de datos operacionales y las herramientas de soporte a la toma de decisiones de los operadores y responsables de explotación.
- Nivel de integración y servicios externos, que incluye los enlaces con centros de gestión de ámbito superior, las plataformas nacionales (como DGT 3.0 en el caso español) y, en su caso, los servicios cooperativos C-ITS u otras plataformas de datos de movilidad.

La evolución hacia este tipo de túneles no implica sustituir estos niveles sino articular mejor las relaciones entre ellos y dotarlos de capacidades adicionales de intercambio de información y análisis. Para ello, será necesario definir interfaces claros entre los sistemas de explotación del túnel y las plataformas cooperativas, así como

establecer los mecanismos de control que garanticen que la incorporación de nuevas funciones no interfiera con la explotación y la seguridad.

En este sentido, la condición de infraestructura crítica del túnel sigue siendo un elemento determinante: la apertura hacia redes externas y hacia servicios cooperativos debe realizarse preservando la robustez, la disponibilidad y la integridad de los sistemas esenciales de explotación.

6.3. Programas, marcos de pruebas y experiencias relevantes

La evolución hacia túneles más inteligentes y cooperativos se apoya en distintos marcos de pruebas y programas de referencia que permiten pasar de la definición teórica de los servicios C-ITS a su validación en entornos reales. A escala europea, la plataforma C-ROADS ha proporcionado un marco común para la definición de los servicios y casos de uso, las especificaciones funcionales de la infraestructura cooperativa y los perfiles de mensajes y comunicaciones, acompañado de numerosos pilotos en corredores y áreas urbanas. En el ámbito específico de los túneles, el proyecto sueco ITS Solutions for Safe Tunnels, desarrollado para el Stockholm Bypass, ha analizado de forma sistemática cómo los servicios cooperativos pueden contribuir a reducir los tiempos de detección y respuesta ante incidentes en túneles de gran longitud.

Entre las experiencias piloto más directamente relacionadas con túneles cabe destacar el caso del túnel del Mont Blanc (Francia-Italia), en el que se han ensayado soluciones de movilidad cooperativa orientadas a la seguridad del transporte pesado. En este túnel transfronterizo se han integrado sensores avanzados, cámaras térmicas y sistemas de comunicación V2I y V2V, explorando casos de uso como la detección temprana de fallos

críticos en vehículos pesados (por ejemplo, sobrecalentamiento de frenos o fugas en camiones cisterna), el envío de alertas específicas a los vehículos en tránsito mediante mensajes DENM y la comunicación continua con el centro de control para apoyar la toma de decisiones de explotación.

Otro ejemplo relevante es el proyecto KoMoD (Kooperative Mobilität im digitalen Testfeld Düsseldorf) que configura un corredor urbano e interurbano dotado de comunicaciones V2X en el que se incluyen también túneles urbanos. En este entorno se han desplegado unidades RSU compatibles con ITS-G5 y LTE/5G conectadas a plataformas de gestión de tráfico y se han probado servicios como advertencias de peligros localizados y condiciones meteorológicas adversas, transmisión cooperativa de límites de velocidad variables, semáforos virtuales y comunicación directa entre vehículos y controladores de tráfico. [7] Este tipo de pilotos resulta especialmente ilustrativo para los gestores de túneles al mostrar cómo integrar servicios cooperativos en corredores complejos donde confluyen tramos a cielo abierto y secciones soterradas.

En el caso de España, el Programa Marco ES-AV para pruebas de vehículos automatizados en vías abiertas establece el marco regulatorio y procedimental para la realización de ensayos controlados en distintos tipos de infraestructuras, incluyendo, cuando así se autorice, túneles de carretera. [8] Por su parte, la plataforma DGT 3.0 actúa como plataforma de intercambio entre los sistemas de gestión del tráfico y los servicios de información a bordo, facilitando que la información operativa generada por infraestructuras singulares, como los túneles, pueda ponerse a disposición de servicios de navegación y aplicaciones de terceros. [9]

Determinadas actuaciones recientes en túneles urbanos apuntan en la

misma dirección de dotarles de capacidades digitales adicionales, aunque no se encuadren estrictamente en el marco C-ITS. Un ejemplo es la instalación de redes de balizas Bluetooth en los túneles de la Madrid Calle 30 y en otros túneles urbanos de la capital, que permiten mantener la localización de los vehículos mediante aplicaciones de navegación como Google Maps y Waze pese a la pérdida de señal GNSS en su interior. Más allá del servicio directo al usuario, este tipo de soluciones ilustra cómo las infraestructuras pueden ir incorporando de forma gradual, elementos que aseguren la continuidad de los servicios digitales asociados a la circulación.

En conjunto, estos marcos y experiencias no definen por sí mismos un modelo único de túnel inteligente y cooperativo, pero proporcionan referencias valiosas sobre tecnologías, arquitecturas de comunicación, procedimientos de prueba y esquemas de cooperación entre gestores de infraestructuras, administraciones de tráfico, fabricantes y proveedores de servicios que pueden aprovecharse al plantear la modernización de los túneles de carretera.

6.4. Implicaciones para el diseño, la rehabilitación y la explotación

Aunque la implantación de funcionalidades asociadas a túneles inteligentes y cooperativos será necesariamente gradual y adaptada a las condiciones de cada caso, pueden apuntarse algunas implicaciones generales para el proyecto, la rehabilitación y la explotación de túneles:

- En proyectos de túneles de nueva construcción resulta razonable que la fase de proyecto recoja la arquitectura de comunicaciones y de sistemas, teniendo en cuenta la posible implantación futura de servicios cooperativos: capacidad y estructura de las redes de comuni-

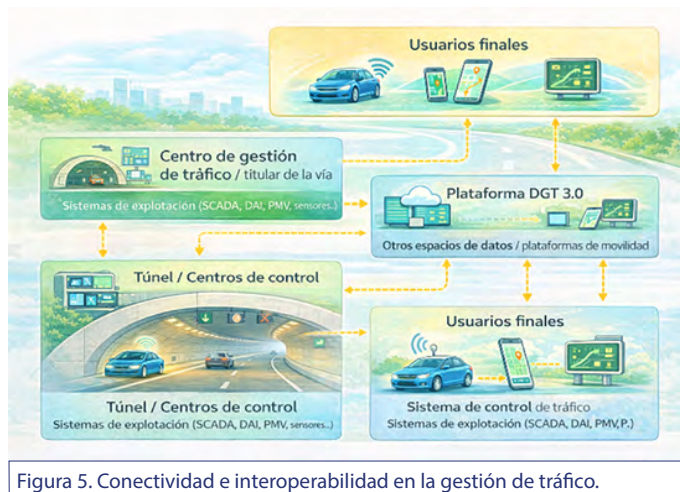


Figura 5. Conectividad e interoperabilidad en la gestión de tráfico.

caciones internas, integración de los sistemas de toma de datos con plataformas de análisis, y compatibilidad de los sistemas de señalización variable con la generación de mensajes digitales coherentes con los estándares C-ITS, entre otros aspectos. La eventual instalación de RSU u otros equipos específicos debería formar también parte del proyecto.

- En túneles existentes, las actuaciones de rehabilitación y modernización ofrecen una oportunidad para revisar la arquitectura de comunicaciones, mejorar la gestión y el almacenamiento de datos de explotación, y valorar la viabilidad de incorporar determinados servicios cooperativos alineados con las prioridades de seguridad y explotación.
- Desde el punto de vista de la explotación, la incorporación de funcionalidades asociadas a la movilidad conectada exige revisar procedimientos, definir con claridad qué información se genera y se difunde, y asegurar la coherencia entre lo que se muestra en la vía y lo que se transmite por canales digitales, ya sea mediante servicios C-ITS o a través de plataformas de información al usuario.

En todos los casos, la evolución

hacia túneles más inteligentes y cooperativos debe entenderse como un proceso vinculado a la ingeniería del túnel y a su gestión a largo plazo más que como la simple adición de nuevos dispositivos o aplicaciones. El nivel de ambición y el ritmo de implantación dependerán de factores como la importancia del túnel en la red de carreteras, los volúmenes de tráfico, la disponibilidad de recursos y las estrategias de movilidad de la administración titular.

7. Conclusiones

La digitalización de la movilidad y la progresiva aparición de vehículos con mayores capacidades de automatización y conectividad sitúan a los túneles de carretera ante un escenario en el que vehículo e infraestructura deben analizarse de forma conjunta. El vehículo “inteligente” no actúa de manera aislada sino que se apoya en la información que proporciona ésta, mientras que la infraestructura puede beneficiarse a su vez de los datos generados por los vehículos siempre que se disponga de los mecanismos adecuados de intercambio de información.

Desde el punto de vista de la infraestructura, el grado de sensorización y automatización alcanzada

en muchos túneles ofrece un punto de partida favorable para esta evolución.

Al mismo tiempo, el túnel presenta condicionantes específicos que no pueden obviarse en el ámbito de la movilidad conectada: ausencia de señal GNSS, necesidad de infraestructuras de comunicaciones específicas, entorno confinado, procedimientos de explotación y emergencia muy estructurados y consideración de infraestructura crítica. La eventual introducción de servicios cooperativos debe respetar estos condicionantes, integrarse en la arquitectura existente y garantizar, por diseño, la coherencia entre la información difundida por canales digitales y la señalización reglamentaria y variable mostrada en la vía.

En este contexto, los servicios cooperativos C-ITS y las plataformas de intercambio de datos, como DGT 3.0 en el caso español, ofrecen un marco técnico que facilita la integración de los túneles en el ecosistema de movilidad conectada. Determinados servicios de seguridad y gestión del tráfico (avisos de vehículo detenido, colisiones, cierres de carril, presencia de vehículos de emergencia, etc.) presentan una relación directa con las capacidades de detección y control ya existentes en los túneles y pueden reforzar la explotación y la seguridad cuando se aplican de forma alineada con los sistemas actuales.

La evolución hacia túneles más inteligentes y cooperativos no se reduce únicamente a la instalación de RSU o de equipos de comunicación, sino que implica una utilización más sistemática de los datos de explotación, la posible adopción de modelos digitales del túnel y la definición de interfaces claras entre los sistemas de control y las plataformas externas. Esta evolución debe abordarse de manera gradual, adaptada a las

características de cada infraestructura, y vinculada a las decisiones de proyecto, rehabilitación y explotación a lo largo del ciclo de vida del túnel.

Por último, cabe señalar que los túneles constituyen un entorno idóneo para realizar experiencias y proyectos piloto en movilidad conectada en la medida en la que reúnen un alto grado de instrumentación, una explotación centralizada y una importancia funcional elevada en la red. No obstante, precisamente por su condición de infraestructura crítica y por la complejidad de los procedimientos necesarios para introducir modificaciones en sus sistemas tecnológicos y de gestión, cualquier avance en este ámbito requiere un compromiso claro por parte de las administraciones titulares y de los explotadores. La combinación de una base tecnológica sólida, un marco de cooperación adecuado entre actores y una apuesta explícita por la innovación permitirá que las experiencias que se desarrollen en túneles contribuyan de manera efectiva a mejorar la seguridad y la explotación, y aporten referencias útiles para la evolución futura del conjunto de la red viaria.

8. Glosario de términos

ADAS: Advanced Driver Assistance Systems – Sistemas avanzados de ayuda a la conducción.

CAM: Cooperative Awareness Message – Mensaje cooperativo de conciencia.

CCAM: Connected, Cooperative and Automated Mobility – Movilidad conectada, cooperativa y automatizada.

C-ITS: Cooperative Intelligent Transport Systems – Sistemas de transporte inteligente cooperativos.

DAS: Distributed Antenna System – Sistema de antenas distribuidas.

DGT 3.0: Plataforma de vehículo conectado de la Dirección General de Tráfico.

ES-AV: Programa Marco de Evaluación de la Seguridad y Tecnología de Vehículos Automatizados de la DGT.

GNSS: Global Navigation Satellite System – Sistema mundial de navegación por satélite.

ITS: Intelligent Transport Systems – Sistemas inteligentes de transporte.

ITS-G5: Perfil europeo de comunicaciones ITS basado en IEEE 802.11p para servicios C-ITS.

LIDAR: Light Detection and Ranging – Sensor de medida de distancias mediante haz láser.

LTE: Long Term Evolution – Tecnología de comunicaciones móviles 4G.

RSU: Roadside Unit – Unidad de carretera para comunicaciones V2X.

SAE: SAE International (antigua Society of Automotive Engineers); en el texto se refiere a los niveles de automatización definidos en la norma J3016.

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition – Sistema de supervisión, control y adquisición de datos.

V2I: Vehicle-to-Infrastructure – Comunicación vehículo-infraestructura.

V2N: Vehicle-to-Network – Comunicación vehículo-red.

V2P: Vehicle-to-Pedestrian – Comunicación vehículo-peatón/usuarios vulnerables.

V2V: Vehicle-to-Vehicle – Comunicación vehículo-vehículo.

V2X: Vehicle-to-Everything – Término genérico para el conjunto de comunicaciones cooperativas del vehículo con cualquier otro elemento.

9. Referencias y bibliografía

- [1] Grupo de Trabajo de Vehículos Conectados y Autónomos – Comité Técnico C5 “Túneles”, ATC. “Impacto del vehículo autónomo y conectado en la explotación de los túneles de carretera.” Revista RUTAS, nº 199, 2024.
- [2] Sebastián Alapont, V. (2022). ¿Están los túneles preparados para el tránsito de vehículos autónomos y conectados? Comunicación presentada en el Congreso Internacional de PIARC sobre Explotación y Seguridad de Túneles y VIII Simposio Español de Túneles, Granada, España, PIARC-ATC.
- [3] SAE International. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. SAE Standard J3016, última revisión.
- [4] PIARC – World Road Association. Connected Vehicles – Challenges and Opportunities for Road Operators. Technical Report 2019R11EN, París, 2019.
- [5] C-ROADS Platform. C-ROADS Platform – Harmonised C-ITS Specifications and Day 1 Services. Documentación técnica y fichas de proyecto, 2016–2024.
- [6] Bro, J. et al. “Usage of V2X Applications in Road Tunnels.” Applied Sciences, 12(9), 4624, 2022.
- [7] KoMoD Consortium. Kooperative Mobilität im digitalen Testfeld Düsseldorf (KoMoD) – Final Report. Düsseldorf, 2019.
- [8] Dirección General de Tráfico. Programa Marco de Evaluación de la Seguridad y Tecnología de Vehículos Automatizados (ES-AV). DGT, 2025.
- [9] Dirección General de Tráfico. Plataforma de vehículo conectado DGT 3.0. Documentación institucional y portal web, 2021–2025. ❖

Optimización de actuaciones en la red estatal a partir de los datos de la motocicleta conectada



Optimization of actions on the state network based on data from the connected motorcycle

Roberto Llamas Rubio

*Jefe de Unidad de Seguridad Vial.
DGC.MTMS*

Jesús Redondo González

*Jefe de Unidad de Carreteras de Alicante.
DGC.MTMS*

Laura Crespo Bonilla

*Auditora de Seguridad Vial.
Prointec*

La llegada de los vehículos conectados ha abierto nuevas posibilidades para la seguridad vial al permitir analizar de forma inmediata y continua el comportamiento real de los usuarios. Aunque la mayoría de los datos proceden de turismos, la incorporación de unidades inerciales conectadas (IMU) en motocicletas ha hecho posible disponer también de información precisa sobre velocidades, aceleraciones y maniobras realizadas por los usuarios de este colectivo.

El artículo realiza, en un tramo existente de la red estatal con fuerte presencia de motoristas, una comparación entre medidas propuestas mediante un estudio tradicional (reactivo - datos de accidentalidad) y medidas propuestas en base a un estudio innovador con datos de "moto conectada". Estos datos de moto conectada revelaron un escenario más grave de lo que mostraban los datos de accidentalidad tradicional: excesos masivos de velocidad, adelantamientos temerarios e invasiones de carril incluso en curvas sin accidentes registrados y, permitieron identificar riesgos ocultos, anticipar accidentes (metodología proactiva) y precisar mejor la ubicación y extensión óptimas de las medidas correctoras.

La comparación entre estudios reactivo (tradicional) y proactivo demostró que los datos de moto conectada permiten optimizar actuaciones, priorizar inversiones y avanzar hacia un modelo de PRE seguridad vial, facilitando las decisiones, el seguimiento continuo y una reducción potencial de accidentes en colectivos especialmente vulnerables con la posibilidad de escalarlo a redes de gran tamaño como la red estatal.

The emergence of connected vehicles has unlocked new possibilities for road safety by enabling the immediate and continuous analysis of real user behavior. Although most available data currently originate from passenger cars, the incorporation of connected inertial measurement units (IMUs) in motorcycles has made it possible to obtain accurate information on speeds, accelerations, and maneuvers performed by this particularly vulnerable user group.

This article examines an existing section of the national road network with a high presence of motorcyclists and compares the measures proposed through a traditional (reactive) study based on accident data with those derived from an innovative study using "connected motorcycle" data. These connected motorcycle datasets revealed a more severe scenario than suggested by traditional accident records: widespread speeding, hazardous overtaking, and opposite lane invasions even on curves with no reported accidents. The data enabled the identification of hidden risks, the anticipation of potential crashes (proactive methodology), and a more accurate definition of the optimal location and extent of corrective measures.

The comparison between reactive (traditional) and proactive approaches demonstrated that connected motorcycle data allow for the optimization of interventions, improved investment prioritization, and progress toward a PRE road safety model. This enables faster decision making, continuous monitoring, and a potential reduction in accidents among highly vulnerable users, with the added advantage of being scalable to large networks such as the national road system.

Prólogo

(Por Roberto Llamas Rubio, Jefe de la Unidad de Seguridad Vial de la DGC (MTMS). Presidente del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC))

Dentro del Comité de Seguridad Vial de la ATC se han establecido varios grupos de trabajo para analizar y debatir técnicamente diferentes temas relativos a la seguridad de la circulación de candente actualidad. Uno de éstos viene abordando las posibles aportaciones de las nuevas tecnologías e información facilitada por los vehículos conectados y/o autónomos.

Estamos inmersos en una época de continuo y rápido avance de las tecnologías y su aplicación a la cambiante movilidad para mejorar la seguridad de la circulación por las carreteras. Ello conlleva nuevas oportunidades, pero también novedosos retos que debemos ir superando para alcanzar una mo-

vilidad más segura y más sostenible.

Un campo de indudable esperanza para conseguir mejorar la circulación vial y alcanzar el deseado objetivo de la Visión Zero (cero muertes en accidentes de tráfico), planteado para el año 2050, es el del vehículo, con la perspectiva de la conducción autónoma y/o vehículo conectado. Y en este sentido, como paso previo o simultáneo, se encuentra el de la utilización de la información del *big data* proveniente de los vehículos conectados para complementar los estudios tradicionales de la accidentalidad y facilitar la determinación de las medidas de mejora más adecuadas y eficaces.

En este contexto se circunscribe el presente artículo elaborado sobre un tramo de la red estatal en Alicante donde hay una fuerte presencia de motociclistas basándose en un análisis de la información

recabada por la moto conectada. Ello ha permitido detectar situaciones problemáticas o de riesgo que con la metodología de análisis tradicional no había sido detectada y de esta forma, complementaria, se ha logrado optimizar las actuaciones correctivas necesarias para mejorar la seguridad de este colectivo de usuarios vulnerables.

En este artículo se reflejan y evidencian las posibilidades que aporta este nuevo enfoque proactivo aportado por los datos de los vehículos conectados (concretamente la motocicleta) en la detección de eventos de potenciales riesgos de accidentalidad y así poder definir y optimizar las propuestas de medidas de mejoras de la seguridad de la circulación. Además, los datos del vehículo conectado permiten monitorizar la eficacia de las medidas adoptadas desde el primer momento de su implantación.

Introducción

El mundo de la ingeniería civil centrada en la seguridad vial está en la actualidad inmerso en un florecimiento de posibilidades debidas a la salida al mercado, y evidentemente a las carreteras, de los vehículos conectados. Comenzando con la obligatoriedad del sistema e-call para los modelos homologados en la Unión Europea con posterioridad al 31 de marzo de 2018, los fabricantes de las marcas comenzaron a complementar sus nuevos diseños con una gran variedad de sensores (cámaras de alta definición, sistemas inteligentes de a bordo capaces de detectar señales, marcas viales e incluso pea-

tones, LIDARs, etc), llegando incluso a permitir la comunicación entre la infraestructura y los vehículos (vehículo conectado) y convertirse en un poderoso aliado de los gestores de la infraestructura a la hora de recoger datos y de su uso para la toma de decisiones. Esta infraestructura digital, permite disponer de un volumen sin precedentes de valiosos datos sobre el uso real de la carretera: patrones de conducción, velocidades, frenadas, maniobras bruscas o incluso condiciones ambientales.

Los titulares de las infraestructuras a lo largo de los años han depen-

do de los datos puntuales de los accidentes, suministrados a través de las bases de datos de los agentes de tráfico y consolidadas a través de la DGT para sus estudios de mejora de la seguridad vial. Este trabajo de consolidación de los datos de accidentalidad requiere de una minuciosidad que hace que los estudios se realicen con datos de accidentes, que han ocurrido hace meses e incluso años. Del mismo modo, los estudios de tramos de concentración de accidentes requieren de un periodo de tiempo dilatado de registros que hacen que cuando se detecta un tramo como conflictivo, las posibles circunstancias

llevan presentándose años y mientras los usuarios siguen circulando.

Anteriormente el lector ya ha podido atisbar varias de las ventajas del vehículo conectado: gran volumen de datos (miles y miles de vehículos, haciendo un cálculo rápido desde mayo 2018 hasta finales de 2024, se matricularon más de 9 o 10 millones de vehículos solo en turismos), datos de alto valor para estudios (frenazos, velocidad, coeficiente de fricción del pavimento en función de la potencia suministrada por el motor y la realmente obtenida, etc), datos continuos (24h/365 días) y finalmente, inmediatez en los datos.

Esto se convierte de manera evidente en el mejor complemento a la metodología testada por el Ministerio para el seguimiento y mejora de la seguridad vial de sus carreteras porque permite detectar posibles zonas problemáticas antes de que efectivamente se conviertan en un tramo posiblemente conflictivo, pudiendo adelantarse con actuaciones y evitar el coste social asociado a los accidentes¹. Permite a su vez, el seguimiento del comportamiento de los usuarios ante actuaciones (definitivas o temporales como soluciones al tráfico complejas), midiendo su eficacia y dilución en el tiempo. También permite tener registros del comportamiento de los usuarios en todo momento incluso cuando el técnico especialista no está en el campo o consultar el comportamiento en momentos pasados, siendo posible la consulta de operaciones salida, festivos, horas intempestivas de la noche, etc, sin comportamientos coartados de los usuarios (los cuales cambian normalmente su conducción cuando detectan técnicos en campo).

