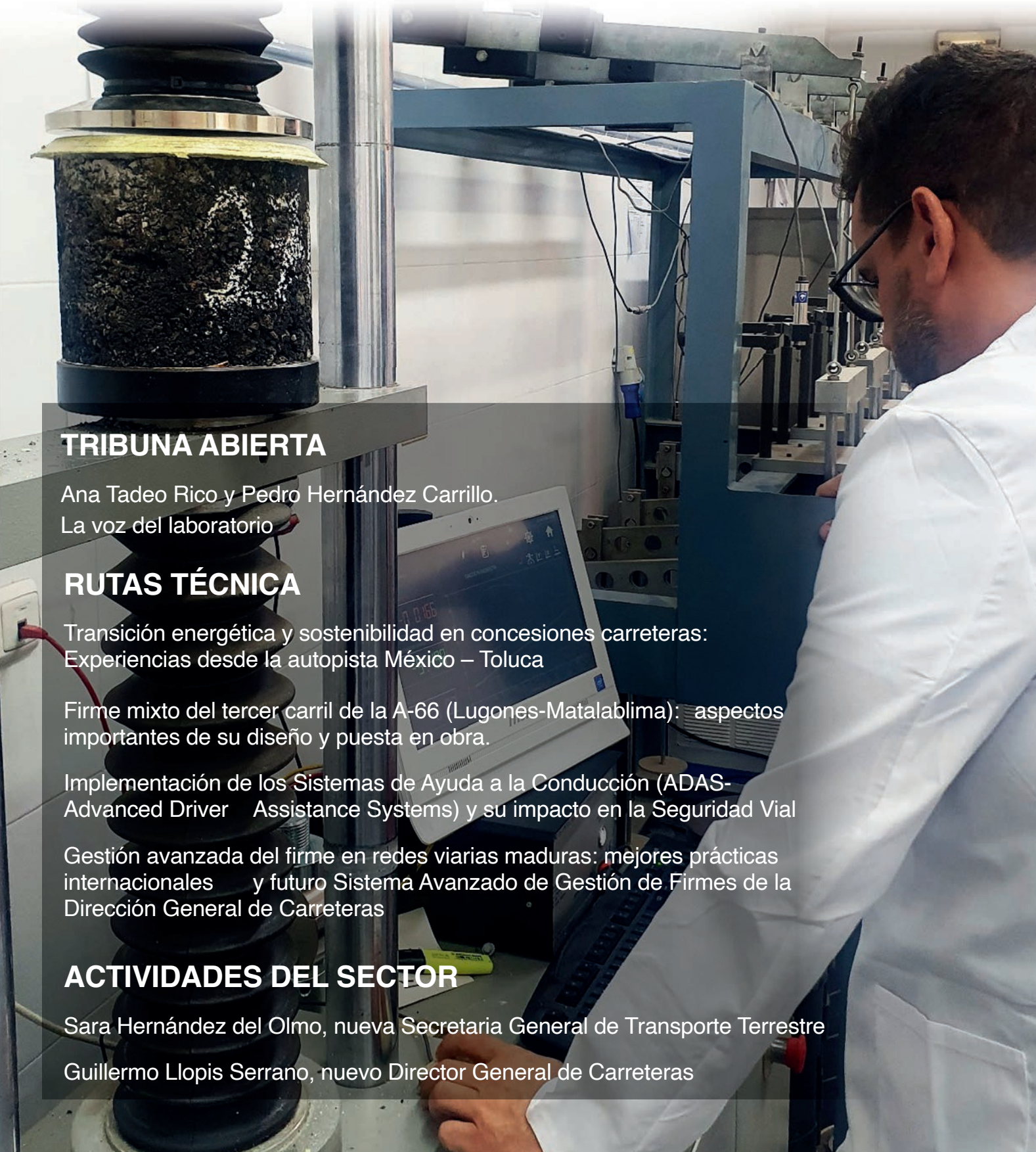
Asociación Técnica de Carreteras

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 208
JULIO - SEPTIEMBRE
2026

ISSN 1130-7102
Revista Trimestral



TRIBUNA ABIERTA

Ana Tadeo Rico y Pedro Hernández Carrillo.
La voz del laboratorio

RUTAS TÉCNICA

Transición energética y sostenibilidad en concesiones carreteras: Experiencias desde la autopista México – Toluca

Firme mixto del tercer carril de la A-66 (Lugones-Matalablima): aspectos importantes de su diseño y puesta en obra.

Implementación de los Sistemas de Ayuda a la Conducción (ADAS-Advanced Driver Assistance Systems) y su impacto en la Seguridad Vial

Gestión avanzada del firme en redes viarias maduras: mejores prácticas internacionales y futuro Sistema Avanzado de Gestión de Firmes de la Dirección General de Carreteras

ACTIVIDADES DEL SECTOR

Sara Hernández del Olmo, nueva Secretaria General de Transporte Terrestre

Guillermo Llopis Serrano, nuevo Director General de Carreteras

SUMARIO

NÚMERO 208

JULIO / SEPTIEMBRE 2026
REVISTA TRIMESTRAL

Tribuna Abierta

03 Los laboratorios: cimiento de las carreteras
Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez

Entrevista

04 Ana Tadeo Rico y Pedro Hernández Carrillo. La voz del laboratorio

Rutas Técnica

07 Transición energética y sostenibilidad en concesiones carreteras: Experiencias desde la autopista México – Toluca
Energy transition and sustainability in road concessions: Lessons learnt from the Mexico–Toluca motorway
Francisco Ramírez Moreno, Isaac Vázquez López, Marco Antonio Montiel Flores y Alejandra Mendoza González

14 Firme mixto del tercer carril de la A-66 (Lugones-Matalablima): aspectos importantes de su diseño y puesta en obra.
Composite pavement for the third carriageway of the A-66 (Lugones–Matalablima): key aspects of its design and construction.
Jesús Díaz, José Luis Carrera y Patricia Amo

24 Implementación de los Sistemas de Ayuda a la Conducción (ADAS- Advanced Driver Assistance Systems) y su impacto en la Seguridad Vial
Implementation of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and their impact on Road Safety
Grupo de trabajo 3 del Comité de Seguridad Vial de la ATC

42 Gestión avanzada del firme en redes viarias maduras: mejores prácticas internacionales y futuro Sistema Avanzado de Gestión de Firmes de la Dirección General de Carreteras
Advanced pavement management in mature road networks: international best practice and the future Advanced Pavement Management System of the Directorate General for Roads
Christian de la Calle, Antonio Muruais, Jose Antonio Ramos y Fernando Varela

Actividades del Sector

51 Sara Hernández del Olmo, nueva Secretaria General de Transporte Terrestre

52 Guillermo Llopis Serrano, nuevo Director General de Carreteras

53 La ATC, el IES Virgen de la Paloma y ACEX impulsan la formación en conservación de carreteras

PIARC

54 KEC presenta en España su propuesta para acoger el Congreso Mundial de Vialidad Invernal de PIARC de 2029

ATC

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

59 Curso de formación “Incendio en túneles”: conocimiento y experiencia para mejorar la seguridad

60 Próximos eventos ATC

61 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 Firmes de Carreteras
Fernando Pedrazo 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

Nº 208 JULIO - SEPTIEMBRE 2026

RUTAS
REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

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

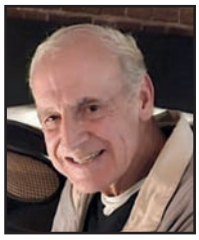
REVISTA RUTAS

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.