Esta metodología tradicional para la mejora de la seguridad vial de red estatal se ha venido acometiendo y ha logrado que el riesgo de sufrir un accidente en las carreteras estata-

les haya descendido en un 80,15% y el riesgo de fallecer en un 94,12% desde el año 1989², sin embargo, no es suficiente. Esto se vuelve aún más patente si se observa de cerca la evolución de los datos relativos al cumplimiento del objetivo europeo 2030³, donde la evolución no solo no avanza al ritmo que debería para cumplir con el objetivo, si no que se está produciendo un retroceso/estancamiento de los datos. Es por lo que la DGC, a la vanguardia de las nuevas tecnologías aplicables a la seguridad y siempre con el objetivo de evitar cada víctima en sus carreteras, hace uso de todas las herramientas a su alcance, incluyendo las más innovadoras como la tecnología embarcada en los vehículos y colaborando empresas líderes en suministro de datos de vehículo conectado⁴.

La ventaja definitiva del uso de datos de vehículo conectado radica no en cuando ya se ha detectado que hay un tramo conflictivo y se ha decidido actuar, sino en hasta dónde se debe actuar. Las restricciones presupuestarias son el caballo de batalla con las que tienen que lidiar todos los gestores de infraestructuras, incluida la DGC, que con el presupuesto que se le asigna, debe no solo mantener, si no mejorar la seguridad de sus carreteras día a día. Para ello, debe cerciorarse de que cada euro invertido en sus carreteras se invierte en el lugar correcto, en el momento correcto, y en la extensión correcta.

Quedémonos con ese último concepto de “extensión correcta” y mezclémoslo con el dato de que en el año 2024 el 85% de los fallecidos en la red estatal tuvieron como factor concurrente uno asociado al comportamiento de los usuarios y que en dichos casos, con la metodología tradicional sólo tenemos datos del punto exacto en el que un supuesto usuario reacciona una fracción de segundo más tarde que en otras ocasiones

que ha discurrido por dicho tramo y sufre un accidente, por ejemplo una salida de vía en una curva en un trazado sinuoso. La reacción lógica y evidente es que, actuando en dicha curva, se evitan futuros accidentes, pero yendo más allá surgen preguntas como ¿y si el usuario se salió en dicha curva, pero por su comportamiento inadecuado existía una alta probabilidad de salirse en las curvas anteriores?, ¿es la curva en la que estamos actuando porque ha habido un accidente la que tiene más potencial a accidentes, observando el comportamiento de los usuarios?, ¿estamos trasladando el problema a otro tramo al actuar sobre dicha curva, como por ejemplo a las curvas anteriores?.

En este caso los datos de vehículo conectado, hablando en un lenguaje coloquial nos permiten comprobar todos los tramos y periodos donde existen “más papeletas” para que se produzca un accidente y que las actuaciones tengan la extensión completa que reduzca al máximo la probabilidad de accidentes sin trasladar el problema de un punto a otro, maximizando la inversión y el potencial de mejora.

Estos vehículos conectados fundamentalmente son turismos, pero

¹ En el año 2024, la DGT mediante un estudio de la Universidad de Murcia estableció que el valor por evitar o prevenir un fallecimiento en un siniestro de tráfico es de 2 millones de euros, 354.630 euros el valor monetario de la víctima con lesiones graves y en 7.886 euros el de una víctima con lesiones leves

² En el año 1989 el riesgo de fallecer medido mediante el índice de peligrosidad era de 40,3 y el de fallecer medido mediante el índice de mortalidad era de 5,1. En el año 2024 estos índices son de 8,0 y 0,3 respectivamente.

³ Reducir en un 50 % las muertes respecto a las registradas en 2019 y reducir en un 50 % las lesiones graves, tomando como referencia las registradas en 2019.

⁴ Como Xouba, una de las líderes en datos de vehículo conectado en línea con su propósito “Data for safer roads” (<https://xouba.es/es/inicio/>)

Tabla 1. Fallecidos en las carreteras interurbanas españolas publicado por la DGT y en la red estatal. Fuente: DGT ¹⁰ y MTMS.									
	2016	2017	2018	2019	2020 ⁹	2021	2022	2023	2024
Fallecidos total España	1161	1198	1188	1101	874	1002	1148	1140	1154
Fallecidos motociclistas España	214	242	217	267	175	232	241	287	289
% Fallecidos motociclistas/total España	18,43%	20,20%	18,27%	24,25%	20,02%	23,15%	20,99%	25,18%	25,04%
Fallecidos total RCE	432	405	495	408	338	386	455	442	446
Fallecidos motociclistas RCE *	54	64	74	67	63	71	71	82	97
%Fallecidos motociclistas/total RCE	12,50%	15,80%	14,95%	16,42%	18,64%	18,39%	15,60%	18,55%	21,75%
% Fallecidos motociclistas RCE vs España	25,23%	26,45%	34,10%	25,09%	36,00%	30,60%	29,46%	28,57%	33,56%

* Total de fallecidos en accidentes contabilizados en la RCE donde haya estado implicada al menos una motocicleta.

existen otros usuarios en las carreteras españolas, algunos especialmente vulnerables como las motocicletas y ciclomotores, que normalmente no van equipados con toda cantidad de sensores, lo que a primera vista pudiera parecer que no es posible el uso de estos datos para los usuarios motorizados de dos ruedas.

El artículo pretende dar respuesta a las siguientes cuestiones ¿qué ocurre con las motocicletas, existe el concepto de motocicleta conectada?, ¿cómo pueden los gestores de las redes viarias aprovechar estos datos en beneficio de la sociedad para conseguir una reducción de la accidentalidad?, ¿cómo complementan estos datos a los estudios tradicionales basados en la accidentalidad registrada – modelo de seguridad vial predictiva?, ¿pueden estos datos discernir si la actuación propuesta se emplaza en la ubicación correcta y extensión necesaria o estamos trasladando el problema a otro tramo? y finalmente, ¿pueden ayudar estos datos a la toma de decisiones en escenarios de grandes redes y presupuestos limitados, es decir maximizar el potencial de mejora?.

Para responder a todas estas cuestiones se ha tomado una muestra de datos de “moto conectada” de la carretera convencional esta-

tal N-325 entre Novelda y Crevillente en la provincia de Alicante. Para esta carretera, la cual presenta una problemática de accidentalidad de este colectivo muy similar al global del resto de la red estatal se han aplicado metodologías tradicionales complementadas con datos de moto conectada para la disminución de la siniestralidad.

Problemática y tendencia motociclista

Desde el año 2016⁵, la red estatal de carreteras gestionada por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (MTMS) ha venido registrando un crecimiento progresivo del tráfico⁶ de alrededor de un 2 – 3%, llegando a alcanzar en el año 2024 un volumen de tráfico de 138.833 millones de vehículos-km, de los cuales un 1,73⁷% eran tráficos exclusivamente motociclistas. Este tráfico motociclista ha experimentado un crecimiento aun mayor que el sufrido por el tráfico total desde el año 2020, es decir, cada vez hay más de estos usuarios de dos ruedas.

A primera vista, no parece un volumen de tráfico significativo comparado con el total, sin embargo, al analizar estos datos en conjunto con

la siniestralidad de este colectivo, la visión del lector de la envergadura del problema puede llegar a cambiar. En la tabla 1 se puede comprobar que a pesar de suponer menos del 2% del volumen de tráfico estatal, en el año 2024, en el 21,75% de los accidentes donde falleció un usuario, al menos una motocicleta estaba implicada, porcentaje que como puede verse está en aumento, demostrando el empeoramiento de los datos, la vulnerabilidad de este colectivo y la necesidad de tomar medidas urgentes no solo en la red estatal⁸.

Analizando a continuación los tipos de accidentes y factores concu-

⁵ Primer año en tener en cuenta los resultados de la Encuesta 2014 por la que se comprobó que el tráfico de motos en fines de semana era del orden de 5 veces superior al de días laborables Fuente: Subdirección General de Explotación. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible

⁶ Exceptuando el periodo afectado por las restricciones a la movilidad por la pandemia de la COVID-19.

⁷ El año 2023 marcó un récord donde el % motociclista fue del 1,9% respecto al tráfico total en la RCE.

⁸ En la red estatal en el año 2024, se registraron casi un tercio de los usuarios motociclistas fallecidos.

⁹ Datos afectados por las restricciones a la movilidad pandemia COVID-19.

¹⁰ https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/dgt-encifras/24h/Informe-Siniestralidad_Cierre-2024_v10_FINAL.pdf

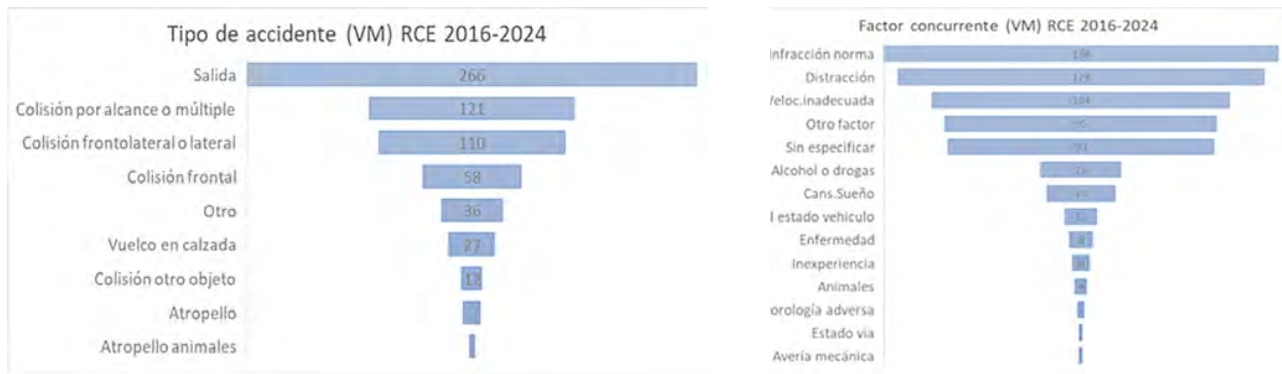


Figura 1. Estadísticas de accidentes y factores concurrentes accidentes con fallecidos donde hubo implicada al menos una motocicleta en la RCE, periodo 2016-2024. Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (MTMS).

rrerentes registrados en los partes estadísticos del sistema ARENA2 de la Dirección General de Tráfico (DGT), por un lado, se puede concluir que la salida de la vía junto con las colisiones (no frontales) suponen el 77,29% de los fallecidos de la RCE en el periodo 2016-2024 y por otro lado que más del 57% de los fallecidos fueron con causas de un comportamiento inadecuado o distraído de los usuarios.

Recomendamos al lector, prestar especial atención a las dos gráficas de la figura 1 puesto que dicha distribución de accidentes y de factores concurrentes le va a resultar bastante familiar cuando se analice más adelante la accidentalidad de cierto tramo de la red estatal alicantina.

A pesar de que en el periodo 2016-2024, menos del 30% de los fallecidos motoristas acontecieron en la red estatal, y de estos fallecidos y de que únicamente el 0,16%¹¹ tuvo como factor concurrente el mal

estado de la vía, es de asentado conocimiento de las administraciones de las infraestructuras, en especial del MTMS, que actuando sobre la infraestructura se pueden evitar y reducir las consecuencias de los accidentes en un porcentaje muchísimo mayor, ya que no solo se eliminan posibles tramos peligrosos sino que también se diseñan y realizan mejoras en las vías y sus márgenes para que sean “carreteras benignas” o “carreteras que perdonan” (concepto, básicamente, asociado a que determinados errores de los conductores no conlleven la ocurrencia de accidentes o al menos, de no evitarse, que las consecuencias de los mismos no sean muy lesivas) y se proyectan desde su concepción inicial “carreteras autoexplicativas” (un diseño vial claro y obvio para los usuarios y que de esta manera, los conductores comprendan las condiciones de la carretera y adaptando su conducción a las limitaciones del trazado por sí mismos).

El concepto “moto conectada” ¿qué es y cómo funciona?

En la actualidad la mayoría de las motocicletas no vienen equipadas de serie con la totalidad de los sensores que podrían aportar datos de interés para los gestores de la infraestructura y con la conectividad necesaria para transmitir estos paquetes de datos, sin embargo, sí es posible equipar estos vehículos con elementos que suplan esta carencia. Estos sistemas se basan en dispositivos denominados IMU, cuyas siglas provienen del término anglosajón «*Inertial Measurement Unit*», en castellano «Unidad de Medición Inercial», se trata de dispositivos que combinan acelerómetros y giroscopios permitiendo registrar la velocidad angular y aceleración de la motocicleta, junto con su posición en cada momento.

Este IMU de apenas 120 gramos determina la dinámica de la motocicleta a partir de tres ejes de rotación XYZ, que definen sus ángulos de inclinación y trayectoria¹² durante la

Ángulo	Eje	Movimiento	Interpretación en la moto
Roll	Eje X	Inclinación lateral	Giro en curva: positivo al inclinar hacia la derecha, negativo al inclinar a la izquierda
Pitch	Eje Y	Inclinación frontal/trasera	Positivo al levantar la rueda delantera, negativo al frenar o bajar la delantera
Yaw	Eje Z	Giro horizontal (orientación)	Cambios de dirección (virajes), normalmente correlacionado con el giro de la moto

Figura 2. Ilustración 2. Movimientos de la motocicleta (tabla). Fuente: Elaboración propia.

¹¹ 1 único fallecido en 2018 en la autovía A-7 P.K. 598.1 en la provincia de Murcia.

¹² La trayectoria y la velocidad a la que discurre se calcula en base a la posición GPS con respecto al momento en el que se arranca la moto y se restaura el IMU, momento en el cual los ejes marcan una posición o rotación igual a 0 grados todos ellos (roll, pitch y yaw) igual a 0).



Figura 3. Modelo cinemático de referencia para el análisis de comportamiento del motorista en la vía¹³. Fuente: <https://global.yamaha-motor.com/>

marcha. A su vez, estos dispositivos permiten analizar las aceleraciones lineales en los ejes X (lateral), Y (longitudinal) y Z (vertical), así como los movimientos angulares conocidos como *Roll* (inclinación lateral), *Pitch* (cabeceo) y *Yaw* (guiñada o giro horizontal).

A diferencia de otros vehículos, la motocicleta presenta una mayor sensibilidad a los elementos geométricos de la vía debido a su menor estabilidad estructural, necesidad de modificar la inclinación de esta para afrontar el trazado y al equilibrio dinámico constante que debe mantener el conductor, por lo que el número de transmisiones de paquetes de datos con la posición del IMU es más elevada que en el caso de los vehículos conectados tipo turismo. Concretamente se reciben por cada segundo 5 datos de telemetría.

Pero, realmente ¿cuál es el volumen de la muestra de moto conectada?

Estos dispositivos en general se instalan de manera voluntaria en el interior del carenado de las motocicletas, y tienen un coste aproximado de 200 euros (a lo cual hay que incluir la mano de obra de aproximadamente 60 euros), y posteriormente un coste de mantenimiento de los servicios anual que ronda los 50 euros, pero ¿qué ganan los propietarios de las motocicletas con este desembolso? La

respuesta se resume en tres pilares: seguridad ante el robo, sistema E-call que detecta accidentes y los comunica a los servicios de emergencia y seguimiento de rutas a través de la aplicación con estadísticas e información variada. La conjunción de estos tres aspectos hace muy atractiva la instalación de este dispositivo a pesar del coste, pero claramente, marca una segmentación manifiesta entre los usuarios de las motocicletas, en general los usuarios que se decantan por instalar este dispositivo son usuarios de motocicletas de gama media-alta, cuyo uso es deportivo/ocio (donde resultan de particular interés las estadísticas de viaje).

Como ejemplo podemos citar los datos suministrados por el concesionario oficial Yamaha “Moto Joker” situado en la localidad (de nivel adquisitivo medio-alto) de Las Rozas de Madrid en la cabecera de la zona motera de mayor atractivo de la Comunidad de Madrid, la Sierra de Guadarrama.

Este concesionario en octubre del año 2025¹⁴ había vendido un total de 275 motocicletas nuevas o de ocasión/km0 deportivas y urbanas las cuales tenían un coste medio cercano a 7.500 € + IVA. De todas estas ventas, una media de 10-12% de los compradores decidieron complementar sus nuevos vehículos con este dispositivo, aumentando el porcentaje en el caso de las motos deportivas. Puede observarse gracias a estos ratios que

a pesar de no abarcar la totalidad de los usuarios motociclistas que discurren por la red estatal, conforman una muestra muy representativa del perfil usuario en moto deportiva de ocio.

La carretera N-325 y su problemática. Datos tradicionales

La carretera convencional N-325 se ubica en la provincia de Alicante y conecta las poblaciones de Novelda, Aspe y Crevillente¹⁵. Esta vía tiene una importancia histórica significativa, ya que anteriormente funcionaba como enlace estratégico entre Alicante y Madrid al conectar con la carretera N-330 y con Murcia y Andalucía gracias a la conexión con la carretera N-340. Sin embargo, la conversión en la actual autovía A-31 de la carretera N-330 y la construcción de la autopista AP-7 han hecho que el tráfico actual de la carretera N-325 sea residual en especial en el tramo más montañoso (y más interesante para los usuarios motociclistas en busca de trazados curvos con fuertes aceleraciones y desaceleraciones) el cual cuenta con una IMD inferior a 2.000 veh/día¹⁶.

Se trata de un trazado atractivo para los usuarios amantes de la motocicleta por caracterizarse en la mayoría de su trazado por una sección 1+1, pendientes pronunciadas (como puede verse en el perfil de la

¹³ Visualización tridimensional de los ejes de movimiento de una motocicleta. El eje longitudinal (Roll), transversal (Pitch) y vertical (Yaw) permiten analizar las maniobras del vehículo en curva, frenada y cambio de dirección, respectivamente.

¹⁴ A fecha de 8 de octubre de 2025.

¹⁵ Siendo el tramo de actual titularidad de la RCE el ubicado entre el P.K. 3+789 (sur de Novelda) y el P.K. 20+150 (intersección con carretera N-340 al este de Crevillente).

¹⁶ Según los datos de los aforos publicados por la DGC <https://www.transportes.gob.es/carreteras/nuestra-red/movilidad/mapas-traffic> IMD total 2023=1877 veh. Diarios, IMD ligeros 2023=1756 veh.

ilustración) con concatenaciones de curvas de radio reducido típicas de carretera de montaña, espaciadas por tramos rectos que permiten adelantar y ganar velocidad.

Esto, unido al bajo tráfico de la carretera, la proximidad a grandes núcleos de población como Alicante y Elche y a la cultura de la motocicleta de la zona, existiendo incluso un premio internacional en el T.M. de Crevillente, junto con un clima benigno, hacen que se den las condiciones de contorno perfectas para el análisis mediante datos de moto conectada.

Para analizar si estas condiciones de contorno se corresponden con los datos de accidentalidad que cabría esperar se toma el periodo de accidentalidad más reciente, comprendido entre el 2019 y 2024¹⁷, durante el cual se han producido un total de 32 accidentes con víctimas donde hubo implicados al menos una motocicleta (28 ACV) o un ciclomotor (4 ACV) registrando un total de 39 víctimas (5 fallecidos todos motociclistas, 5 heridos graves y 29 heridos leves).

Surge en este punto la primera duda, ¿esta carretera es “peligrosa” por sus características intrínsecas (curvas, pendientes, peraltes, condición del firme, etc) para los motociclistas, o también para el resto de los usuarios?, cruzando los datos de la accidentalidad del resto de los vehículos con datos de IMD de cada tipología de vehículo para dicho periodo 2019-2024 nos dan el dato de que a pesar de que circulan un 1442% más turistas que motocicletas y ciclomotores, se accidentan solo un 68,75% más de turistas que de motocicletas y ciclomotores, respondiendo a la pregunta. Por otro lado, en el 100% de los casos donde hubo fallecidos, estuvo implicada una motocicleta y de manera similar con los heridos graves donde 5 de los 6 accidentes donde hubo heridos

graves estuvo implicada una motocicleta o un ciclomotor.

En cuanto a la distribución mensual, la mayor concentración coincide con los meses de primavera y otoño (épocas favoritas de los motociclistas) y en menor medida, debido al benigno clima de la provincia de Alicante, también los meses de invierno y evidentemente también

agosto por ser el mes más popular para las vacaciones veraniegas.

Analizamos a continuación según el tipo de día para poder ver si es posible correlacionar esta accidentalidad con el usuario de “ocio o fin de semana” o se trata de otro

¹⁷ En la gráfica anual se puede observar la incidencia el año con restricciones a la movilidad 2020.



Figura 4. Vista general de la ubicación de la carretera N-325 en la Provincia de Alicante. El trazado actual de la carretera N-325 coincide (curvas, rectas, clotoides, etc) con el original salvo en el tramo afectado por la construcción del embalse de Crevillente y la circunvalación de Aspe. Fuente: Elaboración propia con Qgis y servicios WMS de Google.

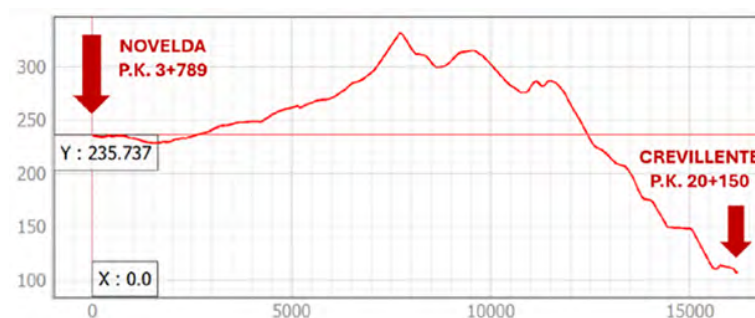


Figura 5. Perfil longitudinal carretera N-325. Fuente: Elaboración propia con Qgis y MDT de libre descarga del IGN.



Figura 6. Distribución anual de los accidentes 2019-2024 (datos 2020 afectados por restricciones a la movilidad por pandemia). Fuente: Elaboración propia con datos del MTMS.

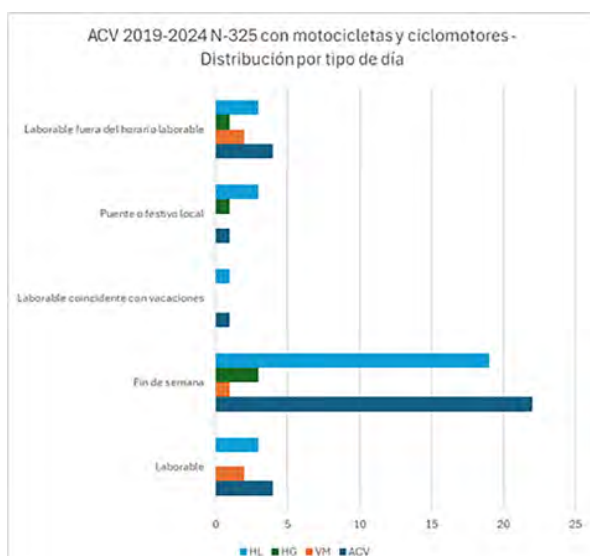


Figura 7. Distribución ACV y víctimas 2019-2024 por tipo de día y horario. Fuente: Elaboración propia con datos del MTMS.

tipo de movimientos. Los datos a primera vista muestran que el 31% de los ACV fueron en días laborables un dato que desdibuja que se trate de usuarios de ocio, pero estudiemos esos días en detalle: uno coincidió con días el cual gran parte de la población solicita como “vacaciones” en este caso nochevieja (1 ACV), otro coincidió con un puente de la provincia de Alicante (1 ACV) y otros a pesar de ser en días laborables eran fuera del horario “más usual” laborable (4 ACV con 2 VM), quedando la distribución indicada en la figura 7 y que se puede resumir en que más del 87% de los ACV fueron en horario y/o días no laborables.

Atendiendo a los tipos de accidentes y factores concurrentes (recordar se recomendó al lector tener en mente la distribución de accidentes de motociclistas por tipo de accidente y factores concurrentes de la red estatal) destacan en gran medida las salidas de vía y las colisiones laterales y frontolaterales (que suman el total de fallecidos). Del mismo modo destacan los factores concurrentes asociados al mal comportamiento de los usuarios al discurrir por la vía: infracciones, velocidad inadecuada y conducción distraída. Estos datos son casi una copia perfecta del global de los ACV con motocicletas implicadas en el total de la RCE analizado en el apartado de la pro-

blemática motociclista, convirtiendo a la carretera N-325 en el mejor tramo para poner a prueba los datos de moto conectada.

Atendiendo al resto de circunstancias recogidas en los partes estadísticos se añaden para satisfacer la curiosidad del lector, las siguientes pinceladas: circulan más en sentido norte de la carretera, se accidentan más en las curvas, en pleno día, con buen tiempo y siempre con la calzada seca y limpia (siendo estos 3 últimos datos los que conforman un día perfecto para el apasionado motero).

Todo lo anterior, llevó a que, teniendo en cuenta los datos de accidentalidad del quinquenio 2019-2023, el tramo comprendido entre los PP.KK. 12+000 y 13+800 fue identificado como Tramo de Concentración de Accidentes con implicación de Motociclistas (TCAM)¹⁸ y señalado mediante carteles específicos. El seguimiento de este TCAM demostró que en el año 2024 la accidentalidad media no estaba descendiendo y el número de fallecidos estaba en aumento, claro síntoma de la necesidad de actuaciones no solo reactivas, también una oportunidad para avanzar hacia una seguridad vial innovadora y proactiva en la carretera N-325 como modelo para exportar al

¹⁸ https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/nota-tca-motos-web.pdf

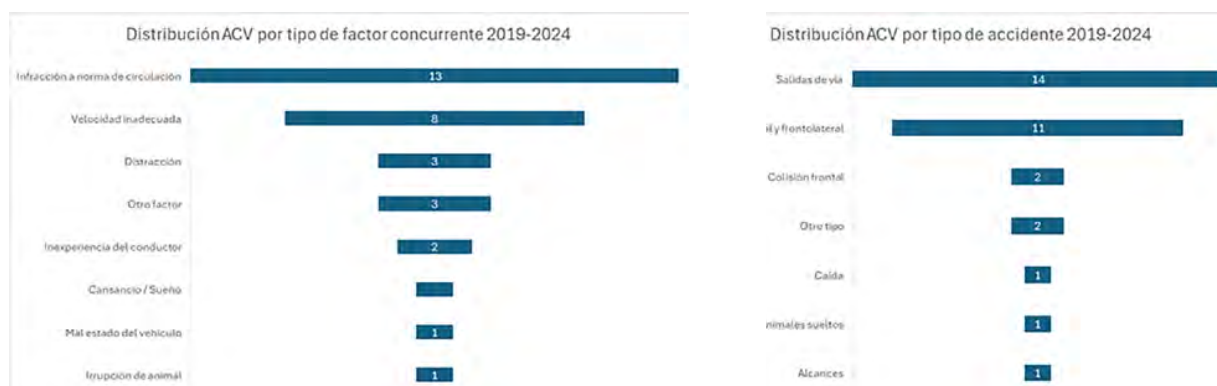


Figura 8. Distribuciones de los ACV y víctimas 2019-2024 por factor concurrente y tipo de accidente. Fuente: Elaboración propia con datos del MTMS.

resto de la red estatal centrado en los usuarios motociclistas.

Motos conectadas en la carretera N-325

Teniendo en cuenta que los meses de mayor accidentalidad registrada en la carretera N-325 fueron abril y mayo, se tomó una muestra de datos de moto conectada de recorridos entre el 09/04/2025 a las 14:00 h y el 15/07/2025 a las 13:59 h, resultando 93 recorridos que se corresponden con más 29.900 envíos de datos de los IMU, completamente anónimos ²⁰. La consistencia de los datos permitida por la señal GPS y de cobertura de la red móvil permitió tener una fiabilidad de los datos suficiente como para continuar con el estudio.

El análisis preliminar de los datos registrados mostró que la situación era más grave de lo esperado, es decir, los comportamientos de los usuarios se alejaban en exceso de lo adecuado para una conducción segura, veamos algunos ejemplos:

- Sistemático incumplimiento de la velocidad máxima permitida, en general el percentil 85 se situaba en un valor que era un 47% superior a la velocidad máxima limitada y un 66% superior que la velocidad máxima recomendada de la vía. La telemetría llega a registrar velocidades punta de 203 km/h en

un tramo recto con velocidad recomendada de 80 km/h y máxima de 90 km/h, es decir un 125% superior a la velocidad máxima permitida. Esto se agrava en el tramo donde la sección se amplía, con una configuración 2+1 (por el carril adicional de vehículos lentos), donde los usuarios llegan a discurrir a más de un 150% por encima de la velocidad máxima permitida.

- Se detectaron adelantamientos temerarios, es decir, usuarios que, al adelantar, requirieron de realizar inclinaciones (Roll) excesivas en poca distancia registrando valores absolutos de 36 grados (al pasar de -13° a $+23^{\circ}$) en 34 metros de recorrido. A dicha velocidad supone menos de 1,2 segundos para realizar la maniobra (un roll seguro deber mantenerse entre $\pm 10^{\circ}$ a $\pm 15^{\circ}$ en media) ¹⁹.

- Incluso posibles adelantamientos en tramos donde no se permitía dicha maniobra, por ejemplo, el realizado en un punto con velocidad máxima limitada a 60 km/h y recomendada a 40 km donde en un tramo de 55 metros antes de una curva, un usuario adelanta a 104 km/h requiriendo de inclinaciones laterales del vehículo superiores a 20 grados, invadiendo el sentido contrario, sin existir visibilidad debido a la curva cercana.

En este punto comienza a ser evidente que los datos de los vehículos conectados y, en este caso, de moto

¹⁹ “Motorcycle Dynamics” – Vittore Cossalter (uno de los textos de referencia mundial en dinámica de motos) y estudios de comportamiento de motoristas con sensores inerciales usados en proyectos europeos como SAFERIDER, iHeERO o Connected Motorcycle Consortium.

²⁰ Todos estos datos fueron tratados de forma anonimizada y agregada. Los proveedores de datos aplican mecanismos técnicos y organizativos orientados a impedir la identificación directa o indirecta de los usuarios, de los titulares de las motocicletas o de trayectos atribuibles a una persona concreta. Por tanto, el análisis realizado no se basa en el seguimiento individual de motoristas, sino en patrones de comportamiento vial observados sobre el tramo: velocidades, aceleraciones, inclinaciones, maniobras y localización aproximada de eventos relevantes para la seguridad vial.

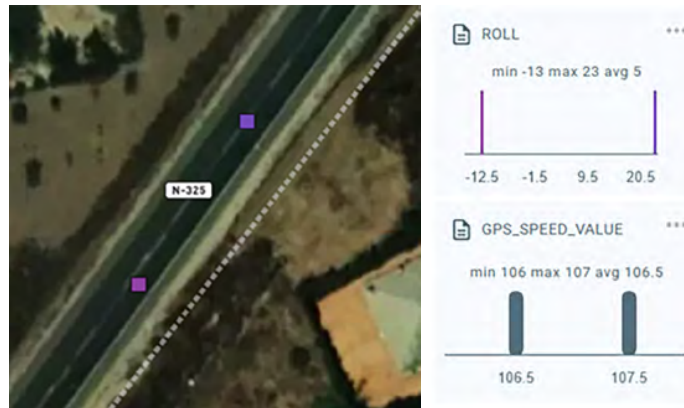


Figura 9. Ejemplo del potencial para comprobar adelantamientos inadecuados o temerarios de los datos de moto conectada. Recorrido ID 1547. Fuente: Datos de moto conectada a través de visor multiparámetro xyzi.

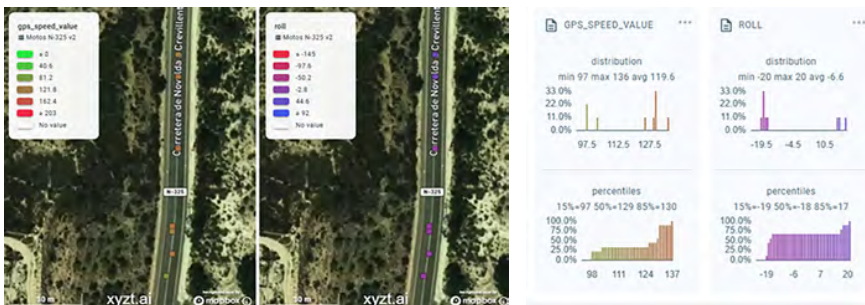


Figura 10. Tramo con adelantamiento no permitido que registra adelantamientos con los datos de moto conectada. Fuente: Datos de moto conectada a través de visor multiparámetro xyzi.

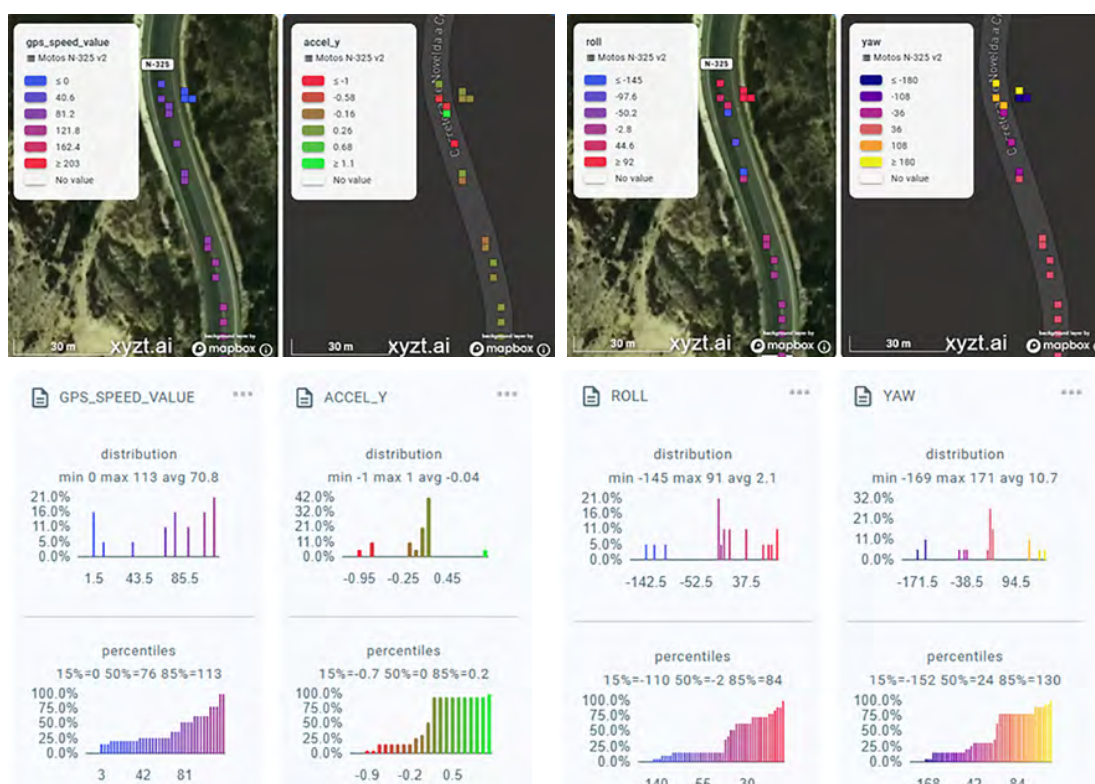


Figura 11. Datos de la moto conectada del recorrido 1245 del 25 de mayo de 2025 en el punto del accidente y previo. Fuente: Datos de moto conectada a través de visor multiparámetro xyzi.

conectada, permiten al gestor de la infraestructura prever futuras situaciones de riesgo mediante la evaluación de comportamientos inseguros y adelantarse mediante la implementación de medidas preventivas.

- Muestra de la proactividad de los datos recibidos, además de la detección de tramos con comportamientos inadecuados, donde a pesar de no tener accidentes registrados históricamente, la probabilidad de ocurrencia debido al comportamiento es muy elevada, se pudieron incluso detectar, meses antes de que la DGT consolide los accidentes del tramo, accidentes como el ocurrido el 25 de mayo de 2025 a las 17:31²¹, donde un motociclista sufrió una caída mientras discurría con una conducción temeraria en sentido Novelda.

El motociclista afronta una consecución de dos curvas (en S) a mano contraria (curvas de radio 81 metros y 69 metros respectivamente

te que cuentan con señales de velocidad recomendada de 40 km/h y máxima de 60 km/h), a 103 km/h la primera de ellas y viéndose cerca de la pérdida de control reduce hasta los 89 km/h en un espacio de apenas 43 metros. Esta reducción de velocidad se realiza en un punto límite crítico en el que el motociclista debe cambiar la inclinación (de un roll negativo por ser curva hacia la izquierda a un roll positivo por ser la siguiente curva hacia la derecha) de la motocicleta para poder afrontar la contracurva, que unido a la fuerte deceleración provoca la caída, girando la moto 180 grados friccionando sobre el pavimento quedando finalmente detenida en eje de la carretera, y posteriormente trasladada de manera manual a la berma.

- Se pudo comprobar que las condiciones dinámicas al discurrir por las curvas eran incompatibles con una trazada segura dentro del carril, es decir se producía la invasión

del sentido contrario por parte del conjunto de cuerpo y motocicleta. En la curva del P.K. 15+150 de 76 metros de radio (limitada a 40 km/h), el 38% de los usuarios de moto conectada que discurrían sentido Novelda alcanzaron valores de roll medios de 30 grados a 70 km/h. Veamos una imagen de ejemplo de dicha curva en un video de un usuario en el canal YouTube. (Figura 12)



Figura 12. Captura de YouTube del usuario "Moterolowcost" donde se aprecia la invasión del sentido contrario por parte de la motocicleta que le precede en la curva del P.K. 15+150. Fuente: YouTube del usuario "Moterolowcost".

²¹ La ocurrencia de este suceso fue corroborada por la Unidad de Carreteras del Estado en Alicante en la visita realizada al tramo en septiembre de 2025.

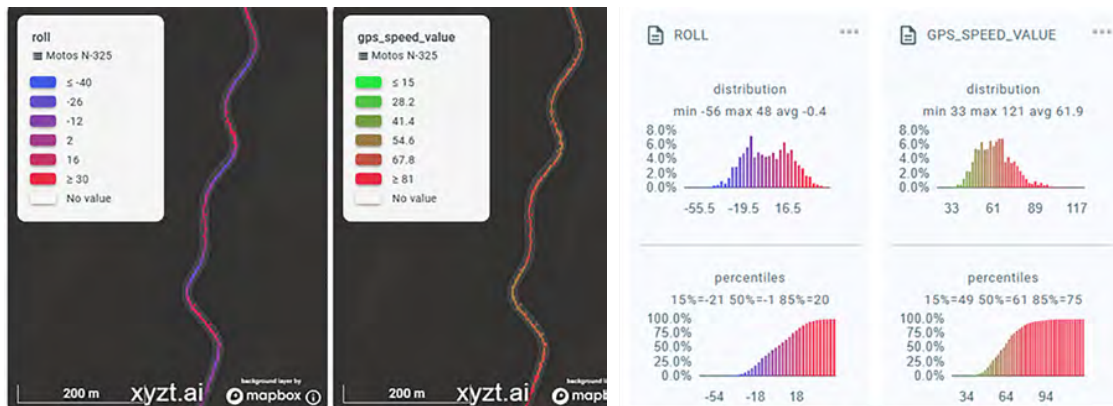


Figura 13. Datos de la moto conectada concatenación curvas entre P.K. 15+900 y 16+450. Fuente: Datos de moto conectada a través de visor multiparámetro xyzi.

Este comportamiento es aún más notorio en uno de los tramos de la carretera N-325 favoritos de los motociclistas, en este caso, la consecución de 7 curvas enlazadas de radios entre 35 y 89 metros, ubicada entre los P.K. 15+900 y 16+450. Se demuestra nuevamente la necesidad de implementar medidas que ayuden al motociclista a discurrir por la trazada segura de las curvas²².

En este punto, se comienza a atisbar el enorme potencial de identificación de tramos con comportamientos inadecuados como, por ejemplo, estas curvas donde los motociclistas llevan al límite el espacio de su carril invadiendo el contrario a la hora de analizar extensiones grandes de redes viarias, demostrando que en apenas segundos y con la simple aplicación de unos pocos filtros a los datos, se pueden analizar redes muy extensas

tanto en kilómetros como en dispersión geográfica.

- Los datos de la moto conectada incluso permitieron conocer el estado de adherencia del pavimento²³, demostrando unos buenos datos de rozamiento y generando un exceso de confianza en los usuarios motociclistas habituales, los cuales se aventuran a conducciones al límite de la adherencia neumático-pavimento más propias de un circuito cerrado que de una carretera abierta al tráfico. Ejemplo de ello puede ser el usuario 537, el cual consigue sin sufrir un accidente, discurrir por una curva de radio 17 metros a 32,5 km/h con un roll de 53 grados, como ya hemos comentado, digno de competición, pero nada recomendable desde el punto de vista de la seguridad vial.

Comparativa entre actuaciones tradicionales/reactivas y actuaciones proactivas. Optimización de actuaciones

A modo didáctico y para poder tener una comparativa, previo a la recepción de los datos de moto conectada se realizó un estudio de los accidentes registrados junto con una visita a campo para la realización de una propuesta valorada de medidas ubicadas en plano, es decir un estudio tradicionalmente reactivo. Posteriormente, tras el análisis de los datos de

²² Por ejemplo, la marca vial M-8.4 incluida en el catálogo del Ministerio en el Real Decreto 465/2025, de 10 de junio.

²³ Este dato fue posteriormente corroborado por la Unidad de Carreteras del Estado en Alicante que confirmó los buenos datos de las auscultaciones de CRT de la carretera N-325.



Figura 14. Velocidades y roll en curva de radio 17 metros del usuario 537. Fuente: Datos de moto conectada a través de visor multiparámetro xyzi.

motocicleta conectada, se realizó el mismo estudio, pero atendiendo a los comportamientos no coartados de los usuarios y registrado por los sistemas IMU embarcados en sus motocicletas conectadas. Veamos a continuación un análisis comparativo de las conclusiones obtenidas por el equipo auditor en primera instancia y posteriormente con los datos de moto conectada.

El primer aspecto que fue confirmado por los datos de la moto conectada fue el sentido predominante de los recorridos de los usuarios motociclistas, fieles a sus preferencias en cuanto al sentido en que recorren sus rutas. Los datos de accidentalidad mostraron que el sentido preferente era el descendente (desde Crevillente hacia Novelda) y los datos de moto conectada lo confirmaron. A su vez resultó curioso observar el comportamiento en los extremos del tramo, donde el sentido que “finaliza” el recorrido y por lo tanto también la diversión, lleva una conducción más relajada, mientras que esos mismos usuarios cuando iniciaron el recorrido en el otro extremo, desde los primeros metros afrontaban la carretera con una conducción más deportiva (incluso en el tramo inicial urbano de 3 km coartado por glorietas donde la V85 del sentido que iniciaba el recorrido era un 20% superior al sentido contrario que, lo finalizaba).

Otro aspecto confirmado fue la preferencia en cuanto a paradas a realizar en la ruta. La mayor concentración espacial de accidentes se ubicaba en el entorno del acceso a un establecimiento de restauración de temática motera. Los datos confirmaron el importante foco de atracción en la ruta que suponía este establecimiento y la necesidad de reordenar los accesos al establecimiento.

La primera diferencia radica en que el estudio tradicional estimaba como no necesarias las actuaciones en el tramo inicial entre el P.K. 3+789

y el P.K. 9+800 debido a que el número de accidentes registrado no era elevado, las lesividades bajas y se trataba en general de accidentes por no respetar la prioridad, cansancio o distracciones en el entorno de las calzadas giratorias. La comparativa entre estudios sí permitió corroborar que efectivamente en el tramo inicial más urbano con sección multicarril y rectas con glorietas intercaladas cada 300 metros aproximadamente, no eran necesarias medidas adicionales debido a que el “mal comportamiento” de los usuarios motociclistas se veía limitado por la existencia de las calzadas anulares tan próximas, los datos demostraron lo que ya se temía, son usuarios habituales de la carretera, conocen perfectamente el trazado y la poca distancia entre algunas glorietas por lo que no aceleran en exceso y tienen una conducción más relajada, sin embargo, los datos de moto conectada permitieron demostrar que estos usuarios, conocedores de la distribución de glorietas y de cuáles están espaciadas más distancia (alrededor de 800 metros o más) aprovechan para ganar velocidad comenzando a registrarse aceleraciones en el eje Y negativas mucho más acusadas que las de una conducción relajada (deceleraciones o frenazos) al llegar a la siguiente glorieta, confirmando la necesidad de instalar Bandas Transver-

sales de Alerta previo a la glorieta en este tramo más largo y la necesidad de reubicar las señales R-301 de velocidad máxima.