Los laboratorios: cimiento de las carreteras



Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

En los años de la década de 1950 se crearon varios laboratorios provinciales de carretera dependientes del Ministerio de Obras Públicas , y más tarde se crearon los llamados laboratorios regionales con más capacidad. En realidad, la práctica totalidad de las provincias han tenido en algún momento un laboratorio de carreteras. Pero desde los años 90 muchos de esos laboratorios han ido desapareciendo o languideciendo con honrosas excepciones. Casi siempre ha sido el empeño de sus responsables y de su personal lo que ha permitido que algunos hayan sobrevivido. Las exigencias de trabajo; las rigidices sindicales y administrativas; la trasnochada división entre personal laboral y funcionario; las restricciones para renovar equipos y otras, han sido las causas. Aceptando que no pueden realizar controles rutinarios, se aboga por su mantenimiento. Primero porque están nutridos por un personal de cualidades excepcionales. En pocas actividades se podrá encontrar a personas más formadas, entusiastas y con un amor tan abnegado a su trabajo. Tampoco se encontrará a responsables quijotescos que luchen contra los embates que les vienen de todos los frentes, especialmente del reconocimiento profesional. Se trata de auténticas pepitas (o mejor, filones) de oro que constituyen lo más genuino del patrimonio de la Dirección General de Carreteras del Estado. Desperdiciar el conocimiento y el compromiso de todas esas personas se cree que constituiría un auténtico desatino.

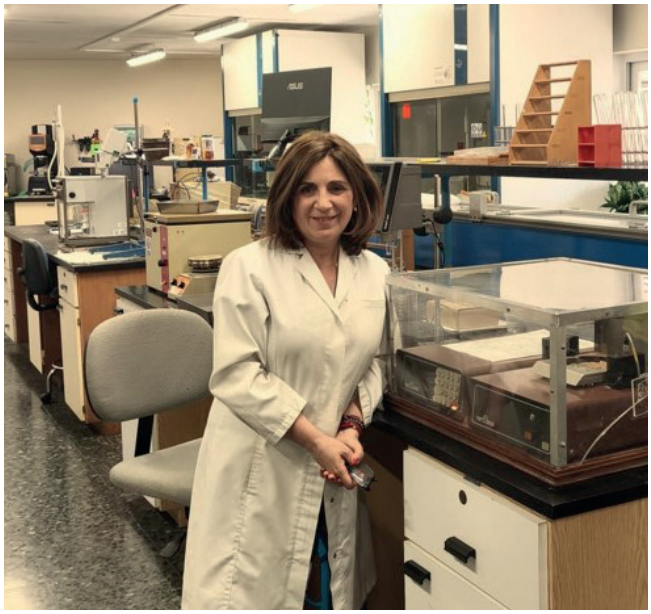
En segundo lugar, porque esos laboratorios, si organizan racionalmente la información en bases de datos y sistemas de intercambio de conocimiento, pueden dedicares al estudio de los comportamientos reales de los materiales y de los métodos constructivos, que es una carencia notable. La normativa tiene que ser cotejada con lo que ocurre en la realidad. También deberán ser fuente de innovación constante para mejora de las infraestructuras. Esa labor no la van a hacer ni los laboratorios ni las empresas privadas: no es su principal objetivo.

Hay que dar la bienvenida al nuevo impulso que desde la Dirección General de Carreteras del Estado se está dando a la potenciación de esos laboratorios que han resistido los embates del tiempo y del olvido. El «activo» más valioso que tiene la Administración son las personas. Mantenerlas, formarlas e incentivarlas es primordial para cumplir su misión. Los laboratorios suponen el núcleo que atesora gran parte del conocimiento de la técnica de carreteras. Sin personas con conocimiento y criterio la Administración se vería arrastrada por modas o por campañas de promoción hacia una situación de inconsistencia que pondría en peligro a las infraestructuras y a los propios usuarios. Incluso sería perjudicial para las empresas pues no se podría juzgar con equidad la calidad de sus trabajos.

En resumen, se aboga, no solo por detener una cierta tendencia que destecnifica y burocratiza la gestión de los bienes públicos, y que podría conducir a la desaparición definitiva de los laboratorios de la Red sumiendo a la propia Administración en una situación de peligrosa vulnerabilidad frente a embates externos, sino también por la potenciación del conocimiento y de una innovación que estén al servicio del bien común. ❖

Ana Tadeo Rico y Pedro Hernández Carrillo

La voz del laboratorio: experiencia, conocimiento y calidad al servicio de las carreteras



Ana Tadeo Rico

Pedro Hernández Carrillo

Por Valverde Jiménez Ajo

Los laboratorios de carreteras desempeñan un papel fundamental en el control de calidad de los materiales y en la mejora de las infraestructuras viarias. Son un instrumento esencial de control y garantía de la calidad de las obras, además de un espacio clave para el conocimiento, la innovación y la mejora de los materiales y las técnicas constructivas.

Para conocer mejor el trabajo que se desarrolla en estos laboratorios, hablamos con Pedro Hernández, Técnico Especialista en Química, con casi 36 años de experiencia vinculada al laboratorio y al control de calidad, y Ana Tadeo, licenciada en Ciencias Químicas, que este año cumple 34 años trabajando en el laboratorio, ambos técnicos de los laboratorios de la Red de Carreteras del Estado en Murcia y Valladolid, respectivamente.

¿Cómo llegasteis al mundo de los laboratorios de carreteras?

Pedro: No conocía por completo el sector de los laboratorios de carreteras. En aquel momento ni siquiera lo identificaba como una posible salida profesional para una persona formada en Química. Sin embargo, al conocerlo descubrí un ámbito muy amplio y técnico, en el que la química tiene un papel fundamental en el estudio y

caracterización de los materiales y en el control de calidad.