Otro aspecto que confirmaron los datos de moto conectada es el momento o punto del trazado donde los usuarios cambian su conducción a un modo totalmente deportivo, proponiendo medidas el estudio tradicional tanto para los usuarios del sentido creciente como del decreciente mediante señalización vertical, sin embargo, el punto en el que se ubicó en el estudio tradicional esta medida, en el sentido creciente (bifurcación de la carretera CV-84 en base a los datos de accidentalidad registrados) era posterior al tramo donde verdaderamente su modo de conducción cambia a un modo deportivo detectándose velocidades muy por encima de lo permitido, aceleraciones excesivas y adelantamientos temerarios, de manera que el efecto disuasorio se produciría en un punto donde ya han tenido un comportamiento antirreglamentario durante casi 2 kilómetros.

Otra de las actuaciones propuestas desde un inicio, y ejecutadas por la Unidad de Carreteras del Estado en Alicante finalizadas en marzo de 2026 es la implantación de la marca vial de guiado de la trazada motociclista M-8.4. Esta marca vial tiene



Figura 15. Registros de los sistemas IMU en el entorno del establecimiento de restauración. Fuente: Datos de moto conectada a través de visor multi-parámetro xyzi.

como objeto el guiar u orientar a los motociclistas para que realicen una trazada segura evitando colisiones frontales que, debido a su vulnerabilidad, suelen tener un resultado mortal. Los datos de moto conectada confirmaron la necesidad de estas marcas viales por registrarse combinaciones de velocidad y ángulos de inclinación (roll) incompatibles con la no invasión del sentido contrario coincidiendo la mayoría de ellos con curvas con accidentes registrados. Sin embargo, se detectaron curvas que, no registrando accidentalidad y no siendo de radios tan reducidos (y evidentes por trazado para la implantación de esta marca vial), eran también potenciales escenarios para nuevos accidentes por comportamientos temerarios, mucho más que otras curvas que por tener radios más reducidos pudieran parecer más factibles para este tipo de marcas viales.

Otra de las medidas propuestas, a realizar en colaboración con la DGT, era la de instalar un radar de tramo. Este radar de tramo se recomendó su ubicación en el estudio tradicional cubriendo el tramo donde se iniciaba el registro de más accidentes por exceso de velocidad, sin embargo, los datos de moto conectada demostraron que, a pesar de ser una medida beneficiosa, el tramo donde más se excede la velocidad requeriría de ubi-

car el tramo del radar de manera sensiblemente diferente.

Otro aspecto difícil de discernir mediante los estudios tradicionales, son los posibles tramos de adelantamientos, bien temerarios (en tramos con adelantamiento permitido) o en tramos donde no se permite este adelantamiento. La identificación de estos tramos es muy dependiente en primer lugar de las descripciones de las circunstancias del accidente del parte estadístico (que no suele exceder de 3 líneas de texto) y segundo lugar de la visita de campo, la cual, en este caso, debería coincidir con el momento de mayor accidentalidad (en este caso meses de primavera, buen tiempo, festivo, en horas de la mañana y con calzada seca). Por un lado, las administraciones muchas veces no pueden permitirse el lujo de esperar meses a que se dé la conjunción perfecta de circunstancias, debido a que está en juego la seguridad de todos los usuarios de la vía. Por otro lado, y en esto coincidirán muchos de los especialistas y técnicos que salen a la carretera, el comportamiento de los usuarios cambia en el momento que detectan su presencia debido a los EPIs que portan. Los datos de moto conectada facilitan este tipo de análisis hasta tal extremo que se vuelve, con apenas unos pocos filtros, muy sencillo ubicar tramos donde se producen adelanta-

mientos temerarios o antirreglamentarios ayudando en la carretera N-325 a ubicar tramos donde es necesario reforzar el no adelantamiento.

Por último, reseñar que entre finales del año 2025 y primer trimestre del año 2026 se han acometido algunas medidas de mejora derivadas de este tipo de análisis en la carretera N-325, las cuales se monitorizarán de manera continuada con los datos de la moto conectada para determinar su eficacia.

Conclusiones

La posibilidad del uso de datos de vehículo conectado no se circunscribe a vehículos con decenas de sensores embarcados, también es posible el uso de estos datos para los usuarios motorizados de dos ruedas más vulnerables que, suponiendo menos del 2% del tráfico estatal, representan más del 20% de los fallecidos estando esta cifra en aumento.

Uno de los aspectos clave del uso de datos de moto conectada, es la inmediatez. Los estudios tradicionales requieren de tiempo para la obtención de los registros de accidentes mientras que estos datos permiten su análisis prácticamente desde el momento en el que se implanta una medida y evidentemente facilita el seguimiento de la modificación del comportamiento de los usuarios con inmediatez. Entra en juego el concepto de PRE-seguridad vial, la capacidad de adelantarse a la ocurrencia de ciertos sucesos y de evitar muertes, lesiones innecesarias y el coste asociado a las mismas.

Otro de los aspectos clave del uso de los datos de moto conectada es que ha permitido corroborar que, a pesar de que, durante muchos años, algunas administraciones públicas y privadas han realizado manuales o catálogos de circunstancias con las

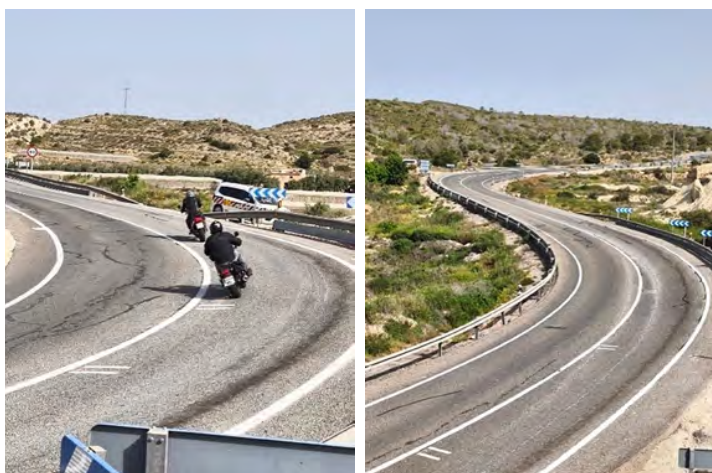


Figura 16. Marcas viales ejecutadas en la N-325 en el mes de marzo 2026. Fuente: Unidad de Carreteras del Estado en Alicante.

soluciones a un problema tasado, la realidad es más compleja. La conjunción de una serie de parámetros de trazado, señalización, balizamiento, etc... no siempre tienen el mismo resultado desde el punto de vista del comportamiento de los usuarios y de la accidentalidad esperada, por lo que la aplicación de medidas "estándar" a tramos similares no es la solución idónea desde un punto de vista de optimización de recursos.

Esto abre un nuevo camino de posibilidades en los tramos donde las administraciones quieren implantar actuaciones en base a un potencial de mejora relacionado con una reducción de accidentes. Incluir el análisis de estos datos de vehículo conectado como una doble comprobación, aporta una priorización de las actuaciones en base al comportamiento de los usuarios que más diverge de la seguridad, optimizando los recursos.

Es cierto que el análisis de estos datos requiere, en especial los de moto conectada en base a sistemas IMU embarcados, un conocimiento asentado del significado de los parámetros, aceleraciones y de los valores de ambas, sin embargo, el potencial de análisis de redes muy dispersas y/o extensas, con tráficos completamente diferentes en fechas y volumen, se vuelve una tarea sencilla con la posibilidad de tener un seguimiento continuo y medible de las mismas.

El trabajo realizado por las administraciones gestoras de las redes viarias españolas en los últimos años es notorio y las cifran lo confirman; la seguridad vial no es negociable y se encuentra en el ADN de los profesionales de la carretera, desde el proyecto hasta su mantenimiento; sin embargo, los datos de la accidentalidad muestran un estancamiento del cumplimiento del objetivo 2030 (a menos de 5 años de dicho horizonte), no solo como país, también a nivel del conjunto europeo. En un contexto de

limitaciones presupuestarias, a pesar del esfuerzo inversor en las carreteras que crece cada día, resulta imperativo el uso de todas herramientas innovadoras para optimizar el potencial de mejora de la inversión.

El análisis de las propuestas tradicionales y con el modelo innovador de moto conectada demostró que la experiencia de los auditores y especialistas es acertada y las medidas adecuadas, pero que es posible una mayor optimización en base a pequeños ajustes de las medidas de manera que con la misma inversión (o incluso menor) se maximice el potencial de mejora y se abarque la totalidad de los usuarios y sus comportamientos a lo largo de un citado tramo o red viaria, permitiendo un posterior seguimiento continuo e inmediato. Lo anterior se traduce en carreteras más seguras, soluciones específicas, donde es necesario, ahorrando tanto en inversión inicial como en el posterior mantenimiento de los elementos instalados, inmediatez en la toma de decisiones, monitorización continua y la capacidad de adelantarse a eventos futuros, evitando los accidentes del mañana y su coste.

Bibliografía:

- [1] Informe del Observatorio Nacional de Seguridad Vial publicado en el año 2024, realizado por la Universidad de Murcia, en el que se tasa el valor económico que tiene la vida humana y el evitar un accidente de tráfico (<https://www.dgt.es/comunicacion/notas-de-prensa/2-millones-de-euros-es-el-valor-estimado-por-evitar-o-prevenir-un-fallecimiento-en-siniestro-de-trafico/>)
- [2] Evolución y estudios de accidentes en la RCE – Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (<https://www.transportes.gob.es/carreteras/nuestra-red/seguridad-vial/evolucion-estudios-accidentes-rce/>)
- [3] Estrategia de Seguridad Vial 2030 – DGT (<https://seguridadvial2030.dgt.es/inicio/>)
- [4] Subdirección General de Explotación. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible - Encuesta 2014.
- [5] Informe de siniestralidad mortal en vías interurbanas, año 2024 – DGT (https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/nota_prensa/2024-record-historico-desplazamientos-carretera-mientras-se-estabiliza-el-numero-de-fallecidos-en-siniestros-de-trafico/INF_CIERRE_2024_v10_FINAL.pdf)
- [6] Mapas de tráfico – Publicación anual con el tráfico RCE desde 1960 8 <https://www.transportes.gob.es/carreteras/nuestra-red/movilidad/mapas-trafico/serie-historica-mapas>)
- [7] Nota publicada en web Ministerio - TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES CON IMPLICACIÓN DE MOTOCICLISTAS (TCAM) EN LA RCE (https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/nota-tca-motos-web.pdf)
- [8] Motorcycle Dynamics – Vittore Cossalter - Technical book for the engineer, student, or technically/mathematically inclined motorcycle enthusiast.
- [9] Real Decreto 465/2025, de 10 de junio, por el que se modifica el Reglamento General de Circulación, aprobado por Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, en materia de señalización de tráfico 8 (<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2025-12199>). ❖

Notas de visionado



Jesús J. Rubio Alférez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Las notas de lectura de esta revista siempre han supuesto descubrir un libro interesante. Revisando en internet algunos de los artículos, hay uno de Sandro Rocci, en el que decía que uno de los mejores libros sobre Ingeniería de Tráfico que había leído no lo había escrito un Ingeniero de Caminos, ni un profesor universitario, sino un periodista norteamericano: Tom Vanderbilt. Es un buen ejemplo y una oportunidad para recordar con cariño a Sandro, pero los tiempos han cambiado y ahora los descubrimientos dignos de ser compartidos se encuentran muchas veces en la web. Por eso es muy conveniente compartir lo interesante que podamos encontrar en la red, en la que est n produciéndose permanentemente innovaciones, pero inabarcables.



En muchas de esas páginas prevalece la imagen sobre el texto y por eso titulamos hoy esta nota como de visionado. Según el Diccionario de la lengua española, visionar significa examinar técnica o críticamente productos audiovisuales y esa es la propuesta que traemos hoy aquí, con la expectativa de que se produzcan aportaciones en este sentido, de sitios en los cuales la protagonista sea la carretera, como en el primer caso que traemos a colación: "Photographing Roads and Lanes" <https://www.youtube.com/watch?v=x1ENwOaZsPo>

Lo recomendamos no solo por la técnica, sino principalmente por el ritmo de la explicación, y la mirada de un profesional que indica cómo se fija en los elementos relevantes: la luz o su ausencia, un muro de ladrillo, un coche. La manera de expresarse recuerda el concepto japonés de Shibumi: momento en el cual un artista alcanza la madurez, la austeridad en su arte, la simplicidad en la ejecución, y todo eso le lleva a la maestría.



La segunda nota de visionado es: "Iconic movie scenes involving roads". <https://hi-way.co.uk>.



Ese título sugerente ofrece un primer ejemplo de cómo una carretera (y cuando se trata de la Route 66, no es una carretera cualquiera), puede ser la referencia de una comunidad.

La segunda escena icónica presenta una calle que se dobla sobre sí misma y, hay que reconocer que ver una calle o carretera en vertical no es nada convencional, incluso en el género de ciencia ficción.



La tercera escena seleccionada convierte la observación del cambio de las luces de un semáforo en una escena romántica.



Y en la última se afirma que "Donde vamos a ir no necesitamos carreteras"



Seguro que estas, lector, no son tus preferidas, pero si estas cuatro imágenes han hecho que te acuerdes de alguna escena que te parece mucho más interesante que las citadas en este blog, hemos cumplido el objetivo. Lo que sería estupendo es que nos mandases esos pensamientos por escrito para incluirlos en estas notas de visionado y rememorar secuencias cinematográficas notables de carreteras.

Cerramos estas notas con una de lectura, en la que el título habla por sí solo: La N – 260 en España, el secreto mejor guardado: <https://www.ultimatedrives.net/blog/spains-best-kept-secret-a-luxury-guide-to-the-n-260/>.



Dan ganas de dejar de leer y marcharse unos días a disfrutar de esos paisajes tan cercanos y tan distantes al mismo tiempo. ❖

Grupo de Trabajo para elaboración de la “Guía para la caracterización ambiental del árido reciclado en aplicaciones de carretera”

El uso de los áridos reciclados en la construcción de carreteras requiere, al igual que los áridos naturales, el cumplimiento de una serie de requisitos técnicos, debiéndose garantizar también que su uso no afecta al medio ambiente.

Aunque todavía hay que seguir trabajando para precisar algunos aspectos específicos relativos al uso de los áridos reciclados, en la parte técnica se cuenta, en general, con especificaciones claras respecto a los parámetros que se deben exigir. Sin embargo, en la parte ambiental existe un cierto vacío en relación con los requisitos que se deben solicitar. Esta dificultad supone una primera barrera que lastra de manera importante el uso de los áridos reci-

clados, aspecto clave en una economía circular.

A nivel nacional, la Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular, abre la posibilidad de desarrollar criterios autonómicos para determinar el Fin de la Condición de Residuo (FCR). Sin embargo, la limitación territorial del alcance y la aplicación (o no aplicación) de criterios de forma no homogénea por parte de los órganos ambientales autonómicos está generando una situación que dificulta el uso de los áridos reciclados.

A nivel europeo, el JRC (Joint Research Centre) está trabajando en la propuesta de criterios de FCR para los áridos procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD), que está todavía pen-

diente de concretar. Por otro lado, el nuevo Reglamento de Productos de Construcción (2024/3110) fija como requisitos básicos en las obras de construcción y como características esenciales de carácter horizontal, para los áridos como producto de construcción, la lixiviación de sustancias peligrosas a suelos y aguas, y determina la metodología que deben seguir los Comités Técnicos de Producto para evaluar estas características esenciales en las normas armonizadas de producto. En el futuro, los fabricantes podrán declarar información sobre la lixiviación de sustancias peligrosas, como una más de las prestaciones para la comercialización de los áridos.

Adicionalmente a este contexto normativo incierto, la realidad es



que existe un volumen importante de RCD al que es necesario y urgente dar una alternativa técnica y ambiental, ya que de otra manera acabarán en vertedero, con el coste ambiental que esto supone.

En concreto, en estos momentos se da la circunstancia de que las administraciones de carreteras cuentan con muchos kilómetros de sus redes que requieren o van a requerir a corto y medio plazo, importantes actuaciones de conservación y mantenimiento, lo que generará una gran cantidad de residuos procedentes del fresado de mezclas bituminosas. Este material puede ser útil tanto en la fabricación de nuevas mezclas bituminosas como en otras aplicaciones de carreteras. Sin embargo, ese potencial uso en carreteras se ve

dificultado, en primera instancia, por la falta de criterios ambientales anteriormente mencionada.

Por todo ello, urge avanzar en la definición de un conjunto de guías que establezcan criterios claros, tanto desde el punto de vista ambiental como técnico, que permitan el uso de los áridos reciclados, precisando cómo y dónde se pueden utilizar.

En este contexto, se ha creado un Grupo de Trabajo (GT) para desarrollar una metodología para la caracterización ambiental de los áridos reciclados, proponiendo una serie de criterios basados en la evaluación (lixiviación) de las sustancias peligrosas presentes en los áridos reciclados, en función de su uso previsto. Esta iniciativa, que ha sido impulsada por el Centro de

Estudios del Transporte del CEDEX (CET-CEDEX), tiene el apoyo del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y cuenta con la participación de distintas administraciones de carreteras, entre ellas la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, empresas, centros tecnológicos y de investigación, universidades y asociaciones sectoriales.

El objetivo de la Guía es avanzar en la circularización del sector de la construcción, por medio de la armonización de criterios ambientales relativos al uso de los áridos reciclados como primer paso para facilitar su uso en carreteras. ❖

El XXII Premio Nacional ACEX reconoce la innovación tecnológica al servicio de la seguridad en conservación de carreteras



La Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX) entregó el pasado 10 de junio, en Madrid, los galardones de la XXII edición del Premio Nacional ACEX a la Seguridad en Conservación, un reconocimiento ya consolidado en el sector que distingue iniciativas orientadas a mejorar la seguridad laboral y vial.

El acto contó con la participación de representantes de las administraciones, instituciones y empresas del sector, entre ellos Rocío Báguena (Ministerio de Transportes), Juan José Arriola (DGT), Pedro Fernández Alén (CNC), Natalia Quintana (Comunidad de Madrid) y Federico Soria, presidente de ACEX. Durante su intervención,

Soria destacó la importancia de la innovación y la incorporación de nuevas tecnologías para reforzar la seguridad de trabajadores y usuarios de las carreteras.

En la categoría de empresas asociadas, el Premio Jesús Valdecantos fue concedido a SAFETYPAV, desarrollado por Pavasal. El proyecto consiste en un sistema basado en inteligencia artificial y visión artificial avanzada capaz de detectar situaciones de riesgo entre operarios y maquinaria de pavimentación, generando alertas preventivas e incluso actuando directamente sobre la maquinaria para evitar accidentes. Por su parte, el premio en la categoría general recayó en el proyecto de

Inspección Autónoma de Carreteras, desarrollado conjuntamente por SERVEO y ASIMOB. La herramienta utiliza inteligencia artificial para identificar riesgos potenciales en la red viaria mediante el análisis automatizado de múltiples fuentes de datos, facilitando una gestión predictiva de la conservación y contribuyendo a mejorar la seguridad tanto de los usuarios como de los equipos de mantenimiento.

Una edición más, estos galardones han puesto de manifiesto el compromiso del sector con la innovación y la mejora continua de la seguridad en las actividades de conservación y explotación de carreteras.

Mención Honorífica Luis Antona para Pablo Sáez Villar

La Junta Directiva de ACEX otorgó la Mención Honorífica Luis Antona a Pablo Sáez Villar en reconocimiento a una trayectoria profesional estrechamente ligada al desarrollo de la conservación de carreteras en España.

Sáez desempeñó durante 17 años el cargo de director general de la asociación y posteriormente ejerció como presidente desde 2008 hasta su jubilación en 2025, liderando una etapa de consolidación institucional y fortalecimiento del sector. Durante este periodo impulsó una visión estratégica orientada a reforzar el reconocimiento de la conservación viaria como servicio público esencial, promoviendo la innovación tecnológica, la seguridad, la eficiencia operativa y la sostenibilidad.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Cantabria y natural de Santo Domingo de la Calzada (La Rioja), se ha caracterizado por fomentar la colaboración entre administraciones, universidades, medios de comunicación y asociaciones del sector. Bajo su presidencia, ACEX consolidó su papel como interlocutor de referencia ante las administraciones públicas y reforzó su compromiso con la innovación y la mejora continua.

Con anterioridad, Sáez ocupó responsabilidades directivas en COLLOSA y Construcciones Sarrión. Además, cuenta con la Medalla de Honor de la Carretera con Mención Honorífica y es Socio de Mérito y Socio de Honor de la Asociación Técnica de Carreteras.

El galardón le fue entregado por Rocío Báguena, secretaria general de Transporte Terrestre; Juan José Arriola, de la DGT; y Natalia Quintana, directora general de Carreteras de la Comunidad de Madrid.

Con esta distinción, la asociación reconoce una trayectoria marcada por el compromiso con la mejora continua



de las carreteras españolas y por la defensa de un modelo de gestión sostenible, seguro y eficiente de las infraestructuras públicas.

“La promoción de la cultura de la conservación, la defensa de los intereses legítimos de los asociados, el impulso de la mejora de la seguridad laboral de los operarios y la petición de unas inversiones que garanticen el mantenimiento y la seguridad de los usuarios y el valor patrimonial de nuestras carreteras, han sido las líneas maestras a las que he dedicado los 17 años de mi vida profesional en esta asociación”.

“Estos años han dado para haber acertado en algunas ocasiones y haber fallado en otras muchas. A quien califique mi paso por esta asociación como positivo, agradeceré, y a quien opine que se podía haber avanzado aún más en los objetivos que acabo de citar, pues decirle que seguramente tiene razón, pero ahí aparecen mis limitaciones y mis aptitudes; de lo que espero que nadie tenga ninguna duda es de mi actitud”.

“En aquellos primeros años en Acex, la situación era muy distinta a la actual. Baste un ejemplo. Hacia 2009 o 2010, en esa apertura cíclica del sector de conservación en España, del por entonces Ministerio de Obras Públicas, se adjudicó un contrato de conservación a una empresa que se presentó en solitario a la licitación. Al poco de la firma del contrato recibí una llamada de un representante de esa empresa que quería mantener una reunión conmigo para valorar su posible incorporación en la asociación. Las primeras palabras que dijo el día que nos reunimos marcaron el resto de la reunión: “nosotros somos conserveros de toda la vida”, como ya me conocéis “soy de mecha corta” mi respuesta fue demoledora: “¡cómo que conserveros, será conservadores, conserveros son las personas que tienen por oficio hacer conservas o que saben hacerlas, nosotros nos dedicamos a conservar y mantener las carreteras no a hacer conservas!”. Como corolario, y como os podéis imaginar, esa empresa no fue nunca socio de ACEX y no renovó el contrato de conservación.” ❖

La movilidad inteligente consolida su madurez: interoperabilidad, datos y seguridad marcan el rumbo del 26º Congreso ITS España



El 26º Congreso Español de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS España), celebrado del 24 al 26 de marzo de 2026 en el Instituto de la Ingeniería de España, reunió a administraciones, operadores, empresas tecnológicas y centros de investigación para analizar los avances y retos de la movilidad inteligente. Durante tres jornadas quedó patente la madurez

alcanzada por el sector y su evolución hacia modelos basados en la interoperabilidad, la gestión del dato y la integración de servicios.

La sesión inaugural contó con representantes del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, la Comunidad de Madrid, el Servei Català de Trànsit, el Gobierno Vasco, el Ayuntamiento de Madrid e ITS

España. Todos ellos coincidieron en señalar que España se encuentra en un momento clave para consolidar un ecosistema de movilidad alineado con las estrategias europeas de digitalización y sostenibilidad, situando la interoperabilidad, la calidad del dato y la seguridad entre las principales prioridades.

El programa técnico se estructuró en 16 sesiones dedicadas a infraestructuras inteligentes, movilidad autónoma y conectada, movilidad eléctrica, gestión del tráfico, ciudades inteligentes, espacios de datos, ticketing y transporte público. Las sesiones estuvieron presididas por destacados representantes de administraciones públicas, operadores y empresas del sector, reforzando el carácter multidisciplinar del encuentro.

Uno de los ejes centrales del congreso fue la evolución de los sistemas de ticketing hacia modelos interoperables y centrados en el usuario. Especial atención recibió la implantación del sistema EMV Express en la red de autobuses interurbanos de Madrid, presentada por el Consorcio Regional de Transportes de Madrid y GMV. El proyecto demostró que es posible desplegar sistemas de pago abiertos e interoperables en redes complejas con múltiples operadores.

Asimismo, diversas ponencias abordaron el desarrollo del modelo Account Based Ticketing (ABT), considerado una de las principales tendencias del sector. Los expertos destacaron sus ventajas en términos de flexibilidad y experiencia de usuario, aunque también señalaron desafíos relacionados con la conectividad, la latencia y los sistemas de compensación. La utilización de códigos QR y la virtualización de tarjetas completaron el panorama de soluciones analizadas.

La interoperabilidad fue el concepto transversal del congreso. Diversos ponentes coincidieron en que el futuro de la movilidad depende de la capacidad de compartir información de forma segura y eficiente entre administraciones, operadores y proveedores de servicios. En este ámbito destacaron las experiencias presentadas por Mobility

Lab Vitoria-Gasteiz, que mostró un espacio de datos federado alineado con los estándares europeos, y por el Puerto de Huelva, cuya plataforma de intercambio de datos aplicada a la logística multimodal fue posteriormente reconocida en los Premios ITS España.

También se puso de relieve que la interoperabilidad solo genera valor cuando los datos son fiables y de calidad. En este sentido, varias intervenciones incidieron en la necesidad de establecer modelos sólidos de gobernanza y control de la información para garantizar la eficacia de los nuevos servicios digitales.

La seguridad constituyó otro de los pilares del encuentro. GMV presentó un sistema de monitorización embarcada basado en inteligencia artificial capaz de detectar distracciones, somnolencia o fatiga mediante la combinación de cámaras, radar y algoritmos avanzados. Estas herramientas permiten evolucionar hacia modelos de gestión preventiva del riesgo, integrando la información obtenida con los sistemas de gestión de flotas y las estrategias de seguridad vial.

La movilidad en entornos rurales también tuvo presencia destacada gracias a proyectos como las paradas inteligentes de Aragón, presentadas por COMSA Industrial. La iniciativa integra información en tiempo real, conectividad y servicios de transporte a demanda, demostrando cómo la digitalización puede contribuir a mejorar la accesibilidad y reducir las desigualdades territoriales.

Durante el congreso se celebró la entrega de los Premios ITS España 2026, que reconocieron al Consorcio Regional de Transportes de Madrid por el despliegue de EMV Express; al Puerto de Huelva por su espacio de datos de transporte;

a Benito Bermejo, del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, por su trayectoria profesional; a Mobilsafe por su innovación aplicada a los Certificados de Ahorro Energético; y al proyecto Bus-VAO Dinámico de la A-2 por su modelo de gobernanza compartida entre distintas administraciones.

La clausura puso de manifiesto la fortaleza del ecosistema español de los Sistemas Inteligentes de Transporte y el papel de ITS España como punto de encuentro entre administraciones, operadores, empresas tecnológicas y centros de conocimiento. Los participantes coincidieron en que la movilidad inteligente solo puede construirse desde la colaboración, la interoperabilidad y una visión compartida del futuro.

Las conclusiones fueron claras: la digitalización ya no es una aspiración, sino una realidad en plena implantación. La interoperabilidad, la explotación eficiente de los datos y la cooperación entre todos los actores del sistema serán los elementos que determinarán el éxito de la movilidad del futuro. En este escenario, España dispone de la experiencia, el conocimiento y la capacidad de innovación necesarios para continuar desempeñando un papel de referencia en el ámbito europeo de los Sistemas Inteligentes de Transporte..❖



Gijón 25, 26 y 27 de mayo de 2026

La Asociación Técnica de Carreteras (ATC), en colaboración con el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, la Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias y el Principado de Asturias, organizó entre los días 25, 26 y 27 de mayo de 2026 las Jornadas de Firms 2026, celebradas en el Palacio de Congresos de Gijón bajo el lema “Eficiencia, conocimiento y sostenibilidad para las carreteras del futuro”.

El encuentro reunió a cerca de 370 asistentes procedentes de administraciones públicas, empresas constructoras, ingenierías, laboratorios, fabricantes, centros tecnológicos y universidades, consolidándose como uno de los principales foros nacionales de intercambio de conocimiento en materia de firms.

Las jornadas fueron concebidas como un espacio de reflexión técnica sobre los principales desafíos que afrontan actualmente las infraestructuras viarias, abordando cuestiones relacionadas con la innovación, la sostenibilidad, el control de calidad, la reutilización de materiales, la evolución normativa, la gestión de activos y la digitalización. Todo ello desde una perspectiva eminentemente práctica, basada en experiencias reales de proyecto, construcción, conservación y explotación.

La celebración coincidió además con el 50 aniversario de la puesta en servicio de la denominada “Y” asturiana, infraestructura emblemática de la red viaria española que sirvió como hilo conductor de varias de las sesiones técnicas y de la visita organizada durante las jornadas.

Inauguración y conferencia inaugural

La inauguración contó con la participación de representantes del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, de la Asociación Técnica de Carreteras, del Principado de Asturias y del Ayuntamiento de Gijón.

Durante las intervenciones institucionales se destacó el papel fundamental que desempeñan los firms dentro del sistema viario, así como la necesidad de continuar avanzando hacia infraestructuras más resilientes, eficientes y sostenibles, capaces de responder a las nuevas exigencias derivadas de la evolución del tráfico, la disponibilidad de recursos y los objetivos ambientales.

La conferencia inaugural, impartida por Alberto Bardesi, estuvo dedicada a las innovaciones en firms

orientadas a mejorar tanto su resiliencia como su comportamiento ambiental. A lo largo de su intervención se analizaron distintas líneas de desarrollo actualmente en marcha, vinculadas a la mejora de materiales, la reducción de emisiones asociadas al ciclo de vida de los pavimentos y la adaptación de las infraestructuras a fenómenos climáticos cada vez más frecuentes e intensos.

La ponencia sirvió para introducir muchos de los temas que posteriormente serían abordados durante las distintas sesiones del programa.

Sesión 1: Programa EFAPAVES.

La primera sesión estuvo dedicada íntegramente al Programa EFAPAVES, iniciativa impulsada por la Dirección General de Carreteras.

Valverde Jiménez presentó el Programa EFAPAVES, repasando su origen, los objetivos que motivaron su puesta en marcha y el proceso seguido para su definición y desarrollo. Durante la ponencia se analizaron los principales retos afrontados durante el diseño del programa, concebido como una herramienta para evaluar en condiciones reales de servicio nuevas soluciones de pavimentación sostenible. Finalizó su ponencia presentando las primeras conclusiones obtenidas a partir de la aplicación de distintas tecnologías innovadoras, el seguimiento posterior de los tramos concluyendo que el futuro de los firmes pasa por alcanzar un equilibrio adecuado entre los criterios técnicos, económicos y ambientales, integrando sostenibilidad y durabilidad como elementos inseparables en la toma de decisiones y en el diseño de las carreteras del futuro.

Posteriormente, Mireya Muñoz expuso el papel desempeñado por la Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias como dirección de



Las Jornadas fueron inauguradas por Álvaro Navareño, Guzmán Castro, Gilberto Villoria y Mireya Muñoz



Alberto Bardesi en la conferencia inaugural

obra de dos de los tramos del programa EFAPAVES, mencionando las ventajas e inconvenientes del modo de contratación, las características de cada tramo, la solución aplicada y algunas de las dificultades que se encontraron en las obras.

Por su parte, Jordi Barril abordó la labor desarrollada por la asistencia técnica, describiendo la metodología de seguimiento implantada, resaltando la importancia de la coordinación entre todos los agentes participantes para garantizar la correcta puesta en obra de soluciones innovadoras que, en muchos casos, se aplicaban por

primera vez en la Red de Carreteras del Estado.

Finalmente, Rocío García, como contratista de los dos lotes de EFAPAVES en Asturias, explicó los principales retos encontrados durante la ejecución de las obras, resaltando la importancia de la adaptación de las plantas asfálticas para garantizar la correcta puesta en obra de soluciones innovadoras.

La sesión concluyó con una mesa redonda coordinada por Antonio Muruais en la que participaron Álvaro Celada, Mireya Muñoz, Anna París,

Roberto Inés, Pablo Álvarez y Rocío García. Esta permitió profundizar en las lecciones aprendidas durante las distintas fases del programa desde el punto de vista de cada uno de los participantes.

Segunda sesión: El control de calidad en las obras de firmes

La segunda sesión se centró en una cuestión que apareció de forma recurrente a lo largo de todas las jornadas: la necesidad de adaptar los sistemas de control de calidad a un contexto de creciente innovación tecnológica.

La primera ponencia corrió a cargo de María Sánchez, quien presentó los avances desarrollados en materia de ensayos para el diseño y control de mezclas bituminosas.

La ponente explicó cómo la evolución hacia especificaciones cada vez más prestacionales está obligando a incorporar nuevos procedimientos de ensayo capaces de caracterizar con mayor precisión el comportamiento real de los materiales frente a fenómenos como la fatiga o la fisuración.

Posteriormente, Jesús Felipe, coordinador del Grupo de Trabajo de Mezclas Bituminosas del Comité de Firms, expuso los trabajos desarrollados por dicho grupo y las principales líneas de investigación actualmente en marcha.

La tercera ponencia fue impartida por Fernando Sánchez, quien abordó los nuevos sistemas de auscultación y monitorización de pavimentos.

Durante su exposición se presentaron diferentes tecnologías capaces de proporcionar información continua sobre el estado funcional y estructural de los firmes, permitiendo mejorar la toma de decisiones y optimizar las estrategias de conservación.



Mesa Redonda de la primera sesión moderada por Antonio Muruais



Segunda sesión de las Jornadas presidida por Javier Payán

La sesión concluyó con la intervención de Ignacio Nieto, centrada en el papel de las asistencias técnicas, especialmente en un contexto donde las actuaciones incorporan soluciones cada vez más complejas y tecnológicamente avanzadas, actualizando los sistemas tradicionales de control.

Durante la mesa redonda posterior, bajo el título “El control de calidad ante el reto de la innovación”, presidida por Javier Payán se debatió ampliamente sobre la necesidad de adaptar los sistemas de control a una realidad cada vez más comple-

ja, en la que la sostenibilidad y la innovación deben ir acompañadas de procedimientos rigurosos que permitan garantizar la calidad y durabilidad de las soluciones adoptadas, así como de la colaboración entre todos los agentes implicados.

Sesión 3: Comunicaciones libres I

Esta sesión presidida por Ángel Sampedro estuvo centrada en las nuevas tecnologías y tendencias emergente, mostrando el dinamismo que caracteriza actualmente al sector de los firmes.



Sesión 4 de los Grupos de Trabajo del comité de Firms de la ATC



Quinta sesión de las Jornadas presidida por Juan José Potti

Sesión 4: Conocimiento compartido: Estado de los trabajos del comité de firms

El segundo día comenzó con una mesa redonda dedicada al estado de los trabajos desarrollados por los diferentes grupos de trabajo del Comité Técnico de Firms de la ATC.

Los coordinadores de los distintos grupos expusieron los avances alcanzados en materias como análisis del ciclo de vida, los geosintéticos, los materiales tratados con cemento, las mezclas a baja temperatura, los aditivos y la ingeniería de firms.

La sesión sirvió también para reconocer el trabajo realizado por cientos de profesionales que, de manera desinteresada, participan activamente en la elaboración de documentos y artículos técnicos y recomendaciones que posteriormente sirven de referencia para todo el sector.

Sesión 5: La reutilización de firms ante los nuevos marcos normativos y ambientales

La reutilización de materiales constituyó uno de los grandes temas de debate de las jornadas.

La importancia de esta temática quedó patente desde el inicio de la sesión. Los objetivos de descarbonización, la necesidad de optimizar recursos y las nuevas exigencias normativas están impulsando un cambio profundo en la forma de entender los materiales procedentes de las operaciones de rehabilitación.

La primera ponencia, presentada por Mar Subarroca, presentó el trabajo que está elaborando el grupo de trabajo 2 del Comité de Firms de la ATC, analizando la situación actual

Las distintas presentaciones abordaron cuestiones tan diversas como los ensayos de adherencia entre capas, la aplicación de técnicas de visión artificial para la caracterización de mezclas asfálticas, el comportamiento reológico de betunes rejuvenecidos o los ensayos acelerados sobre mezclas con elevados contenidos de material reciclado.

También se presentaron experiencias relacionadas con la utilización de inteligencia artificial en la gestión de firms, herramientas de análisis ambiental del ciclo de vida

y nuevas aplicaciones de los datos procedentes de vehículos conectados para la evaluación continua de parámetros funcionales como la fricción.

Estas primeras comunicaciones pusieron de manifiesto la creciente convergencia entre la ingeniería tradicional de firms y disciplinas emergentes vinculadas al tratamiento masivo de datos, la digitalización y la sostenibilidad.

El día culminó con una visita cultural desde la Plaza del Marqués desde donde se recorrió el entorno marítimo de la ciudad de Gijón.

de la gestión del material fresado en España y las oportunidades existentes para incrementar su reutilización.

A continuación intervino Raquel Gómez, representante del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, quien expuso la visión de la administración ambiental respecto a la gestión de estos materiales. Su intervención despertó un notable interés entre los asistentes, ya que abordó aspectos regulatorios que condicionan directamente la reutilización del material fresado. Durante la exposición se analizaron las implicaciones derivadas de la consideración administrativa de determinados materiales y los mecanismos existentes para favorecer su valorización.

Posteriormente, María Elena Hidalgo presentó las diferentes adaptaciones que se pueden llevar a cabo a las plantas de fabricación para responder a los nuevos requerimientos asociados a la reutilización de materiales.

La ponente mostró diversos ejemplos de instalaciones mostrando las diferentes limitaciones de cada uno de los sistemas y la posibilidad de aumentar la capacidad de incorporación de material reciclado.

La mesa redonda posterior presidida por Juan José Potti, bajo el título: "Reutilización de firmes: del residuo al recurso" profundizó en esta cuestión, poniendo de manifiesto que el sector dispone actualmente del conocimiento necesario para incrementar significativamente los porcentajes de reutilización, siendo necesario avanzar hacia modelos de gestión más ágiles y coherentes con los principios de economía circular. Se unieron a la mesa Paula Pastor, Nuria Uguet y María González.

La idea de considerar el material fresado como un recurso estratégico, y no como un residuo, estuvo presente de forma recurrente a lo largo

de toda la sesión. En este sentido, la intervención de la representante del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico resultó especialmente relevante, ya que permitió aclarar diversos aspectos regulatorios que actualmente condicionan la reutilización de estos materiales.

Durante el debate se puso de manifiesto la necesidad de avanzar hacia un marco normativo más claro y homogéneo que facilite su valorización y favorezca una mayor implantación de los principios de economía circular. Asimismo, se destacó que la Unión Europea está trabajando en distintas iniciativas orientadas a armonizar criterios y simplificar el tratamiento administrativo de estos materiales, lo que previsiblemente contribuirá a despejar algunas de las incertidumbres existentes y a facilitar un mayor aprovechamiento del material fresado en los próximos años.

Sesión 6: Los pavimentos de hormigón

La sexta sesión estuvo dedicada a los pavimentos de hormigón y a la conmemoración del 50 aniversario de la Y asturiana.

La primera ponencia llevada a cabo por Ignacio García-Arango repasó la génesis de la Y asturiana y los condicionantes técnicos que llevaron a adoptar las soluciones finalmente ejecutadas. Se recordó el contexto económico y tecnológico existente durante la década de 1970, así como la relevancia que tuvo esta actuación para Asturias.

Posteriormente, Javier Uriarte presentó una detallada revisión de los trabajos de explotación y conservación desarrollados durante las últimas cinco décadas.

Su intervención puso de manifiesto que la durabilidad observada en numerosos tramos constituye uno de

los mejores indicadores del comportamiento de los pavimentos cuando son adecuadamente diseñados, ejecutados y mantenidos.

La tercera ponencia, a cargo de César Bartolomé, abordó la sostenibilidad de los pavimentos de hormigón desde una perspectiva de ciclo de vida.

El ponente destacó que la evaluación ambiental de una infraestructura debe considerar no sólo las emisiones iniciales asociadas a su construcción, sino también las etapas dedicadas al mantenimiento, rehabilitación y explotación.

La sesión concluyó con la intervención de Rafael Rueda, quien analizó distintos aspectos relacionados con el diseño y ejecución de materiales tratados con cemento, aportando ejemplos prácticos y recomendaciones derivadas de experiencias recientes, ponencia de gran interés debido a la elevada presencia de firmes semirrígidos en la red viaria española, sobre los cuales resulta cada vez más necesario profundizar en el conocimiento de su comportamiento a largo plazo, los mecanismos de deterioro asociados a su envejecimiento y las estrategias más adecuadas para su conservación, rehabilitación y gestión.

A la mesa redonda posterior se unieron Alejandro Ortegon y Ángel Sampedro. Esta mesa permitió profundizar en uno de los grandes temas del congreso: la relación entre sostenibilidad y durabilidad.

Los participantes coincidieron en señalar que la sostenibilidad no puede evaluarse exclusivamente mediante indicadores asociados a la construcción inicial de una infraestructura, sino que la capacidad de una solución para prestar servicio durante largos periodos de tiempo con necesidades mínimas de conservación es de gran importancia, así



La sesión 6 estuvo dedicada a los pavimentos de hormigón



Sesión 8 presidida por Valverde Jiménez, ponente general de la Jornadas

en obra de firms mixtos.

Las comunicaciones confirmaron una tendencia observada a lo largo de todas las jornadas: la innovación ya no se limita a ámbitos experimentales o académicos, sino que está comenzando a incorporarse de forma progresiva a la práctica habitual de proyectos y obras.

El día finalizó con la posterior visita técnica a la Y asturiana donde se conocieron algunas de las actuaciones más recientes desarrolladas en ella, incluyendo las obras de ampliación del tercer carril, bajo una magnífica explicación técnica durante el recorrido que puso en valor cada kilómetro de la autovía.

Ese mismo día, tuvo lugar la cena oficial de las jornadas, que reunió a todos los asistentes para disfrutar de una amplia selección de platos representativos de la gastronomía asturiana en un entorno inmejorable.

Sesión 8: La nueva normativa de firms

La última jornada comenzó con una sesión dedicada a la normativa de firms.

La sesión fue presidida por Valverde Jiménez, que abrió la jornada con una ponencia dedicada a los trabajos desarrollados para la elaboración de la "NT 1/2026 sobre la degradación de los firms de carretera. Catálogo de deterioros de firms. Inspección y auscultación de los firms", una nueva herramienta destinada a mejorar la caracterización del estado de los pavimentos mediante la definición de criterios homogéneos de identificación y clasificación de deterioros que actualiza el catálogo de deterioros del año 1989.

A continuación, José Manuel Blanco presentó los avances relativos a la futura actualización de

como la disponibilidad presupuestaria disponible en cada momento o el modo de gestión de la infraestructura viaria.

En este sentido, la experiencia acumulada en la Y asturiana fue presentada como un ejemplo especialmente ilustrativo.

Sesión 7. Comunicaciones libres II

La segunda sesión de comunicaciones libres estuvo presidida por Patricia Amo. En esta sesión se volvió a poner de manifiesto la elevada ca-

pacidad innovadora existente en el sector de los firms.

Las distintas comunicaciones presentaron una temática más técnica, abordando experiencias relacionadas con mezclas bituminosas sostenibles del programa EFAPAVES, técnicas avanzadas de rehabilitación para pavimentos de hormigón, desafíos y aprendizajes en la aplicación de mezclas templadas, trabajos relacionados con la incorporación de material reciclado, mezclas bituminosas para la gestión del agua de lluvia, materiales valorizables y aspectos importantes del diseño y puesta

la Norma 6.1-IC de Secciones de Firme, uno de los documentos de referencia más relevantes para el dimensionamiento de firmes en España. La ponencia permitió conocer tanto los antecedentes de esta normativa, como las principales líneas de trabajo que están guiando la redacción del nuevo texto normativo.

Durante la exposición se abordaron aspectos clave como la caracterización y previsión del tráfico, los criterios de formación de explanadas, el diseño de las distintas secciones de firme, la consideración de diferentes escenarios de conservación, la incorporación del cálculo de la huella de carbono y el desarrollo de procedimientos de cálculo analítico. Todo ello con el objetivo de adaptar la normativa a los importantes avances técnicos y científicos producidos en las últimas décadas, así como a las nuevas exigencias en materia de sostenibilidad, durabilidad, economía circular y optimización de recursos.

Posteriormente intervino Raquel Martínez, quien expuso las implicaciones que tendrá para el sector la implantación del denominado pasaporte digital de producto, derivado de las nuevas exigencias del Reglamento Europeo de Productos de Construcción facilitando la trazabilidad, transparencia y acceso a los datos a lo largo de todo el ciclo de vida de cualquier producto. Asimismo, presentó el proceso ACQUIS, una iniciativa impulsada por la Comisión Europea orientada a revisar, actualizar y estructurar las normas armonizadas y la legislación técnica vinculada al Reglamento de Productos de Construcción, proporcionando el soporte técnico necesario para la redacción y desarrollo de las futuras normas armonizadas que regirán el sector en los próximos años.