Una empresa constructora necesitaba poner en funcionamiento un laboratorio de autocontrol para supervisar la ejecución de un nuevo tramo de autovía de 52 kilómetros. La empresa contactó con uno de mis profesores y él, al conocer mi perfil, me puso en contacto con ellos. De este modo, tuve la oportunidad de incorporarme a un proyecto de gran envergadura y descubrir un ámbito profesional que, desde entonces, me ha marcado.

Ana: No conocía el sector de los laboratorios de carreteras. Poco después de incorporarse mi marido a una empresa constructora, conoció los laboratorios de obra y me comentó que probablemente me resultarían interesantes. Decidí informarme y el propio laboratorio me facilitó las normas NLT durante un fin de semana.

A partir de ahí, investigué qué organismos contaban con este tipo de laboratorios; consulté el BOE y el BOCYL y comprobé que la Junta de Castilla y León disponía de varios y convocaba plazas para analistas. Conseguí temarios de convocatorias anteriores y elaboré mi propio material de estudio de forma autodidacta, recurriendo a bibliotecas de Valladolid y Madrid, así como a las normas NLT. Finalmente, me presenté a las pruebas y comencé a trabajar aquí. Posteriormente, accedí por promoción interna a la plaza de químico que se encontraba vacante.

¿Qué es lo que más os atrae de vuestro trabajo?

Pedro: Lo que más me atrae de mi trabajo es poder formar parte de proyectos desde su inicio hasta su puesta en servicio. Ver cómo una infraestructura se planifica, se ejecuta y finalmente comienza a ser utilizada por la sociedad. Esto aporta una satisfacción difícil de describir.

Además, es una profesión dinámica, en la que cada obra plantea retos distintos y la monotonía apenas tiene cabida. También resulta muy gratificante saber que, desde el laboratorio y el control de calidad, contribuyo a que esas infraestructuras sean seguras, duraderas y útiles para las personas.

Ana: Aunque el trabajo de laboratorio en el ámbito del control de calidad puede parecer rutinario, en este sector cada muestra es diferente. Incluso realizando los mismos ensayos, los resultados nos obligan a seguir aprendiendo y profundizando en el comportamiento de los materiales, evitando quedarnos en una interpretación aislada.

El ámbito de actuación es muy amplio: ensayos de suelos, betunes, mezclas asfálticas, entre otros. Además, se incorporan nuevos ensayos, se revisan normas y participamos en ejercicios de interlaboratorios, lo que hace que el día a día sea dinámico y enriquecedor.

¿Qué trabajos se realizan en un laboratorio de carreteras?

Pedro: Nuestro trabajo principal consiste en realizar ensayos fisicoquímicos sobre los materiales empleados en las obras. Se trata de una actividad muy dinámica y diversa: podemos realizar desde trabajos aparentemente sencillos, como la medición de la retrorreflexión de las pinturas y de los elementos de señalización que ayudan a guiar al usuario por la vía, hasta tareas de mayor complejidad técnica, como la formulación y dosificación de mezclas de hormigón o la calibración de una planta de fabricación de mezclas asfálticas.

Esa variedad convierte al laboratorio en una pieza esencial para controlar que los materiales y los procesos constructivos cumplan las exigencias previstas en cada proyecto.

Ana: Realizamos una amplia variedad de ensayos. Entre los trabajos que realizamos destacan ensayos de suelos y suelos estabilizados, áridos, ensayos geotécnicos, betunes, mezclas asfálticas, rotura de probetas de hormigón, extracción de testigos y ensayos in situ, entre otros.

¿En qué fases o líneas de trabajo pueden aportar más los laboratorios de las demarcaciones?

Pedro: Los laboratorios de las demarcaciones pueden aportar valor en prácticamente todas las fases y unidades de obra vinculadas a la carretera: desde la caracterización inicial de los materiales y el control de recepción, hasta el seguimiento de la ejecución, la evaluación de firmes, estructuras, señalización y otros elementos de la infraestructura.

Nos desenvolvemos en un sector sometido a una innovación constante, tanto en materiales como en técnicas constructivas, criterios de sostenibilidad y métodos de control. En este contexto, los laboratorios públicos desempeñan una función especialmente relevante al aportar una evaluación técnica independiente, basada en datos objetivos y ajena a intereses comerciales o privados.

Además de su labor de control y verificación, constituyen una base fundamental para el desarrollo, validación y actualización de nuevas especificaciones, normativas y métodos de ensayo.

Ana: Desde mi experiencia, los laboratorios aportan valor en todas las fases, aunque la fase de construcción es especialmente exigente por la inmediatez de los plazos.

En la actualidad, el trabajo se centra más en conservación. Ejemplos recientes son los ensayos realizados para el proyecto EFAPAVES en Valla-

Laboratorio de Murcia

Laboratorio de Valladolid

dolid o la humanización de la VA-20. Cuando comencé en 1992, también participábamos activamente en estudios para el servicio de proyectos de la Demarcación, encargándonos de la parte experimental.

¿Qué mejoras consideráis necesarias para reforzar el papel de los laboratorios?

Pedro: Además de la necesaria mejora de las plantillas, resulta fundamental garantizar un relevo generacional ordenado, con períodos de solapamiento suficientes que permitan transmitir la experiencia y el conocimiento acumulados. Asimismo, sería conveniente acercar el trabajo de los laboratorios de carreteras a los planes de estudio de Formación Profesional, para dar a conocer esta salida profesional y facilitar la incorporación de personal con una formación técnica adecuada.

También considero que los laboratorios de carreteras deben reforzar su papel como centros de conocimiento técnico. No se trata únicamente de realizar ensayos y comprobar el cumplimiento de unas especificaciones, sino de transformar los resultados obtenidos en información útil para mejorar proyectos, obras, conservación y normativa.

Una línea prioritaria es la digitalización y estructuración de los datos. Los laboratorios acumulan durante años una enorme cantidad de resultados sobre materiales, procedimientos de obra y comportamiento de los firmes. Si esa información se integra, se georreferencia y se vincula con la evolución real de las carreteras, puede convertirse en una herramienta muy valiosa para anticipar problemas y tomar mejores decisiones.

Ana: Además de contar con personal suficiente y recursos adecuados, es fundamental reconocer el valor del trabajo que se realiza en estos laboratorios. La concienciación sobre su importancia es clave.

La perseverancia, el compromiso con la calidad y la independencia respecto a empresas externas han demostrado su valor, y hoy se percibe una recuperación del papel de estos centros, e incluso la posible creación de nuevos.