Integrantes de la sesión dedicada a la gestión de firmes

La última intervención de la sesión correspondió a Carmen Lastra, quien presentó la experiencia desarrollada por el Principado de Asturias en la elaboración de un catálogo de firmes sostenibles.

La ponente expuso los criterios empleados para evaluar distintas alternativas constructivas y destacó la importancia de incorporar indicadores ambientales en los procesos de selección y diseño de firmes.

Su intervención puso de manifiesto cómo las administraciones públicas están comenzando a integrar de forma progresiva consideraciones ambientales dentro de sus herramientas de planificación y gestión.

Sesión 9: Gestión de firmes

La novena sesión, presidida por Federico Soria, estuvo centrada en la gestión de firmes.

La primera ponencia de la sesión fue impartida por Christian de la Calle, quien realizó un recorrido por la evolución experimentada por los sistemas de gestión de firmes en la Dirección General de Carreteras durante las últimas décadas.

El ponente destacó que la creciente disponibilidad de datos procedentes de campañas de auscultación, inspecciones visuales, sistemas de monitorización y herramientas digitales está permitiendo desarrollar modelos de análisis y predicción cada vez más precisos. Estos avances facilitarán una planificación más eficiente de las actuaciones de conservación, optimizando la toma de decisiones y permitiendo anticipar las necesidades futuras de la red. En este contexto, presentó las principales expectativas asociadas al futuro Sistema Avanzado de Gestión de Firmes (SAGF), concebido como una herramienta estratégica para integrar y explotar toda la información disponible sobre los pavimentos de la Red de Carreteras del Estado.

A continuación intervino Alejandro Pacios, quien presentó desde la perspectiva de supervisión de proyectos, diversas experiencias de rehabilitación desarrolladas recientemente en la Red de Carreteras del Estado.

Su exposición analizó distintas problemáticas en función de las características de los firmes, las condiciones del tráfico y las necesi-



La última sesión de las jornadas estuvo presidida por Álvaro Navareño

Sesión 10: Realizaciones singulares

La última sesión técnica presidida por Álvaro Navareño reunió diversas actuaciones recientes desarrolladas por administraciones y empresas del sector. La sesión permitió conocer soluciones innovadoras aplicadas a problemas concretos de conservación y rehabilitación de firmes, así como nuevas experiencias relacionadas con materiales y técnicas constructivas.

La primera intervención correspondió a Beatriz González, quien presentó la actuación de rehabilitación de un firme semirrígido en Piedrafita. La ponencia expuso los antecedentes de la actuación, los problemas identificados en el firme existente y los criterios empleados para definir la solución finalmente ejecutada. Se analizaron las patologías observadas, las alternativas estudiadas y los resultados de resistencias obtenidos. La presentación puso de manifiesto la complejidad que supone intervenir sobre firmes semirrígidos envejecidos y la necesidad de realizar diagnósticos previos rigurosos para garantizar la eficacia de las actuaciones de rehabilitación.

A continuación, Pedro Hernández, presentó una experiencia innovadora relacionada con la ejecución de una rodadura percolada de altas prestaciones para glorietas sometidas a tráfico pesado. La ponencia analizó las ventajas funcionales de este tipo de soluciones en entornos especialmente exigentes desde el punto de vista del tráfico y la seguridad vial. Se describieron los criterios de diseño adoptados, las características de los materiales empleados y las expectativas de comportamiento a medio y largo plazo. La intervención permitió comprobar cómo determinadas soluciones inicialmente concebi-

dades específicas de cada tramo, destacando la gran relevancia de un buen proyecto de rehabilitación. Asimismo, subrayó la importancia del diagnóstico y análisis del firme, así como del drenaje, concluyendo que los errores en fase de proyecto no desaparecen en obra, sino que se transforman en modificados, sobrecostes y retrasos.

Posteriormente, Álvaro Celada abordó uno de los temas más innovadores de toda la jornada: la utilización de vehículos conectados y sistemas de visión artificial para la obtención continua de información sobre el estado de los firmes.

La presentación mostró diferentes iniciativas de la Dirección General de Carreteras en el uso de estos datos para su posterior homogeneización y explotación. Su presentación concluyó con las diferentes ventajas e inconvenientes de estas tecnologías que hace apenas unos años parecían futuristas y actualmente comienzan a integrarse progresivamente en la gestión cotidiana de las infraestructuras.

La sesión concluyó con la intervención de Pedro Hernández, centrada en los tratamientos su-

perficiales como herramienta de conservación preventiva para la mejora de las características funcionales de los firmes. Durante su exposición, el ponente analizó la eficacia de las principales técnicas empleadas para la restitución del Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT), uno de los parámetros fundamentales para garantizar la seguridad vial.

La presentación se apoyó en datos obtenidos de una experiencia real, en la que se aplicaron distintos tratamientos superficiales sobre varios tramos de una misma zona, permitiendo comparar su comportamiento y evolución a lo largo del tiempo. Como principal conclusión, se destacó que el rendimiento de cada tratamiento depende en gran medida de las características del árido existente, especialmente de su dureza y grado de pulimento. No obstante, se puso de manifiesto que no existe una solución universalmente válida, sino que cada técnica puede constituir la alternativa más adecuada en función de las condiciones particulares de cada tramo.

das para aplicaciones específicas están ampliando progresivamente su ámbito de utilización gracias a los buenos resultados obtenidos en servicio.

La tercera presentación fue realizada por Javier Loma, quien expuso la experiencia adquirida durante la ejecución de mezclas templadas en las obras del programa EFAPAVES. Su intervención complementó los contenidos abordados durante la primera jornada, mostrando desde una perspectiva práctica los retos asociados a la fabricación, transporte y puesta en obra de este tipo de mezclas. El ponente analizó las ventajas derivadas de la reducción de temperaturas de fabricación, tanto desde el punto de vista ambiental como operativo, así como las dificultades encontradas durante la ejecución.

Posteriormente intervino Carlos Barrera, con una ponencia dedicada a las actuaciones de mejora de firmes mediante técnicas de bacheo en caliente. La presentación permitió conocer diferentes experiencias desarrolladas en la Red de Carreteras del Estado. El ponente destacó la importancia de una adecuada preparación de las zonas a reparar y del control de ejecución para garantizar la durabilidad de las actuaciones. Asimismo, se mostraron diferentes tecnologías de mercado que permiten mejorar las actuaciones de reparación de los firmes.

La sesión concluyó con la intervención de Lucía Miranda, quien presentó experiencias de pavimentación sostenible mediante el empleo de ligantes diseñados para ello. La ponencia abordó las nuevas líneas de desarrollo impulsadas por la industria para reducir el impacto ambiental asociado a la construcción y conservación de firmes. Se mostraron ejemplos reales de utili-

zación de diferentes ligantes destinados a mejorar la sostenibilidad global de las mezclas bituminosas.

Conclusiones

Tras tres días de intenso trabajo, Valverde Jiménez como ponente general, sintetizó las principales conclusiones obtenidas durante las jornadas y puso en valor el trabajo desarrollado por todos los participantes.

Destacó que el sector está cambiando y que lo está haciendo, apoyándose en tres pilares fundamentales: conocimiento técnico, innovación y colaboración.

Se recordó que programas como EFAPAVES demuestran la utilidad de la experimentación en condiciones reales para acelerar la transferencia de conocimiento, mientras que las sesiones dedicadas al control de calidad pusieron de manifiesto que la innovación debe ir necesariamente acompañada de unos métodos de evaluación y seguimiento adecuados.

Asimismo, se destacó el importante trabajo desarrollado por los grupos técnicos del Comité de Firmes, cuya actividad resulta esencial para transformar la experiencia acumulada por el sector en recomendaciones, guías y futuras especificaciones técnicas.

Las sesiones dedicadas a la reutilización de materiales y a los pavimentos de hormigón permitieron reafirmar dos ideas especialmente relevantes: por una parte, la necesidad de impulsar la economía circular considerando el material fresado como un recurso estratégico; por otra, la importancia de la durabilidad como componente fundamental de la sostenibilidad.

La última sesión de las jornadas mostró además que la gestión de

firmes está evolucionando hacia modelos cada vez más apoyados en datos, donde conceptos como trazabilidad, monitorización continua y digitalización pasarán a formar parte habitual de la actividad profesional.

Las distintas sesiones mostraron cómo conceptos que hace apenas unos años ocupaban un espacio reducido dentro de los debates técnicos —como la economía circular, la digitalización, la inteligencia artificial, los vehículos conectados o el análisis ambiental del ciclo de vida— están adquiriendo un protagonismo creciente en la práctica profesional.

Del mismo modo, la evolución normativa fue identificada como un elemento clave para facilitar la incorporación de innovaciones y garantizar que las futuras infraestructuras respondan adecuadamente a las exigencias ambientales, económicas y técnicas de la sociedad.

Finalmente, se agradeció la participación de todos los ponentes, moderadores, patrocinadores, colaboradores y asistentes, así como el trabajo realizado por la Asociación Técnica de Carreteras, el Comité Organizador y el Comité Técnico.

Las Jornadas de Firmes 2026 concluyeron dejando una idea ampliamente compartida entre los participantes: el futuro de las carreteras dependerá de la capacidad del sector para seguir innovando, compartiendo conocimiento y manteniendo el rigor técnico que históricamente ha caracterizado a la ingeniería de firmes. Solo así será posible avanzar hacia unas infraestructuras más seguras, sostenibles, durables y adaptadas a las necesidades de la movilidad del futuro. ❖

Jornada Técnica

Evaluación y clasificación del nivel de seguridad de la red.

Experiencias nacionales e internacionales



Madrid, 15 de abril 2026

El pasado día 15 de abril de 2026, se celebró en Madrid una Jornada técnica sobre el novedoso procedimiento de evaluación la seguridad del conjunto de las carreteras en servicio de una red introducido por la Directiva (UE) 2019/1936, de 23 de octubre, que modificaba la Directiva 2008/96/CE, de 19 de noviembre, sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias. Dicho evento fue acogido en el salón

de actos del Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas, CETA (CEDEX) y congregó a más de 120 expertos, tanto del ámbito de las administraciones como de empresas consultoras y de conservación de carreteras.

La Jornada fue promovida por el Comité de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) con el apoyo del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible y

el patrocinio de 17 empresas del ámbito de la consultoría, mantenimiento y equipamiento vial de seguridad, estando organizadas por la ATC. Se desarrolló tanto en sesión de mañana como tarde y tuvieron cabida 10 ponencias impartidas por excelentes profesionales, y complementadas una mesa redonda-coloquio en la que participaron otros 4 intervinientes.

Con este novedoso procedimiento sobre el que versó esta Jornada, se pretende establecer una clasificación de los tramos según su nivel de seguridad de forma que se puedan priorizar las inversiones en seguridad de una forma más eficiente. Ello ha requerido desarrollar una metodología “ad hoc” por parte de los estados miembros y realizar la primera evaluación del conjunto de la red transeuropea y principal para remitir los resultados a la Comisión europea en octubre de 2025. Así pues, es patente la idoneidad de la celebración de este evento centrado específicamente en dicho procedimiento, para detallar la problemática con la que se han encontrado en su implementación, posibles soluciones adoptadas y debatir sobre aspectos mejorables de cara a las siguientes campañas de evaluaciones.

En la jornada se analizaron los orígenes y fundamentos de este nuevo procedimiento, las orientaciones realizadas por la Comisión europea, así como la metodología específica implementada en la red estatal de carreteras, pormenorizando los aspectos evaluables, umbrales y ponderaciones de cada parámetro considerado, así como de las categorías o niveles de seguridad establecidos. Igualmente se expusieron casos prácticos de experiencias internacionales en países europeos de nuestro entorno, así como otras experiencias nacionales por parte de otras administraciones españolas de carreteras, expuestas en una mesa de debate sobre las lecciones aprendidas y aspectos mejorables derivadas de estas primeras evaluaciones realizadas.

A continuación, se hace una recapitulación cronológica de su contenido, resaltando las principales ideas extraídas de su desarrollo.



Sesión inaugural de la jornada, de izquierda a derecha, Ana Arranz, Roberto Llamas, Antonio Muruais, Aurea Perucho y Álvaro Navareño

Sesión inaugural

A las 9:30h dio comienzo el acto inaugural, en el que tomó la palabra primeramente la Directora del CEDEX, Aurea Perucho Martínez, quien dio la bienvenida a “su casa” a los asistentes y reiteró la colaboración de su organización con todas las instituciones para acoger Seminarios, Conferencias y Jornadas técnicas. Tras ella, el Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), Álvaro Navareño Rojo, agradeció a todos los patrocinadores e instituciones su apoyo a la Jornada, destacando la labor del Comité de Seguridad Vial en la difusión y celebración de eventos, como mecanismo de transferencia e intercambio de conocimiento en materia de seguridad de la carretera. El acto inaugural fue cerrado por el Coordinador de la Jornada y Presidente del Comité de Seguridad Vial de la ATC, Roberto Llamas Rubio, quien reiterando su agradecimiento a patrocinadores, ponentes y asistentes, expuso brevemente el contenido y aspectos a abordar a lo largo de la jornada.

Primera sesión.

Presidida por: Antonio Muruais Rodríguez. Subdirector General de Conservación y Gestión de Activos. Dirección General de Carreteras. Ministerio de transportes y Movilidad Sostenible

Finalizado el acto inaugural, dio comienzo la primera de las sesiones técnicas, presidida por el recientemente nombrado Subdirector General de Conservación y Gestión de Activos, Antonio Muruais Rodríguez. La primera intervención correspondió a Roberto Llamas Rubio, quien expuso los pormenores de los orígenes y fundamentos de la metodología de evaluación y clasificación prescrita en la Directiva 2019/1936, poniendo de manifiesto las reticencias iniciales de los Estados miembros por los inconvenientes encontrados en las orientaciones para su desarrollo materializadas por la Comisión Europea. Seguidamente, Beatriz Molina Serrano, se adentró en detallar la metodología orientativa desarrollada por la Comisión, como propuesta para todos los estados miembros con la pretensión de tratar de homogeneizar y facilitar la implementación de este procedimiento a nivel euro-

peo. Además de exponer su planteamiento, en esta intervención también se analizaron los casos piloto desarrollados en la red de Carreteras del Estado (RCE) en el año 2022, siguiendo la propuesta realizada por la propia Comisión para testar la idoneidad de la metodología orientativa desarrollada, la cual fue seguida por algunos países miembros (entre ellos España). Dicha prueba puso de manifiesto las deficiencias propias de tal metodología que invalidaban los resultados obtenidos de su aplicación, entre otros motivos por la consideración punitiva de los usuarios vulnerables en los casos en los que no existía infraestructura propia segregada o la contemplación de umbrales inadecuados de algunas variables y la penalización por la propia existencia per se de sistemas de contención en las márgenes. Todos estos motivos, unidos a la excesiva preponderancia dada al enfoque proactivo sobre el reactivo a la hora de integrar ambos enfoques, hacía que su aplicación diese resultados inconsistentes de la peligrosidad de los tramos analizados. Para finalizar la primera sesión del día, tomó la palabra, Eduardo Parra Pascual, quien detalló el planteamiento, estructura y pautas de aplicación de la metodología de evaluación y clasificación de la seguridad en la red estatal, desarrollada por la Dirección General de Carreteras del MTMS y que fue aprobada por la Orden Circular 2/2025.

Segunda sesión. Presidida por: Laura Parra Ruíz. Directora del Centro de Estudios del Transporte (CET) del CEDEX

Tras la pausa del café, dio comienzo la segunda sesión, presidida por Laura Parra Ruíz, directora del Centro de Estudios del Transporte (CET) del CEDEX, en la que se mostraron experiencias internacionales y ejemplos prácticos de la aplicación de las directrices de evaluación con-



Eduardo Parra Pascual durante su intervención en la primera sesión

templadas en la OC2/2025. El representante alemán, Joshua Heinrichs, presentó la metodología creada en la administración central de carreteras alemanas (apartada de la orientativa planteada por la Comisión), con la que clasificaron aproximadamente 26.000 km de carreteras federales y estatales (unos 2.600 km de autopistas y el resto de carreteras convencionales). Dicha metodología, según indicó el ponente, se basó en gran medida en datos existentes (datos de accidentalidad y tráfico, inventario geométrico en alzado y planta, obstáculos sin proteger, etc.), de forma que no se recopilaron datos adicionales para el análisis de la red. Los resultados se presentaron en 5 categorías, resultando que un 2,2% de los tramos analizados se clasificaron como de prioridad 1 y 2 (con nivel de seguridad muy baja o baja), siendo, por tanto, prioritaria su actuación en ellos. En esta línea, el representante irlandés en la jornada, Pat Phelan, detalló la metodología empleada en su país, la cual también fue creada "ad hoc", a partir de los datos disponibles, para ajustarla a las características particulares de su red, visto que la metodología propuesta por la Comisión no les era de

aplicación tras comprobarlo en un tramo piloto de 58 km en la N25. Los resultados obtenidos con la metodología empleada pusieron de manifiesto que casi la mitad de la longitud analizada (más de 2.500 km) contaba con prioridad 1 o 2 y necesidad urgente de actuación debido a la tipología de carretera y sus características. Por el contrario, se observó que, en general, los tramos de vías de gran capacidad se clasificaban en los niveles 4/5 (los más seguros).

Tras la intervención internacional, tomó de nuevo la palabra Eduardo Parra Pascual para describir la metodología creada y empleada por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes y Movilidad Urbana en las vías de su competencia, presentando varios casos prácticos para ilustrar el desarrollo de los trabajos. Dicha presentación se completó con la de Eduardo Gutiérrez Cardona, quien mostró la sistemática llevada cabo para la definición de los umbrales y ponderaciones, exponiendo las dificultades encontradas en dicho proceso y las soluciones adoptadas que llevaron a la creación de una metodología específica para la Red de Carreteras del Estado.

Tercera sesión. Presidida por: Alvaro Navareño Rojo. Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC)

Finalizada esta segunda sesión, se pasó a degustar un almuerzo de trabajo, tras el cual, se inició la tercera sesión, presidida por Alvaro Navareño Rojo. Fue a través de Ana Samper Ramirez y Rocío López de la Vara, como representantes de empresas de consultoría que participaron en las evaluaciones de la red estatal desarrolladas durante 2024, quienes profundizaron en las particularidades de la aplicación de la OC2/2025 en un tramo de autovía y en otro de carretera convencional, mostrando las principales dificultades encontradas tanto en la tramificación de la red como en la toma de datos y el posterior análisis de los mismos. Tras ellas, intervino nuevamente Roberto Llamas Rubio para detallar los resultados nacionales de las evaluaciones realizadas en España y remitidos a la Comisión Europea, tal como prescribe la Directiva 209/1936. Detalló como fue el proceso de recapitulación de los resultados de las evaluaciones de las CCAA, el trabajo de homogeneización y representación gráfica acorde con los criterios establecidos por la Comisión, para después describir el sistema de georeferenciación y posicionamiento de los diferentes niveles de seguridad obtenidos para la red evaluada. Resaltó que en España se aplicó esta evaluación en la Red Transeuropea (TERN) y en toda la red de gran capacidad que no estuviese contemplada en la misma y se establecieron 5 niveles para clasificar la seguridad (degradados desde un nivel de seguridad muy alto -clase 1- hasta muy bajo -nivel 5-). Destacó que de los aproximadamente 12.500km evaluados en la red estatal, no resultó ningún tramo con un nivel de seguridad muy bajo y sólo 52km con nivel bajo (el 0,4%). Con

nivel medio resultaron 148 km (el 1,2%). En total, curiosamente un porcentaje similar al resultado indicado por el representante alemán.

Mesa redonda-coloquio. Coordinada por: Ana Arranz Cuenca. Directora de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC)

A continuación, se celebró la mesa redonda-coloquio, coordinada por Ana Arranz Cuenca, en la que participaron 4 destacados representantes de otras tantas administraciones autonómicas. En ella, cada uno de los participantes hizo un breve resumen de lo realizado dentro de su ámbito de responsabilidad para posteriormente debatir sobre diferentes cuestiones planteadas por la moderadora. Así, M^a José Martínez Ruzafa, Directora General de Infraestructuras de Transporte Terrestre de la Generalitat Valenciana, explicó la metodología seguida, basada en la trasposición de la Directiva 2019/1936 llevada a cabo por la Generalitat Valenciana, la cual se aplicó a un total de 103,5 km correspondientes a la Red de Carreteras Principales (CV-10, CV-35 y CV-80). Dicha metodología partía de una evaluación realizada mediante parámetros objetivos (basaba en el cálculo de un índice de riesgo y la definición de un nivel de seguridad), a la cual seguían inspecciones visuales realizadas en los tramos definidos en la anterior evaluación con elevado número de accidentes graves y mortales, de acuerdo con los elementos indicados en su trasposición de la directiva y en la propia directiva, siendo dicha evaluación la que determina la clasificación y los tramos en los que se hace necesario llevar a cabo inspecciones de seguridad específicas y actuar en ellos. Siguiendo con la línea de las presentaciones de metodologías, David Merino Rueda, Director General de Carreteras de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, mostró que las evaluaciones se

habían llevado a cabo en la Autovía de los Viñedos CM-42 (126 km) según los preceptos establecidos en la OC 2/2025 y tomando para ello los ESMAN (elementos susceptibles de mejora) obtenidos como resultado de las inspecciones de seguridad viaria llevadas a cabo en el año 2025. Según indicó, los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que la red básica de alta capacidad tiene unos niveles de seguridad elevados. A continuación tomó la palabra Héctor Presas Veiga, Xefe da Área de Planificación, Innovación e Seguridade Viaria de la Xunta de Galicia para explicar cómo se habían llevado a cabo las evaluaciones en su red, en base a las "Directrices provisionales para la realización de la evaluación de seguridad de las carreteras del conjunto de la red" de diciembre de 2024, cuestionando la idoneidad de las mismas al establecer que debían realizarse en autopista y autovías (298 km), así como los parámetros a emplear y su ponderación, poniendo en valor los procedimientos empleados desde hace años, tales como el estudio de los TCA, al considerar que el nuevo procedimiento no supone un cambio sustancial (aunque sí metodológico) con respecto a la forma de trabajo anterior. Finalmente, M^a del Carmen Plaza García-Talavera, Subdirectora General de Seguridad Viaria y Conservación de la Comunidad de Madrid, en la línea de lo expuesto por la Xunta, y en base a las características propias de la red de su competencia, expuso su necesidad de crear una metodología propia que garantizara la aplicación de los recursos y esfuerzos, que son limitados, en los puntos más prioritarios y con mayor rentabilidad. De ahí, la justificación de basar su metodología en la evaluación de la gestión de la seguridad vial llevada a cabo desde hace años con el estudio de TCA, TCA-M, TAPM, PCSV-M en el ámbito reactivo y en el ámbito proactivo las inspecciones de seguridad viaria en



Mesa Redonda de la jornada: "Experiencia española en CCAA y otras Administraciones de carreteras"



Roberto Llamas, coordinador de la Jornada

zando un nuevo procedimiento que pudiese dar un nuevo impulso para invertir en aquellos tramos con una mayor rentabilidad; para ello planteó el procedimiento de Evaluación de la SV denominado "Network-wide road safety assessment". No obstante, la metodología propuesta por la Comisión, no obligatoria, fue cuestionada por los Estados Miembros, lo que conllevó que cada país definiese una metodología "ad hoc" adaptada a las características propias de su red y sus criterios de diseño. Tal es el caso de España, Alemania e Irlanda, que se expusieron durante esta Jornada. La Orden Circular 2/2025 que aprueba la metodología a aplicar en la red estatal sirve de referente para otras administraciones de carreteras para aplicar la evaluación de sus redes. Se puso de manifiesto que España ha sido uno de los países europeos que ha cumplido el hito establecido por la Directiva de remitir antes del 31 de octubre de 2025 a la Comisión los resultados de la aplicación del procedimiento de evaluación de la seguridad, destacando el importante esfuerzo llevado a cabo por las diferentes administraciones españolas de carreteras. Asimismo, se resaltó que este novedoso procedimiento de evaluación de la seguridad de las redes de carreteras es complementario y no sustitutorio de los demás existentes.

Tras este resumen de las ideas fundamentales el Presidente de la ATC, Alvaro Navareño Rojo, y el Presidente del Comité de Seguridad Vial, Roberto Llamas Rubio, agradeciendo por su apoyo y asistencia a los patrocinadores, instituciones y participantes, dieron por clausuradas las Jornadas, invitando a todos también a participar en los próximos eventos que la ATC tiene programados en su calendario de divulgación técnica. ❖

los TNP y el estudio de los itinerarios de seguridad vial.

Una vez concluidas las presentaciones, la coordinadora de la mesa, Ana Arranz Cuenca, Directora de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) comenzó un breve turno de preguntas a los participantes quienes aclararon y complementaron ciertos aspectos de lo tratado, tras el cual se dio paso a las conclusiones y clausura de la jornada.

Conclusiones y clausura

Tras esta mesa redonda se procedió a resumir muy brevemente las principales conclusiones extraídas de este día de trabajo por parte del Coordinador General, Roberto Llamas Rubio. Destacó como tras el estancamiento de la reducción de la accidentalidad a nivel europeo, la Comisión consideró necesario actualizar los procedimientos de gestión de la seguridad vial, relan-

Jornada Técnica

Novedades del Reglamento General de Carreteras



Madrid, 28 de abril 2026

El pasado 28 de abril se celebró en el Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas (CETA) del CEDEX la jornada técnica «Reglamento General de Carreteras. Novedades», organizada por la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) y la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX), con la colaboración del CEDEX. La jornada

tuvo como objetivo analizar las principales novedades introducidas por el Real Decreto 899/2025, por el que se aprueba el nuevo Reglamento General de Carreteras.

La sesión fue inaugurada por Antonio Muruais, Subdirector General de Conservación y Gestión de Activos de la Dirección General de Carreteras; Aurea Perucho, direc-

tora del CEDEX; Álvaro Navareño, presidente de la ATC; y Federico Soria, presidente de ACEX, quienes destacaron la importancia de esta actualización normativa para el conjunto del sector.

La primera ponencia corrió a cargo de Rosalía Bravo, Subdirectora General de Planificación y Explotación de la Dirección Ge-

neral de Carreteras, quien expuso las claves conceptuales del nuevo Reglamento. Durante su intervención destacó cómo la nueva norma desarrolla los principios informadores de la Ley 37/2015 de Carreteras, incorporando criterios de sostenibilidad, eficiencia y seguridad, reforzando el principio de especialización funcional de la Red de Carreteras del Estado para dar soporte al tráfico de largo recorrido, además de aportar una mayor precisión en aspectos relacionados con la planificación, los procedimientos administrativos y la protección del dominio público viario.

Posteriormente, Carlos Álvarez, Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental, abordó las principales novedades prácticas introducidas por el Reglamento, centrando su exposición en aquellos aspectos con mayor incidencia en el detalle del ámbito de aplicación, los procedimientos de aprobación de estudios y proyectos de carreteras, su construcción y lo relativo a la relación con el urbanismo.

Tras la pausa, José Ignacio Sellers, de la Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura, completó el análisis de las novedades reglamentarias profundizando en la parte de uso y defensa de la carretera, en especial explicando los detalles de las zonas de protección de la carretera, ofreciendo una visión práctica orientada a facilitar su interpretación por parte de los profesionales del sector.

La jornada concluyó con una mesa redonda moderada por Federico Soria, en la que participaron Rosalía Bravo, Carlos Álvarez, José Ignacio Sellers y José Ignacio Cuñado, de la Demarcación de Carreteras del Estado en Madrid. El debate permitió intercambiar puntos de vista sobre la aplicación del



Sesión inaugural de la jornada, de izquierda a derecha, Antonio Muruais, Aurea Peruch, Álvaro Navareño y Federico Soria.



Mesa Redonda de la jornada.

nuevo Reglamento y resolver diversas cuestiones planteadas por los asistentes.

A lo largo de la jornada se puso de manifiesto que el nuevo Reglamento General de Carreteras constituye una actualización necesaria del marco normativo vigente, aportando una mayor seguridad jurídica y desarrollando con más detalle aspectos esenciales relacionados

con la planificación, proyecto, construcción y explotación de las carreteras. Asimismo, se destacó su contribución a la incorporación de criterios de sostenibilidad y eficiencia en la gestión de las infraestructuras viarias, facilitando una aplicación más homogénea de la normativa en todo el territorio. ❖

Webinar sobre la necesidad de recomendaciones específicas para carreteras de Baja Intensidad de Tráfico



5 de junio 2026

El pasado 5 de junio de 2026 se celebró telemáticamente el Webinar titulado La necesidad de recomendaciones específicas para carreteras de Baja Intensidad de Tráfico. En este evento dinámico, bajo el lema “baja intensidad, grandes desafíos, retos en movimiento”, se invitaba a todo el sector y profesionales al intercambio de experiencias y puntos de vista respecto a las singularidades y retos a las que se enfrentan este tipo de vías. Con 212 inscripciones y hasta 109 asistencias simultáneas, el evento resultó un verdadero éxito de asistencia.

En primer lugar, Ana Arranz Cuenca como Directora de la Asociación Técnica de la Carretera (ATC) introdujo a los asistentes una aproximación a sus cometidos y funcionamiento actual.

A continuación, Mónica Laura Alonso Plá presentó el comité técnico C21 que preside a nivel nacional dentro de la ATC, dedicado a las carreteras de baja intensidad de tráfico. Se explicó como en este contexto se entienden como de Baja Intensidad de Tráfico (BIT) aquellas carreteras con una intensidad media diaria (IMD) inferior a 2000 vehículos diarios y que a su vez no superan los 200 vehículos pesados por carril diarios, criterio adoptado a partir de un estudio realizado en 2011 en el seno del comité.

Se repasó el contexto general del sistema viario español, la distribución de las distintas redes, niveles administrativos y complejidad competencial. También las distintas tipologías de vías. El porcentaje de carreteras que catalogamos como baja intensidad de tráfico en el Comité, en España representa actualmente un porcentaje muy

elevado del total de la longitud de la red, al menos 2/3. Tras dicha reflexión inicial respecto a la casuística que da sentido al comité, y dada la singularidad de este tipo de vías, en el caso español, se argumentó porque el comité resulta un espacio idóneo para la transferencia del conocimiento de intercambio de experiencias por el personal técnico, tanto de las administraciones locales, provinciales, autonómicas y estatales como con la academia y las empresas del sector. Se presentó el comité, su organización en cuatro grupos de trabajo y composición actual.

A continuación presentaron los trabajos desarrollados hasta el momento destacando como acciones más recientes en el comité la participación en el Workshop on Road Safety and Cost-Effective Technical Solutions for Rural and Interurban Roads organiza-

do por el comité espejo de la PIARC y celebrado en Lisboa el 24 de octubre de 2025, el último artículo en rutas número 206 enero-marzo 202, o las publicaciones de Recomendaciones para la redacción de pliegos de prescripciones técnicas particulares de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras de baja intensidad de tráfico en 2018 y la Metodología para la evaluación del estado del firme en una carretera de baja intensidad de tráfico a partir de su inspección visual, con propuesta de posibles actuaciones de conservación mediante soluciones técnicas sostenibles en 2021.

Se presentó también el documento recientemente publicado en 2026 relativo a Técnicas de Pavimentación en Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico fruto del trabajo del ciclo anterior 2020-2023. El documento aborda y constituye una visión sistemática y comparativa de las distintas soluciones de pavimentación bituminosa, orientada a facilitar la elección de la técnica más adecuada para carreteras de baja intensidad de tráfico en función de sus condiciones estructurales, funcionales y de servicio. Se dedica la primera parte a las soluciones basadas en mezclas bituminosas en caliente con betún asfáltico, mientras en una segunda parte se centra en las soluciones que utilizan emulsión bituminosa. En ambos casos aborda los criterios de selección, tipología de técnicas y análisis de su aplicación en carreteras BIT.

A continuación, se presentaron los trabajos actualmente en curso en los distintos grupos de trabajo.

Jesús Felipo Sanjuán, como coordinador del GT1 dedicado a la adecuación de las fichas sobre trabajos de conservación existentes para carreteras de alta intensidad de tráfico a las características de las carreteras BIT, presentó las principales fichas desarrolladas hasta el momento como adaptación a carreteras BIT de las

Instrucciones Técnicas Operativas de Conservación (ITOC).

Ángel Luis Saiz Orcajo, como coordinador del GT2 dedicado a Recomendaciones presentó el documento cuya redacción se está ultimando relativo a Recomendaciones de accesos en carreteras BIT.

Rodrigo Sarralde Osúa, como coordinador del GT3: Uso de materiales marginales, presentó el documento en redacción que aborda materiales como los residuos de construcción y demolición y las escorias negras siderúrgicas, fruto de la línea de trabajo tras realizar una consulta a las administraciones con este tipo de vías de baja intensidad de tráfico.

Ricardo Ruiz Ramos, como coordinador del GT4: Digitalización y nuevas tecnologías en carreteras BIT, presentó las entrevistas realizadas con las distintas administraciones en relación al uso de este tipo de tecnologías y disponibilidad, y realizó una reflexión acerca de la diversidad de estructuras, falta de medios y dificultades organizativas de las distintas administraciones que gestionan este tipo de redes y para las que este tipo de herramientas podrían ser de gran ayuda.

Se abrió posteriormente un turno de diálogo abierto y debate, a raíz de las preguntas formuladas por los asistentes, donde se reflexionó nuevamente sobre la importancia y necesidad de profundizar en el estudio de las particularidades en este tipo de vías. Se contó con la participación de Andrés Costa Hernández, quien impulsó y coordinó el trabajo relativo a las Técnicas de Pavimentación en el ciclo anterior, como Presidente anterior del Comité Técnico.

Se debatió entre los asistentes sobre nuevos retos que se abren ante el debate abierto del pago por uso, pero también se generó inquietud sobre la extensión y aplicabilidad de estos documentos a otro tipo de redes mu-

nicipales. Se planteó la existencia de guías complementarias aplicables. Se ahondó en las singulares características, heterogeneidad, diversidad y condicionantes del entorno en la prestación del servicio de este tipo de vías, al no partir de un lienzo en blanco, confirman la emergente necesidad de generar recomendaciones propias y explorar las mejores técnicas aplicables a su diseño. Más cuando este tipo de vías de baja intensidad de tráfico tradicionalmente disponen de menores recursos y sufren generalizada de insuficiencia de medios, lo que hace aún más necesario si cabe optimizar la eficiencia en su gestión.

Se realizó un llamamiento público e invitó a todas las personas interesadas en la temática tratada a unirse activamente al Comité, y a consultar la información disponible a través de la Web de la ATC:

[https://atc-piarc.com/publicaciones?q=TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACION%20EN%20CARRETERAS%20DE%20BAJA%20INTENSIDAD%20DE%20TRAFICO%20\(BIT\)](https://atc-piarc.com/publicaciones?q=TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACION%20EN%20CARRETERAS%20DE%20BAJA%20INTENSIDAD%20DE%20TRAFICO%20(BIT))

Agradecer el trabajo de todas aquellas personas que forman o han formado parte en algún momento del comité. También la fantástica acogida recibida al evento, su formato novedoso y vuestra asistencia. El éxito, ambiente, participación activa y compañía experimentada en la jornada nos invita sin duda a plantearnos afianzar este evento en un futuro. Os invitamos a participar activamente y esperamos en el comité, podéis hacernos llegar cualquier sugerencias y línea de trabajo que estiméis oportuno abordar. Y para aquellas personas que no pudieran acompañarnos, la información disponible de la jornada quedaría grabada para su visualización y difusión posterior, estando disponible en

[:https://www.youtube.com/watch?v=Atf87bXEUn8&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=Atf87bXEUn8&feature=youtu.be) ❖

Jornada Técnica

Ventilación e Iluminación de Túneles



23 de junio 2026

El pasado 23 de junio se celebró en el salón de actos del Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas, CETA (CEDEX) una Jornada sobre “Ventilación e Iluminación de túneles de carretera” cuyo objetivo fundamental fue la presentación del documento de pruebas de “Recomendaciones para la Normalización de la Ventilación” y del documento funcional de “Recomendaciones para la Normalización de Equipos de Iluminación”, redactados por el Comité de Túneles de la Asociación Técnica de carreteras, ATC. El documento de características funcionales de los equipos de ventilación, ya fue

presentado en otra jornada en 18 de mayo de 2022.

Con las Recomendaciones de estos documentos se pretende definir las características funcionales de los diferentes equipamientos que garanticen su operatividad, que cumplan con unas características y valores concretos y que se normalice su integración en el sistema de control (señales, protocolos, algoritmos,...) para evitar protocolos propietarios entre dispositivos, así como las pruebas que han de superar los diferentes sistemas para su aceptación en obra. Con ello se pretende alcanzar 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.

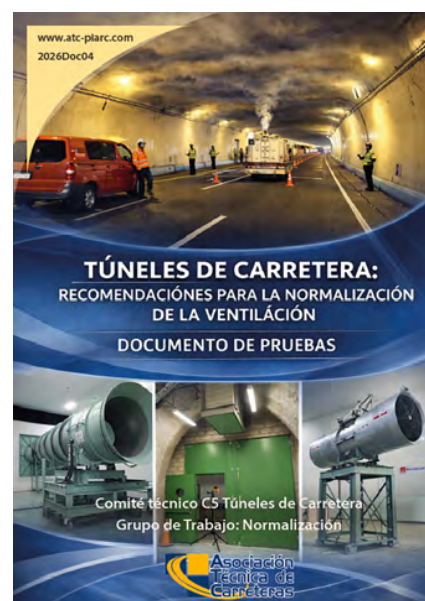
La Jornada contó con la presencia de Álvaro Navareño Rojo, Presidente de la ATC y Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes y de Guillermo Llopis Serrano, Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en la Comunidad Valenciana y responsable del Grupo de Trabajo sobre la Metodología de Análisis de Riesgos DG-QRAM del Comité de Túneles. Les acompañaron en la

mesa, Aurea Perucho Martínez, Directora del Cedex, y Rafael López Guarga, Presidente del Comité Técnico de Túneles quien a su vez ejerció de moderador de la Jornada.

Tras las obligadas palabras presidenciales, en las que Guillermo Llopis Serrano puso de manifiesto el empuje final que se está dando al Plan de Rehabilitación y adaptación de los túneles de la Red del Estado al R.D. 635/2006 de condiciones mínimas de seguridad y a la Directiva Europea 2004/54/CE en el marco de los Fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia que ha de quedar finalizado en el presente ejercicio, Justo Suárez Fernández presentó el documento de “Recomendaciones para la Normalización de la Ventilación (documento de pruebas)” haciendo una reseña de los antecedentes que condujeron a la creación, en el seno del Comité de Túneles de la ATC, del Grupo de Trabajo para la normalización de los equipamientos en túneles. Expuso en grandes rasgos las pruebas que deben superar los diferentes equipos y subsistemas que constituyen el sistema de ventilación con el fin de verificar su adecuación, tanto a nivel general de adaptación a los estándares establecidos como a nivel particular de cada proyecto de cumplimiento de las prescripciones específicas para él emanadas.

Por parte de Antonio Martín Crisenti y Jorge Rodríguez Fernández se presentó el documento “Recomendaciones para la Normalización de los Equipos de Iluminación”, exponiendo la metodología empleada para evaluar las posibilidades de normalización de los diferentes equipos de iluminación y analizando las principales ventajas que ello aporta, describiendo la estructura y el contenido del documento.

En su presentación sobre “Evaluación de normas y especificacio-



nes para compuertas de túnel y necesidad de una mayor coherencia en el sector”, Roeland Bos puso énfasis en que las compuertas de túnel son las “grandes olvidadas” dentro de los equipos que componen el sistema de ventilación. La experiencia demuestra que muchos de los problemas en los sistemas de ventilación de túnel con ventiladores axiales y compuertas, tiene su origen en problemas con éstas. Este enfoque con especial atención a las compuertas, hace que el documento presentado sea pionero a nivel internacional al dar unas di-

rectrices claras del tipo de ensayos a los que deben someterse.

Juan Manuel Sanz Sacristán, bajo el título “Transmisión del calor entre el terreno y el aire para diferentes configuraciones y usos de la ventilación en túneles”, expuso que a partir de mediciones exhaustivas de la variación de temperatura en distintas posiciones de distintos túneles se explican los fenómenos de transmisión del calor entre terreno y aire para distintas configuraciones, profundidades y usos de la infraestructura.



De ello se puede concluir que esta transmisión de calor es un fenómeno de gran importancia para obtener en la etapa de proyecto la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo y su variación entre invierno y verano.

Posteriormente, Carlos Rubio Arévalo, con el título “Avances en la iluminación de los túneles urbanos de Madrid, presente y futuro” hizo un repaso de las condiciones de iluminación en las que se encuentran los diferentes túneles gestionados por el Ayuntamiento de Madrid, los planes existentes para la adecuación y actualización paulatina de los mismos y la aplicación de nuevas tecnologías para la mejora del rendimiento y ahorro en el consumo energético.

La siguiente presentación, “Metodología para el funcionamiento de los sistemas de ventilación longitudinal durante la etapa transitoria de un incendio” corrió a cargo de Miguel del Moral Cejudo, en la que recordó que los sistemas de ventilación en túneles se proyectan para escenarios de incendio máximos, pero en las fases iniciales del fuego su activación a plena velocidad puede romper la estratificación del humo y dificultar la evacuación y propuso una metodología para definir el protocolo óptimo para su activación durante esta fase transitoria con el objetivo de mejorar la relación entre el tiempo disponible y el necesario para evacuar el túnel.

Francisco Cavaller Galí, bajo el título “Posibilidades que nos ofrecen las tecnologías actuales para explotar al máximo la aplicación de las normativas en alumbrado de túneles y buenas prácticas”, expuso aquellos aspectos que amparados por la normativa, la buena práctica y la tecnología actual, hacen que la iluminación de un túnel lo haga cómodo, seguro y adaptado a las condiciones de uso en cada momento. En definitiva, ni más ni menos luz, sólo la necesaria y que sea buena.



A continuación, Inmaculada López Sánchez, bajo el título “Innovaciones en el control de iluminación. Ejemplo Caldearenas” resaltó la necesidad del ahorro energético y la optimización del rendimiento de las luminarias mediante un sistema de control punto a punto que en base a unos escenarios preestablecidos adapta el flujo a las condiciones de circulación de cada momento, no sólo en lo que a las bocas y zonas de transición se refiere sino a toda la longitud del túnel en función de las condiciones del tráfico, IMD, velocidad, composición... Para ello utilizó el ejemplo del túnel de Caldearenas en la autovía A23, pionero junto al túnel de Bracons en esta tecnología. Cada luminaria es portadora de un pequeño ordenador y así la optimización es máxima.

Posteriormente tomó la palabra, Teresa Nuñez Godia, que abordó el tema “Influencia de la elección del producto en la fase de instalación” en el que puso como centro de atención el que las características técnicas repercuten en el coste de la instalación y en el mantenimiento del producto. Como aspectos a tener en cuenta citó la gestión térmica de la luminaria, maximizar el factor de mantenimiento, la resistencia mecánica, el control de las vibraciones y los sistemas de electrificación.

Por último, Alfredo Grande Pérez, hizo la presentación correspondiente a “Ensayos in situ del sistema de ventilación y su integración con el control centralizado del túnel” en la que explicó los ensayos a escala real con humos fríos y calientes que se vienen realizando antes de la puesta en servicio de un túnel, de su reapertura tras un proceso de rehabilitación o simplemente cuando el organismo de inspección y el titular del túnel lo consideren necesario, al objeto de comprobar el buen funcionamiento del sistema de ventilación, constatar que los algoritmos están bien concebidos para los diferentes escenarios que pueden presentarse según su definición en el Manual de Explotación y que la integración en el Centro de Control es la correcta para su funcionamiento automático tras un tiempo de respuesta predeterminado.

La Jornada finalizó con una exposición por parte del Departamento Técnico, AMAC Seguridad Vial y Movilidad, bajo la batuta de Aquilino Molinero Martínez, en la que se dio a conocer los últimos avances relacionados con las Medidas dinámicas versus estáticas de la iluminación en túneles. ❖

Curso de Formación de Operadores de Centro de Control de Túnel de Carretera en Santiago de Compostela

La Asociación Técnica de Carreteras (ATC) ha impartido en Santiago de Compostela un curso especializado dirigido a la Policía Local, centrado en la operación, gestión y seguridad de los túneles de carretera. La iniciativa respondió a la creciente necesidad de actualización técnica en un ámbito en constante evolución, marcado por la incorporación de nuevas tecnologías, la digitalización de los centros de control, el vehículo conectado y la aparición de nuevas formas de propulsión.