Actualmente se habla mucho de sostenibilidad como un concepto novedoso, pero en realidad siempre ha estado presente: sostenibilidad es durabilidad. Invertir en equipamiento y en laboratorios tiene sentido si se mantiene en el tiempo, garantizando calidad.

Para terminar, ¿qué les diríais a los jóvenes que estén pensando en incorporarse a este sector?

Pedro: Les diría que los laboratorios de carreteras son un ámbito profesional exigente y poco rutinario, adecuado para personas con curiosidad técnica, capacidad de observación e iniciativa. Requiere combinar flexibilidad ante los problemas que plantea cada obra con rigor y método en la realización e interpretación de los ensayos.

No es un trabajo para quien busque una tarea repetitiva, pero sí una excelente opción para quien quiera aprender de forma permanente, resolver retos técnicos y contribuir directamente a la calidad, seguridad y durabilidad de las infraestructuras.

Ana: Es posible que, desde fuera, no se tenga una idea clara de lo que es un laboratorio de carreteras. Sin embargo, la variedad de ensayos es muy atractiva: los hay de naturaleza química, física y fisicoquímica.

Invitaría a los jóvenes a conocer este ámbito y a dejarse sorprender por el trabajo que se realiza. Es un sector poco visible para la sociedad, pero con una larga trayectoria en España. ❖

Transición energética y sostenibilidad en concesiones carreteras: Experiencias desde la autopista México – Toluca

Energy transition and sustainability in road concessions: Lessons learnt from the Mexico–Toluca motorway

Francisco Ramírez Moreno
Dirección Corporativa & Compliance Officer
Grupo PINFRA
Director del Máster Internacional en Gestión Sostenible, ESG y Responsabilidad Social de la Universidad de Barcelona

Isaac Vázquez López
Coordinador de Gestión Ambiental
Grupo PINFRA

Marco Antonio Montiel Flores
Analista de Información
StrategyIntel Group

Alejandra Mendoza González
Gerente de Responsabilidad Social y Medio Ambiente
Grupo PINFRA

Este documento analiza la transición energética y sus efectos en la sostenibilidad a partir de la implementación de sistemas fotovoltaicos en la autopista México – Toluca. El objetivo es evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales de la incorporación de energía solar en una infraestructura con alto volumen de tránsito, así como su potencial de replicabilidad en otras concesiones viales.

La investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo de estudio de caso, utilizando registros técnicos de consumo eléctrico, información operativa de la concesión y cálculos de huella de carbono conforme al Greenhouse Gas Protocol. Se compararon los niveles de consumo energético y las emisiones de CO antes y después de la entrada en operación de los sistemas fotovoltaicos instalados en casetas de cobro y en un túnel del corredor.

Los resultados evidencian una reducción del consumo eléctrico del 62.31%, una disminución del 56.33% en las emisiones de CO y un retorno estimado de la inversión de 4.23 años, lo que demuestra la viabilidad económica del proyecto. Adicionalmente, la implementación del sistema fortaleció la vinculación con comunidades locales mediante programas de empleo temporal, generando impactos sociales positivos alineados con los principios de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa.

En conjunto, los hallazgos confirman que la integración de energías renovables en concesiones carreteras es técnica y económicamente viable, y contribuye de manera efectiva a las estrategias de sostenibilidad y mitigación del cambio climático. El caso de la autopista México–Toluca se presenta como un modelo replicable en contextos similares.

This document analyzes the energy transition and its effects on sustainability through the implementation of photovoltaic systems on the Mexico–Toluca highway. The objective is to assess the environmental, economic, and social impacts of incorporating solar energy into a high-traffic transportation infrastructure, as well as its potential replicability across other road concessions.

The research was conducted using a qualitative case study approach, drawing on technical records of electricity consumption, operational data from the concession, and carbon footprint calculations in accordance with the Greenhouse Gas Protocol. Energy consumption levels and CO emissions were compared for the periods before and after the commissioning of the photovoltaic systems installed at toll booths and within a tunnel along the toll corridor.

The results indicate a 62.31% reduction in electricity consumption, a 56.33% decrease in CO emissions, and an estimated return on investment of 4.23 years, demonstrating the project's economic feasibility. In addition, the implementation of the photovoltaic system strengthened engagement with local communities through temporary employment programs, generating positive social impacts aligned with the principles of sustainability and corporate social responsibility.

Overall, the findings confirm that the integration of renewable energy into highway concessions is both technically and economically viable and contributes effectively to corporate sustainability strategies and climate change mitigation. The Mexico–Toluca highway is presented as a replicable model for similar contexts.

Introducción

En los últimos años, la sostenibilidad se ha consolidado como un eje central en el desarrollo de la infraestructura, impulsada por problemáticas globales como el cambio climático, la transición energética y los procesos de urbanización acelerada. El sector carretero, debido a sus elevados niveles de consumo energético y a su carácter estratégico para la conectividad territorial y el desarrollo económico, se ha visto particularmente presionado a adoptar modelos de operación más eficientes y con menor impacto ambiental. En este contexto, la integración de energías renovables en la infraestructura vial se plantea como una alternativa viable para reducir la huella ambiental y avanzar hacia sistemas de transporte más sostenibles [1] [2].

El concepto de desarrollo sostenible, introducido por el Informe Brundtland [3] ha orientado la incorporación de aspectos ambientales, sociales y económicos en la infraestructura. Este enfoque ha permeado progresivamente en el ámbito de la infraestructura, promoviendo una visión integral que articula las dimensiones ambiental, económica y social.

En el ámbito de las concesiones carreteras, la transición energética representa un desafío específico, ya que estas infraestructuras requieren un suministro eléctrico continuo para la iluminación, los sistemas de peaje, la seguridad y la operación permanente. No obstante, este mismo carácter operativo abre una oportunidad significativa para la generación distribuida mediante fuentes renovables, particularmente a través de sistemas fotovoltaicos instalados en casetas de cobro, túneles y zonas operativas. A nivel internacional, diversas experiencias han demostrado el potencial de las carreteras para contribuir tanto a la reducción de impactos ambientales como a la mejora del desempeño económico, aunque la evidencia empírica en contextos latinoamericanos sigue siendo limitada [4] [5].

En el caso de México, la transición hacia modelos de infraestructura vial más sostenibles ha cobrado relevancia en los últimos años, especialmente en proyectos concesionados que buscan alinear su operación con criterios de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa. En este sentido, la autopista México–Toluca constituye un caso de estudio relevante debido a su importancia estratégica, su elevado volumen de tránsito vehicular y la implementación de un proyecto piloto de energía solar como parte de una estrategia corporativa de transición energética.

El objetivo de este artículo es analizar los impactos ambientales, económicos y sociales derivados de la implementación de sistemas fotovoltaicos en una concesión carretera en México, a través del estudio de caso de la autopista México–Toluca. Asimismo, se pretende evaluar la viabilidad de este modelo y su potencial de replicabilidad en otras infraestructuras viales concesionadas, contribuyendo al debate académico y de los distintos actores implicados, sobre sostenibilidad y transición energética en el sector carretero.

Sostenibilidad, concesiones carreteras y responsabilidad social

Las concesiones carreteras constituyen un modelo de gestión de infraestructuras que combina inversión privada con la provisión de un servicio público esencial mediante contratos de largo plazo. Este esquema implica que las empresas concesionarias asuman responsabilidades extendidas frente a la Administración pública y la sociedad, dado que su operación tiene efectos prolongados y directos sobre los territorios, las comunidades locales y las dinámicas económicas regionales. En este contexto, la sostenibilidad trasciende el desempeño técnico y financiero de la infraestructura, incorporando dimensiones relacionadas con la legitimidad social del proyecto y la calidad de su gobernanza [2] [5].

Desde la perspectiva de la responsabilidad social, las concesiones carreteras actúan como actores territoriales relevantes, cuyas decisiones inciden en el empleo local, la movilidad regional y la relación con las comunidades ubicadas en su área de influencia. La literatura especializada señala que una gestión sostenible de las concesiones requiere mecanismos de diálogo, transparencia y participación orientados a atender expectativas sociales, prevenir conflictos y generar valor compartido. En este sentido, la responsabilidad social corporativa se consolida como un componente estratégico para la continuidad y estabilidad de los proyectos concesionales [6] [7].

Los marcos internacionales de sostenibilidad han contribuido a institucionalizar estas expectativas mediante estándares que integran las dimensiones: ambiental, social y de gobernanza en la gestión empresarial. Instrumentos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible —en particular aquellos vinculados con la energía, la infraestructura y el desarrollo urbano sostenible— y las directrices del Global Reporting Initiative han incentivado a las empresas concesionarias a incorporar indicadores de desempeño social, prácticas de rendición de cuentas y políticas de vinculación comunitaria. Estos elementos fortalecen la transparencia, la confianza de los grupos de interés y la aceptación social de los proyectos [1] [6].

Figura 1. Perspectiva aérea de la autopista México – Toluca

En América Latina, las concesiones carreteras enfrentan desafíos adicionales asociados a desigualdades territoriales, marcos regulatorios complejos y una elevada sensibilidad social frente a los proyectos de infraestructura. En este escenario, la sostenibilidad adquiere un carácter relacional, en el que resulta tan relevante la eficiencia operativa de la concesión como su capacidad para gestionar de manera adecuada el entorno social en el que se inserta. En este sentido, iniciativas vinculadas a la transición energética pueden actuar como catalizadores para reforzar la legitimidad territorial de las concesiones y consolidar su aceptación social [8].

Desde esta perspectiva, el análisis de la transición energética en concesiones carreteras permite comprender cómo las estrategias de sostenibilidad pueden materializarse en la gestión operativa de infraestructuras viales, aportando evidencia empírica a un ámbito de estudio aún poco explorado en contextos latinoamericanos.

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, utilizando la estrategia metodológica del estudio de caso para analizar de manera detallada la implementación de sistemas fotovoltaicos en una concesión carretera mexicana. Este enfoque resulta pertinente para el análisis de fenómenos contemporáneos en contextos reales, especialmente cuando los límites entre el fenómeno estudiado y su entorno no se encuentran claramente delimitados, como ocurre en los procesos de innovación y sostenibilidad en infraestructura [9].

Selección del caso de estudio

La autopista México–Toluca fue seleccionada como unidad de aná-

Figura 2. Plazas de cobro de la autopista México – Toluca

lisis debido a su importancia estratégica dentro del sistema carretero nacional, su elevado volumen de tránsito —estimado en aproximadamente 90,000 vehículos diarios— y la reciente implementación de un proyecto piloto de generación solar. Estas características la convierten en un caso pertinente para analizar la viabilidad de integrar energías renovables en infraestructuras viales de alta demanda operativa.

La instalación de sistemas fotovoltaicos en casetas de peaje y en un túnel del corredor vial proporcionó un contexto adecuado para evaluar el desempeño energético del sistema, así como los efectos asociados a la sostenibilidad y a la responsabilidad social en la operación de la concesión.

Recolección de información

La recolección de datos se realizó mediante una estrategia mixta, combinando información cuantitativa y cualitativa proveniente de diversas fuentes:

- Información cuantitativa: registros históricos de consumo eléctrico, facturación de energía y cálculos de huella de carbono elaborados conforme a la metodología del Greenhouse Gas Protocol, bajo el alcance 2 de la norma ISO 14064-2:2019.
- Información cualitativa: revisión documental de reportes técnicos del proyecto, documentación operativa de la concesión y material proporcionado por el proveedor encargado de la instalación de los sistemas fotovoltaicos.

Procedimiento de análisis

El análisis se desarrolló en tres fases principales:

1. Diagnóstico preliminar: revisión de contratos de suministro eléctrico, registros de consumo histórico y levantamientos técnicos para evaluar la factibilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos en la infraestructura existente.
2. Implementación del sistema: instalación de 1,070 paneles solares monocristalinos con una capacidad individual de 410 W, así como su interconexión a la red eléctrica mediante un medidor bidireccional autorizado por la Comisión Federal de Electricidad. Cabe señalar que, en el contexto regulatorio mexicano, los sistemas de generación distribuida permiten la interconexión de excedentes de energía a la red eléctrica nacional, mediante esquemas de medición bidireccional, a diferencia de otros marcos regulatorios donde la generación renovable puede limitarse exclusivamente al autoconsumo.
3. Evaluación preliminar de resultados: comparación del consumo energético y de las emisiones de dióxido de carbono antes y después de la entrada en operación del sistema fotovoltaico, considerando el periodo comprendido entre octubre de 2021 y marzo de 2022. Asimismo, se estimó el retorno de inversión y se analizó el potencial de replicabilidad del modelo en otras concesiones carreteras.

Esta aproximación metodológica permitió hacer un análisis exhaustivo de los efectos de la transición energética sobre la autopista México–Toluca y produjo, de esta manera, evidencia empírica sobre la viabilidad técnica, social y económica de la incorporación de energías renovables en la infraestructura vial concesionada.