Durante cuatro jornadas formativas, los participantes adquirieron una visión integral de la explotación segura de los túneles, profundizando en los requisitos normativos, los procedimientos operativos y la gestión de incidentes y emergencias. El curso fue diseñado específicamente para proporcionar los conocimientos esenciales que requiere el personal encargado de la vigilancia y operación de estas infraestructuras, cuya actuación resulta clave tanto en la prevención de riesgos como en la respuesta inicial ante situaciones de emergencia.

El programa se estructuró en cinco bloques temáticos. En primer lugar, se abordó el marco normativo aplicable a los túneles de carretera, incluyendo los manuales de explotación y los planes de au-

toprotección. Posteriormente, se analizaron las instalaciones y equipamientos que garantizan la seguridad de estas infraestructuras, así como los criterios de mantenimiento y gestión del servicio degradado.

Una parte destacada de la formación se dedicó a los sistemas de ventilación, estudiando su función en la calidad del aire, la visibilidad y la evacuación de humos en caso de incendio. Asimismo, se examinaron los riesgos asociados a los espacios confinados y las medidas de autoprotección necesarias para los operadores.

Las sesiones finales se centraron en la operativa diaria y en la gestión de incidentes y emergencias. Los asistentes trabajaron aspectos relacionados con la señalización, la coordinación entre servicios, los equipos

de primera intervención y la aplicación práctica de los procedimientos establecidos en los manuales de explotación. El curso concluyó con el análisis de casos reales, permitiendo debatir sobre diferentes situaciones de emergencia y las mejores estrategias para su resolución.

La formación fue impartida por profesionales de reconocido prestigio y amplia experiencia en ingeniería, explotación de túneles y gestión de emergencias, reforzando el carácter práctico y aplicado de las sesiones. Con esta acción formativa, la Policía Local de Santiago de Compostela refuerza sus capacidades para garantizar una gestión más segura y eficiente de unas infraestructuras esenciales para la movilidad y la seguridad vial.ctica. ❖



PRÓXIMOS EVENTOS ATC

La Asociación Técnica de Carreteras tiene previsto los siguientes eventos:

- **El Centenario del Circuito Nacional de Firms Especiales: Infraestructura, Territorio y Patrimonio (1926-2026)** Madrid, 22 de septiembre de 2026
- **Networking Movilidad Eléctrica** Madrid, 6 de octubre de 2026
- **IX Simposio de Túneles de Carretera** Madrid, 16 a 18 de febrero de 2027

¿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

Jornada Técnica

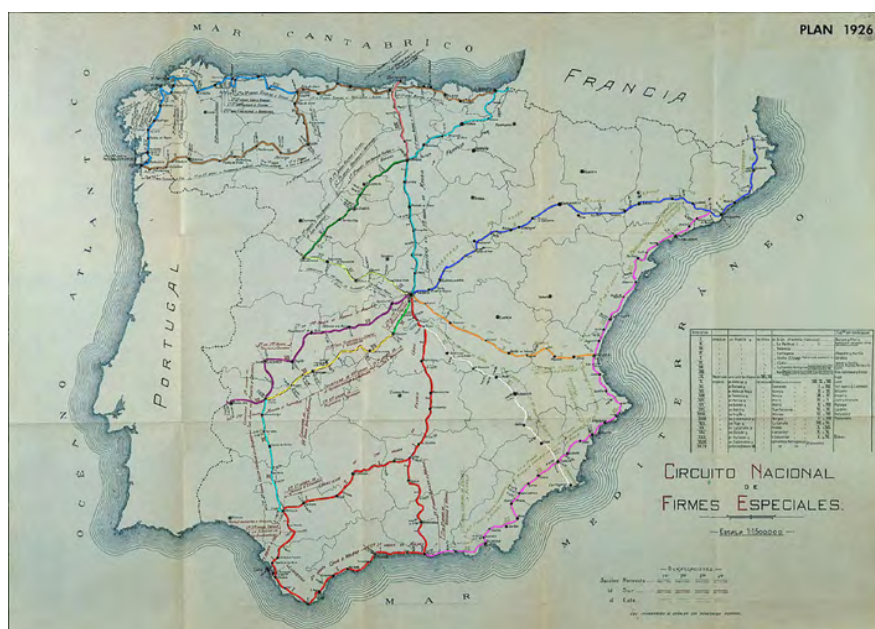
El Centenario del Circuito Nacional de Firms Especiales: Infraestructura, Territorio y Patrimonio (1926-2026)

Madrid, 22 de septiembre 2026

En 1926 se puso en marcha el Circuito Nacional de Firms Especiales, una iniciativa pionera del entonces recién creado Ministerio de Fomento que supuso el primer esfuerzo sistemático para modernizar la red de carreteras en España y adaptarla a las exigencias del automóvil.

El Circuito, concebido a partir de una selección estratégica de tramos de interconexión regional, marcó un punto de inflexión en la ingeniería de caminos española: introdujo nuevas tipologías de firms, impulsó la normalización técnica, contribuyó a la consolidación de la red radial, y estimuló el desarrollo del turismo incipiente al facilitar los desplazamientos por carretera hacia enclaves de relevancia histórica, económica y paisajística.

Con motivo del centenario de su puesta en marcha, esta jornada propone revisar el legado del Circuito Nacional de Firms Especiales desde una perspectiva interdisciplinar: analizando tanto su dimensión histórica y territorial como los avances tecnológicos que hizo posibles y los



retos que, un siglo después, siguen vigentes en materia de conservación, sostenibilidad y patrimonio de la obra pública. Asimismo, se abordarán las oportunidades que ofrece el estudio del CNFE para comprender la evolución del sistema viario español en el tránsito entre el siglo XIX, marcado por trazados adaptados a la tracción animal, y el XX, definido por la motorización masiva y la planificación estatal moderna.

El centenario del Circuito Nacional de Firms Especiales constituye, en definitiva, una ocasión para reflexionar sobre el papel que las infraestructuras viarias desempeñan en la transformación económica y social del territorio, así como sobre la responsabilidad de preservar y transmitir el conocimiento asociado a uno de los hitos fundamentales de la ingeniería civil en España.

Más información: www.atc-piarc.com



IX SIMPOSIO TÚNELES DE CARRETERA

SOSTENIBLE • CONECTADO • DIGITAL

Madrid, 16 a 18 de febrero 2027

Han pasado casi cuatro años desde el que empezamos a escribir la presentación del VIII Simposio de túneles de carretera celebrado en Granada y parece que fue ayer. Sin embargo, aunque no nos demos cuenta, han pasado y pasan muchas cosas. La Inteligencia Artificial está ya presente en casi todas las facetas de nuestra vida y los medios de comunicación no paran de introducir día a día este concepto en nuestros hogares y de hacernos creer que ya casi es una necesidad inmediata en toda nuestra forma de proceder.

Pero también, en el mundo de la carretera está evolucionando a gran velocidad el denominado ecosistema para obtener una conducción autónoma constituido por la infraestructura, el vehículo y el usuario que debe adaptarse al avance tecnológico. Las plataformas digitales, así como la digitalización del proyecto y la gestión de los túneles de carreteras son

enfoques innovadores destinados a mejorar la seguridad y la eficiencia de las infraestructuras, en este caso de los túneles. Los recientes avances tecnológicos proporcionan a los explotadores herramientas digitales que mejoran el seguimiento, el análisis y la toma de decisiones.

En este contexto, el lema escogido para el IX Simposio de túneles es el de “Los túneles en la nueva movilidad: digitales, conectados y sostenibles”, fruto de un amplio debate entre los miembros del Comité C5 “Túneles” de la Asociación Técnica de Carreteras que incluye el diseño de los túneles con sentido en el marco de la tecnología y la sostenibilidad, su proceso hasta la explotación a lo largo de todo el ciclo de vida teniendo en cuenta la innovación al servicio de túneles más seguros, eficientes y con menor huella de carbono y su proyección hacia el futuro mediante técnicas de integración, automatización e

Inteligencia Artificial. En definitiva, se trata de dar una visión moderna e innovadora de las infraestructuras subterráneas, especialmente adaptada a los retos y oportunidades actuales en el ámbito del transporte y la movilidad, incorporando el entorno digital mediante la monitorización en tiempo real y la sensorización para el tratamiento de datos y la mejora de la conectividad mediante la conexión entre las diferentes plataformas, para contribuir con todo ello a los objetivos medioambientales y de eficiencia energética.

Conemos que este Simposio, al igual que lo fueron sus predecesores, sea un éxito de participación en la que los expertos en la materia podamos intercambiar las experiencias adquiridas y alcanzar los objetivos que la nueva “cultura” del transporte y las diferentes facetas de la vida nos exigen.

Mas información: www.atc-piarc.com

Composición de la Junta Directiva de la ATC

PRESIDENTE:	- D. Álvaro Navareño Rojo
CO-PRESIDENTES DE HONOR:	- D. Juan Pedro Fernández Palomino - D. Pere Navarro Olivella
VICEPRESIDENTES:	- D.ª Paula Pérez López - D. Jorge Enrique Lucas Herranz - D.ª M.ª del Carmen Picón Cabrera
TESORERO:	- D. Pablo Sáez Villar
SECRETARIO:	- D. Pedro Gómez González
DIRECTORA:	- D.ª Ana Arranz Cuenca



VOCALES:

- Designados por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible:
 - D. Antonio Muruais Rodríguez
 - D. Álvaro Navareño Rojo
 - D. José Menchen Fisac
 - D.ª M.ª del Carmen Picón Cabrera
 - D.ª Patricia Sanz Lázaro
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
 - D.ª Ana Isabel Blanco Bergareche
 - D. Indalecio Candel González
 - D.ª Estíbaliz Olabarri González
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
 - D. Leonardo Javier Santamaría Mediavilla
 - D. Felipe Cobo Sánchez
 - D. Ángel María García Fuentes
 - D. Alfonso Lujano Jiménez
 - D. David Merino Rueda
 - D. Jesús Félix Puerta García
- 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 Teresa López Montero
 - D.ª Laura Parra Ruiz
 - D. Manuel Romana García
- Representantes de las sociedades concesionarias de carreteras:
 - D. Eduardo Arrojo Martínez
 - D. Bruno de la Fuente Bitaine
- Representantes de las empresas de ingeniería:
 - D. José Luis Mangas Panero
 - D. Tom Van Looy
 - D.ª Nuria Vázquez Fustes
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
 - D. Cesar Bartolomé Muñoz
 - D.ª Lucia Miranda Pérez
 - D. Joaquín Izquierdo Matesanz
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
 - D. Antonio Baamonde Roca
 - D. Carlos Bartolomé Marín
 - D. Javier Loma Lozano
 - D. Francisco Vea Folch
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
 - D. Federico Soria Martínez
 - D. Miguel Cañada Echaniz
- Entre los Socios de Honor:
 - D. Francisco Javier Criado Ballesteros
 - D. José Pablo Sáez Villar
- Entre los Socios de Mérito:
 - D. Alberto Bardsi Orue- Echevarría
 - D. Jorge Enrique Lucas Herranz
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
 - D. Pedro Gómez González
 - D.ª Anna París Madrona
 - D. Enrique Soler Salcedo
 - D. Ángel Sampedro Rodríguez
- Presidente saliente:
 - D.ª M.ª del Rosario Cornejo Arribas
- A designación del Presidente
 - D.ª Paula Pérez López

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
- Secretario	D. Adolfo Güell Cancela

MOVILIDAD, PLANIFICACIÓN Y DISEÑO

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

TÚNELES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Rafael López Guarga
- Vicepresidente	D. Ignacio del Rey Llorente
- Secretario	D. Rafael Sánchez Tostón

CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidenta	D.ª Paula Pérez López
- Secretario	D. Federico Soria Martínez

FIRMES DE CARRETERAS

- Presidenta	D.ª Valverde Jiménez Ajo
- Secretario	D. Ricardo Bardasano González

PUENTES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Emilio Criado Morán
- Secretario	D. José Vicente Martínez Sierra

GEOTECNIA VIAL

- Presidente	D. Manuel Romana García
- Secretario	D. Patricia Amo Sanz

SEGURIDAD VIAL

- Presidente	D. Roberto Llamas Rubio
- Secretaria	D.ª Beatriz Molina Serrano

CARRETERAS SOSTENIBLES Y RESILIENTES

- Presidente	D. Antonio Muruais Rodríguez
- Vicepresidenta	D.ª Laura Parra Ruiz
- Secretarías	D.ª Laura Crespo García D.ª Marina Martínez Orcajo

CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

- Presidenta	D.ª Mónica Laura Alonso Plá
- Secretaria	D.ª Mercedes Castro Rodríguez

DOTACIONES VIALES

- Presidente	D. Álvaro Navareño Rojo
- Secretario	D. Adolfo Hoyos-Limón Cortés

VALOR HISTÓRICO PATRIMONIAL

- Presidenta	D.ª Rita Ruiz Fernández
- Secretario	D. Carlos Casas Nagore

COORDINADOR DE COMITÉS

D. José del Cerro Grau

Socios de la ATC

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

- **Socios natos:**
 - Dirección General de Carreteras
 - Dirección General de Tráfico
- **Socios institucionales**
 - Socios protectores Tipo A
 - Socios protectores Tipo B
- **Socios a título individual:**
 - Socios de Honor
 - Socios de Mérito
 - Socios Individuales
 - Socios Senior
 - Socios Júnior

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
 2025 - D. ALBERTO BARDESI ORUE-ECHEVARRIA

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 AVIÑÓ 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
 2016 - D. PABLO SÁEZ VILLAR
 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-BOLÍVAR 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
 2022 - D. JORGE ENRIQUE LUCAS HERRANZ
 2022 - D. ÁLVARO PARRILLA ALCAIDE
 2023 - D. JOSÉ MANUEL BLANCO SEGARRA
 2023 - D. FRANCISCO JAVIER PAYÁN DE TEJADA GONZÁLEZ
 2023 - D. FRANCISCO JOSÉ LUCAS OCHOA
 2024 - D.ª ANA BLANCO BERGARECHE
 2024 - D. IGNACIO DEL REY LLORENTE
 2025 - D.ª PAULA PEREZ LÓPEZ

Socios natos, Socios institucionales y Socios protectores

Administración General del Estado

- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MITMS
- DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. MINISTERIO DEL INTERIOR
- DELEGACIÓN DEL GOBIERNO EN LAS SOCIEDADES CONCESIONARIAS DE AUTOPISTAS NACIONALES DE PEAJE. MTMS

Comunidades Autónomas

- COMUNIDAD DE MADRID
- GENERALITAT DE CATALUNYA
- GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE MEDIO AMBIENTE, INFRAESTRUCTURAS Y 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. AXENCIA GALEGA DE INFRAESTRUCTURAS

Ayuntamientos

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

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 SEVILLA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE TARRAGONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ÁVILA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE CÁCERES
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE HUELVA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE HUESCA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE LEÓN
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE PALENCIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SALAMANCA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEGOVIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALLADOLID
- CABILDO DE GRAN CANARIA
- CABILDO INSULAR DE TENERIFE
- CONSELL INSULAR DE MALLORCA. DIRECCION INSULAR DE INFRAESTRUCTURAS Y DE ITV

Colegios Profesionales y Centros de investigación y formación

- INSTITUTO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
- INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CATALUÑA (ITEC)
- 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, AFASE-METRA
- ASOCIACIÓN EMPRESARIAL PARA EL DESARROLLO E IMPULSO DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA, AEDIVE
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ÁMBITO NACIONAL, SEOPAN
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE CONSTRUCTORES INDEPENDIENTES, ANCI
- ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS, ATEB
- FORO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE, ITS ESPAÑA

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)
- 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)
- ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
- ALEÁTICA S.A.U.
- ALUMBRADOS VIARIOS, S. A.
- ALVAC, S.A.
- AMAC
- AMIBLU PIPES
- ANTER
- API MOVILIDAD, S.A.
- APPLUS NORCONTROL S.L.
- AQUATERRA SERVICIOS INFRAESTRUCTURAS S.L.
- ARCS ESTUDIOS Y SERVICIOS TÉCNICOS, S.L.
- ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
- ASFALTOS Y PAVIMENTOS, S.A.
- ASIMOB S.L.
- AUDECA, S.L.U.
- AYESA, INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
- BECSA, S.A.U.
- BENITO ARNÓ E HIJOS, S.A.U.
- BETAZUL, S.A.
- C-30 UTE
- CAMPEZO OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.
- CARTOLÓGICA, S.L.
- CEMOSA
- CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- CIN VALENTINE
- CINTRA SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- COLLOSA
- COMSA INSTALACIONES Y SISTEMAS INDUSTRIALES, S.L.U.
- CONSTRUCCIONES MAYGAR, S.L.
- CONSTRUCCIONES SAN JOSÉ
- CONSTRUCCIONES SARRIÓN, S.L.
- CPS INFRAESTRUCTURAS MOVILIDAD Y MEDIOAMBIENTE, S.L.
- CYOPSA - SISOCIA, S.A.
- DIGITAL TECHNOLOGY GMBH
- DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
- DOYMO S.A.
- DRACE GEOCISA, S.A.
- DRAGADOS, S.A.
- DRIZORO, S.A.U.
- ECOFIRMES IBÉRICA, S.L.
- EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS GESTIÓN Y DESARROLLO, S.L.
- EKIONA ILUMINACIÓN SOLAR, S.L.
- ELECNOR SERVICIOS Y PROYECTOS, S.A.U.
- ELSAMEX GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.L.
- EPTISA, SERVICIOS DE INGENIERÍA
- ESTEYCO, S.A.
- ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.
- ESTRUCTURAS TÉCNICAS Y SERVICIOS DE REHABILITACIÓN, S.L. (ETYSER)
- EUROCONSULT NUEVAS TECNOLOGÍAS S.A.U.
- FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.
- FERROVIAL CONSTRUCCIÓN
- FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
- FIXALIA ELECTRONIC SOLUTIONS, S.L.
- FOROVIAL
- FREYSSINET, S.A.
- GEOCONTROL, S.A.
- GERTEK
- GIVASA S.A.
- GLOBALVIA INVERSIONES
- GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
- GRUPO ALDESA S.A.
- HIDRODEMOLICIÓN, S.A.
- HOWDEN SPAIN, S.L.
- HUESKER GEOSINTÉTICOS, 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 ESPECIALIZADA OBRA CIVIL E INDUSTRIAL S.A.
- INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
- INTECSA
- INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
- INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A.U.
- JHASA BROKERS
- J. A. ROMERO POLO S. A.
- JHASA BROKERS
- KAO CORPORATION, S.A.
- LANTANIA, S.A.U.
- LGAI TECHNOLOGICAL CENTER, S.A.
- LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.
- MARTIÍN HOLGADO OBRA CIVIL S.L.U.
- MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- METALESA SEGURIDAD VIAL, S.L.
- MOEVE COMMERCIAL
- MULTISERVICIOS TRITÓN, S.L.
- NETUN SOLUTIONS
- NODO MEGA Z, S.L.
- NTT DATA EUROPE, S.L.U.
- OBRAS HERGÓN, S.A.U.
- OPTIMASOIL S.L.
- ORION REPARACION ESTRUCTURAL, S.L.
- PABASA EUROASFALT, S.A.
- PADECASA OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- PARMA INGENIERÍA
- PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
- PONDIO INGENIEROS, S.L.
- PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.
- PRODUCTOS Y SOLUCIONES VERDES DEL ASFALTO, S.L. (CIRTEC)
- PROES CONSULTORES, S.A.
- PUENTES Y CALZADAS INFRAESTRUCTURAS, S.L.U.
- QUIMICA DE LOS PAVIMENTOS, S.A.
- RAUROSZM.COM, S.L.
- REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.
- RETINEO, S.L.
- RETTENMAIER IBÉRICA
- ROAD STEEL ENGINEERING, 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)
- SEITT. S.M.E., S.A.
- SENER MOBILITY, S.A.U.
- SEÑAL CONFOR, S.L.
- SEÑALIZACIONES VILLAR, S.A.
- SERBITZU ELKARTEA, S.L.
- SERVEO INFRAESTRUCTURAS, S.A.U.
- SGS TECNOS, S.A.
- SIPRO INGENIERÍA, S.A.
- SISTEMAS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S.A.
- SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)
- SODECA, S. L. U.
- SOLUTIOMA, S.L.
- SOLER & PALAU VENTILATION GROUP, S.L.U.
- SOLMAX IBERIA S.L.
- SORIGUE, S.A.
- SYSTRA SUBTERRA
- S&P REINFORCEMENT SPAIN, S.L.
- TALLERES ZITRÓN, S.A.
- TECASEM
- TECLIVEN, S.L.
- TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPISA)
- TECNIVIAL, S.A.
- TECNOLOGÍA DE FIRMES, S.A.
- TEKIA INGENIEROS, S.A.
- TESPA PROTECCIÓN PASIVA, S.L.
- TPF GETINSA EUROESTUDIOS, S.L.
- TRABAJOS BITUMINOSOS, S. L.
- TRECHOBS CONSULTORES
- TRS - TYRE RECYCLING SOLUTIONS
- TUNELIA INGENIEROS, S.L.
- TYLIN
- URETEK SOLUCIONES INNOVADORAS
- VIDARA SPAIN
- VIRTON, S.A.
- VISEVER, S.L.
- VLS CONSTRUCTION SYSTEMS
- VSING INNOVA 2016, S.L.
- ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

Socios Individuales, Senior y Junior

Personas físicas (49) 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.

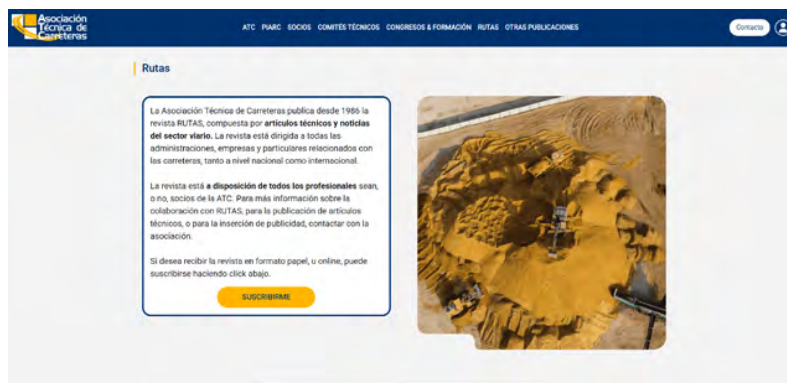
RUTAS

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.



www.atc-piarc.com/rutas

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.

“EL SABER NUNCA HA ESTADO TAN CERCA”



Descubre más en
www.atc-piarc.com

Creando
infraestructuras
para conectar
personas.

Becsa[®]
Simetría



Consulta nuestra web: becsa.es