Resultados

1. Consumo energético

El análisis comparativo del consumo eléctrico previo y posterior a la entrada en operación de los sistemas fotovoltaicos muestra una reducción acumulada del 62.31% en el periodo analizado (octubre de 2021 a marzo de 2022). Esta reducción corresponde al descenso en la energía demandada a la red eléctrica convencional como resultado

de la generación in situ mediante los paneles solares instalados en casetas de cobro y en un túnel del corredor vial.

Los registros de consumo eléctrico evidencian una disminución sostenida a partir del inicio de la operación del sistema fotovoltaico, lo que indica una mejora en el desempeño energético de la infraestructura concesionada. La Figura 3 presenta la evolución del consumo eléctrico antes y después de la incorporación de los sistemas fotovoltaicos.

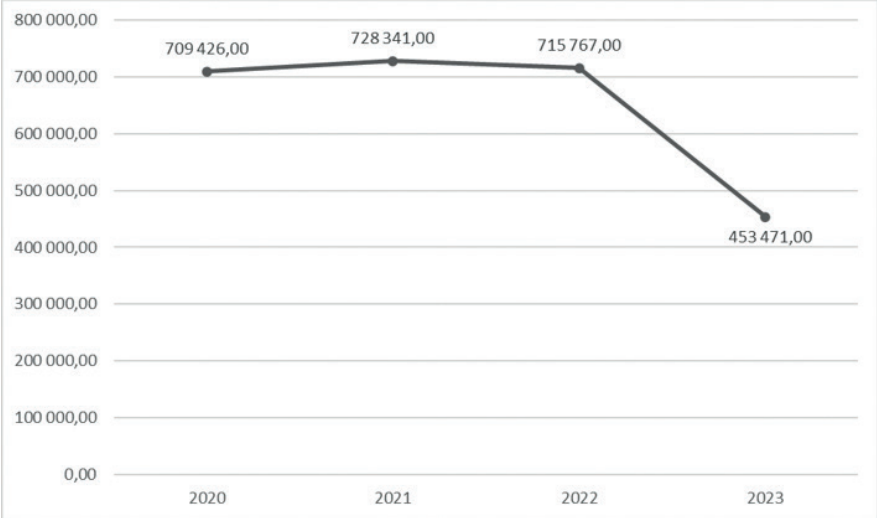


Figura 3. Evolución del consumo energético en kilowatios hora (kWh) antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico en la autopista México – Toluca

2. Impacto ambiental

La evaluación del impacto ambiental se realizó mediante el cálculo de la huella de carbono conforme a la metodología del Greenhouse Gas Protocol (alcance 2), considerando las emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad. Los resultados indican una reducción del 56.33% en las emisiones de dióxido de carbono en el periodo comprendido entre 2020 y 2023.

Esta reducción se asocia a la disminución del consumo de energía eléctrica proveniente de la red convencional, derivada de la generación de energía solar en la operación de la autopista.

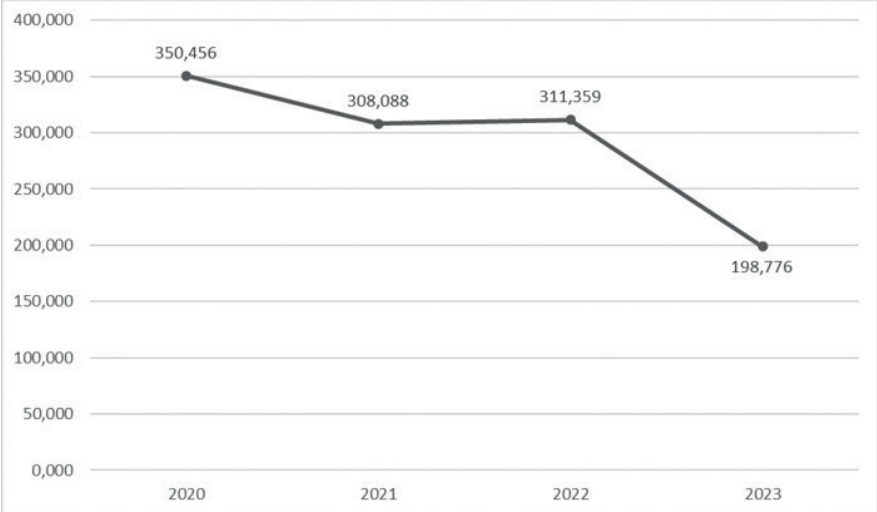


Figura 4. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) asociadas al consumo eléctrico, 2020–2023

3. Rentabilidad económica

El análisis económico del proyecto se realizó a partir de la capacidad instalada de 1,070 paneles solares monocristalinos de 410 W, de los consumos eléctricos históricos y de la energía generada por los sistemas fotovoltaicos. Con base en estos datos, se estimó un periodo de retorno de la inversión (ROI) de 4.23 años.

Tabla 1. Análisis económico (en pesos mexicanos, MXN) del sistema fotovoltaico y estimación del retorno de la inversión

Periodo	Ahorro económico
2020 – 2021	$ 315 033,00
2021 – 2022	$ 341 607,00
2022 – 2023	$ 611 748,00
Total	$ 1 268 388,00

Este cálculo se realizó considerando exclusivamente los ahorros derivados de la disminución en la energía eléctrica facturada por la red convencional, a partir de la sustitución parcial del consumo mediante generación solar in situ, sin contemplar ingresos asociados a la comercialización de excedentes de energía. La reducción sostenida del gasto asociado al consumo eléctrico genera una liberación progresiva de recursos económicos, que pueden destinarse a actividades de operación, mantenimiento y mejora de la infraestructura vial.

4. Impacto social

La ejecución del proyecto fotovoltaico tuvo efectos sociales en la región de influencia de la autopista, particularmente en localidades como San Lorenzo Acopilco, La Pila y La Marquesa. Durante la fase de instalación y puesta en marcha del sistema se implementó un programa de empleo temporal orientado a la contratación de mano de obra local.

Estas acciones permitieron la participación de las comunidades en el proyecto y se tradujeron en beneficios asociados a la generación de ingresos temporales y al fortalecimiento de la relación entre la concesionaria y su entorno social.

5. Potencial de replicabilidad

Los resultados obtenidos en la autopista México–Toluca muestran que la incorporación de sistemas fotovoltaicos en concesiones carreteras es técnica, ambiental y económicamente viable. La experiencia analizada indica que este modelo puede ser replicable en otras infraestructuras viales concesionadas, siempre que se consideren las condiciones técnicas, operativas y ambientales específicas de cada proyecto.

Este estudio presenta como alcance principal el análisis en profundidad de un caso específico de implementación de sistemas fotovoltaicos en una concesión carretera mexicana, lo que permite comprender los efectos de la transición energética en un contexto real de operación. Como limitación, al tratarse de un estudio de caso único y con resultados preliminares, los hallazgos no son generalizables de manera estadística a otras concesiones; no obstante, aportan evidencia empírica relevante para un campo de estudio aún poco explorado en el contexto latinoamericano, y constituyen una base para investigaciones futuras de carácter comparativo o longitudinal.

Discusión

Los resultados obtenidos a partir del estudio de caso de la autopista México–Toluca aportan evidencia empírica relevante sobre la conveniencia de integrar sistemas fotovoltaicos en concesiones viales como parte de una estrategia de transición energética. La reducción significativa en el consumo de energía eléctrica y en las emisiones de dióxido de carbono es consistente con hallazgos reportados en experiencias internacionales de infraestructura vial que han incorporado generación solar distribuida en puntos operativos, particularmente en autopistas de Europa y Asia [2] [4]. Estos estudios coinciden en señalar que la integración de energías renovables en infraestructuras de transporte permite reducir la dependencia de la red convencional sin comprometer la operación del servicio.

La reducción del 62.31% en el consumo de energía eléctrica se encuentra en línea con rangos de ahorro reportados en estudios internacionales sobre integración fotovoltaica en infraestructura de transporte, que documentan disminuciones relevantes en la demanda energética convencional cuando los sistemas se instalan en puntos de consumo continuo como túneles, estaciones de peaje y centros de control. Sin embargo, el caso mexicano aporta evidencia adicional al mostrar que estos beneficios pueden alcanzarse en concesiones viales de alta intensidad operativa, con elevados volúmenes de tránsito y condiciones climáticas propias de regiones latinoamericanas.

Desde la perspectiva ambiental, la reducción del 56.33% en las emisiones de CO confirma el potencial de la generación distribuida como herramienta eficaz para la mitigación de la huella de carbono en la operación de infraestructuras viales. Este resultado es coherente con la literatura internacional que vincula la transición energética con el cumplimiento de objetivos climáticos y de sostenibilidad corporativa. En este sentido, el estudio contribuye a ampliar la evidencia empírica disponible al trasladar estos planteamientos teóricos a un contexto concesional latinoamericano, donde la infraestructura vial representa un sector estratégico para la reducción de emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico.

En términos económicos, el periodo estimado de retorno de la inversión de 4.23 años se sitúa dentro de los rangos reportados por estudios internacionales sobre proyectos fotovoltaicos en infraestructura de transporte, que destacan la competitividad financiera de la energía solar en escenarios de consumo energético constante. Este hallazgo refuerza el argumento de que la transición energética en concesiones carreteras no solo responde a criterios ambientales, sino que puede integrarse de manera efectiva en la lógica económica y operativa de proyectos concesionales de largo plazo, incluso en mercados emergentes.

La dimensión social del proyecto introduce un elemento distintivo respecto a buena parte de la literatura internacional, que suele centrarse principalmente en el desempeño técnico y económico de las infraestructuras. La vinculación con comunidades locales

mediante programas de empleo temporal evidencia que, en contextos latinoamericanos, la transición energética puede adquirir un papel adicional como herramienta de legitimación territorial y fortalecimiento de la relación entre concesionarias y comunidades. Este aspecto resulta particularmente relevante en regiones donde la aceptación social de los proyectos de infraestructura constituye un factor crítico para su estabilidad y continuidad [6] [8].

Conclusiones

Este estudio analizó la incorporación de sistemas fotovoltaicos en una concesión carretera mexicana como parte de una estrategia de transición energética y sostenibilidad aplicada, a partir del caso de la autopista México–Toluca. Los resultados obtenidos confirman que la integración de energía solar en infraestructura vial concesionada es técnicamente factible, ambientalmente efectiva y económicamente viable, sin afectar la continuidad ni la seguridad de la operación.

La reducción significativa del consumo energético y de las emisiones de dióxido de carbono evidencia el potencial de la generación distribuida como herramienta para disminuir la huella ambiental asociada a la operación de infraestructuras viales con alta demanda eléctrica. En este sentido, las concesiones carreteras pueden desempeñar un papel activo en las estrategias de mitigación del cambio climático, más allá de su función tradicional como soporte de la movilidad.

Desde una perspectiva económica, el periodo de retorno de la inversión estimado demuestra que la transición energética puede integrarse de manera coherente en la lógica financiera de proyectos concesionales de largo plazo. Esto refuerza la idea de que la sostenibilidad no constituye un costo adicional, sino una oportunidad para mejorar la eficiencia operativa y fortalecer la estabilidad económica de las concesiones.

El análisis también pone de relieve la dimensión social de la transición energética en infraestructura vial. La vinculación con comunidades locales a través de programas de empleo temporal contribuye a fortalecer la legitimidad territorial de las concesiones y a generar valor social en su área de influencia, un aspecto especialmente relevante en contextos latinoamericanos donde la aceptación social de los proyectos de infraestructura resulta determinante para su viabilidad.

Si bien el estudio se limita a un caso específico y a resultados preliminares, la evidencia presentada aporta conocimiento aplicado a un campo aún poco explorado en América Latina. El caso de la autopista México–Toluca se posiciona como una referencia empírica para el diseño y la gestión de concesiones viales que integren la transición energética como parte de una estrategia integral de sostenibilidad, abriendo líneas de investigación futura orientadas a estudios comparativos y evaluaciones longitudinales en el sector carretero.

Referencias

[1] United Nations (UN). (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. https://sdgs.un.org

[2] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2018). Infrastructure governance. https://www.oecd.org

[3] Brundtland Commission. (1987). Our common future. Oxford University Press.

[4] International Energy Agency (IEA). (2020). Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025. https://www.iea.org

[5] World Bank. (2021). Sustainable transport and infrastructure. https://www.worldbank.org

[6] Global Reporting Initiative (GRI). (2021). GRI standards. https://www.globalreporting.org

[7] Porter, M. E., y Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. Harvard Business Review, 89(1–2), 62–77.

[8] Martínez, L., y Rodríguez, P. (2017). Infraestructura, territorio y desarrollo sostenible en América Latina. Revista de Estudios Regionales, 108, 45–67.

[9] Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and. Sage Publications.❖

Firme mixto del tercer carril de la A-66 (Lugones-Matalablima): aspectos importantes de su diseño y puesta en obra.

Composite pavement for the third carriageway of the A-66 (Lugones–Matalablima): key aspects of its design and construction.

Jesús Díaz
Lantania

Patricia Amo
Huesker Geosintéticos S.A.U.

José Luis Carrera
Dirección General de Carreteras, Demarcación Asturias. MITMS

El Proyecto, de la Dirección General de Carreteras, fue construido por la UTE Lugones, compuesta por las empresas Lantania y ASCH. La actuación consistía, principalmente en la ampliación a un tercer carril por exteriores y mediana en ambas calzadas, Ejes 3 y 4, del tronco de la A-66 entre los PPKK 21+080 / 25+470 con una longitud de 4.390 m. Parte de los cuales se diseñaron con un firme rígido continuo de hormigón HF-4,5 y conforme a la sección 031; mediante la ejecución de un firme continuo de hormigón, manteniendo la misma tipología de firme rígido del existente. Posteriormente, en todos los carriles se extendieron dos capas de mezcla bituminosa, entre ambos tipos de firmes se colocó un geosintético como capa antireflexión de fisuras. La comunicación versa sobre los aspectos técnicos de la ejecución del firme y auscultación del existente: detección de deterioros superficiales en el firme existente, tipo de extendedora, hormigón y su puesta en obra, tipo de geosintético y su puesta en obra e importancia de la interfaz. Así como los aspectos que se deben tener en cuenta para futuros diseños y ejecución de este tipo de firmes mixtos con tráfico elevado, cuya normativa a nivel estatal, actualmente, no los contempla.

The project, undertaken by the Directorate-General for Roads, was carried out by the Lugones joint venture, comprising the companies Lantania and ASCH. The works mainly involved the widening to a third lane on the outer sides and the central reservation on both carriageways, Axes 3 and 4, of the A-66 main carriageway between kilometre markers 21+080 and 25+470, over a length of 4,390 m. Part of this section was designed with a continuous rigid concrete pavement of HF-4.5 grade, in accordance with Section 031; this was achieved by laying a continuous concrete pavement, maintaining the same type of rigid pavement as the existing one. Subsequently, two layers of bituminous mix were laid on all lanes; between the two types of pavement, a geosynthetic was installed as an anti-crack reflection layer. This paper discusses the technical aspects of the pavement construction and inspection of the existing structure: detection of surface deterioration in the existing pavement, the type of paver, the concrete and its placement, the type of geosynthetic and its installation, and the importance of the interface. It also addresses the aspects that must be taken into account for future designs and construction of this type of composite pavement subjected to heavy traffic, for which national regulations do not currently provide guidance.

1. Introducción

El objeto del Proyecto se puede dividir en dos, por un lado, aumentar la capacidad del tráfico dentro de la denominada "Y" asturiana, mediante la ampliación de carril en la A-66 entre el enlace de Lugones y de Matalablima debido al crecimiento poblacional de la zona. Y por otro lado mejorar el firme existente, adecuación del trazado a la normativa actual y mejorar aspectos medioambientales como el ruido emitido en la rodadura. El Proyecto de la Dirección General de Carreteras, fue realizado por LRA Infraestructures Consulting y LCA Consultoría Infraestructuras y construido por la UTE Lugones, compuesta por las empresas Lantania y ASCH.

La ampliación a tercer carril se efectuó por exterior y mediana en ambas calzadas, ejes 3 y 4, del tronco de la A-66 entre los PPKK 21+080 / 25+470 (0+000 / 4+390) con una longitud de 4.390 m. No toda la longitud del trazado discurre en 3 carriles, al final de la actuación (aproximadamente entre los PP.KK. 4+200-4+390), las secciones de las dos calzadas del tronco mantienen sensiblemente sus dimensiones actuales, acabando el tramo de Proyecto, de las dos calzadas de la A-66, con dos carriles por sentido, para conectar con la sección actual de las citadas calzadas. La ampliación a 3 carriles tiene un ancho de 10,5 m, 3,5 m/carril, más arcén interior de 1,5 m, exterior de 2,5 m, berma de 1 m y ancho de mediana variable. El sistema de contención interior se efectúa con una barrera simple de hormigón por sentido y la exterior con bionda.

La actuación comprende también la ejecución de ciertos trabajos de remodelación en los enlaces de Lugones (con la AS-17), de Paredes (con la A-64) y de Matalablima (con la A-66a de acceso a Oviedo). La ampliación afecta a los carriles de cambio de velocidad y a los ramales de los enlaces, manteniendo la tipología de los mismos, sin obligar a ejecutar estructuras nuevas de paso a distinto nivel en los enlaces. Los ejes afectados, según el nombre del enlace, son los siguientes: Lugones: 4 ejes (11, 12, 13,14), Paredes: 4 ejes (21, 22, 23,24) y Matalablima: 3 ejes (31, 32,34).

Para conformar el firme nuevo se efectúa una ampliación de la plataforma por la mediana y por el borde exterior. Por la mediana se ejecuta la explanada y el firme a partir del material subyacente existente mejorado con 70 cm de pedraplén, salvo

Figura 1. Ubicación de la actuación dentro de la "Y" asturiana.

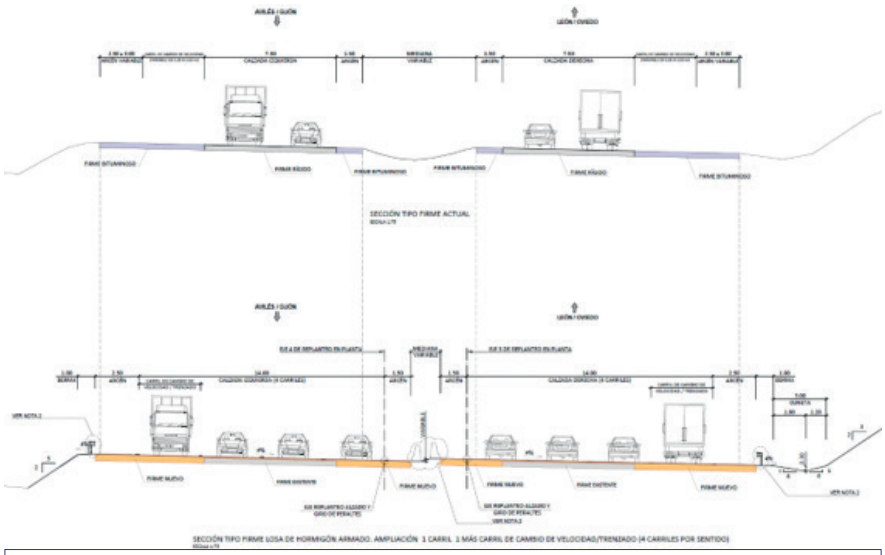


Figura 2. Sección del firme actual y proyectado.

Figura 3. Diferentes capas localizadas en el firme y explanada existente.

Figura 4. Deflectómetro de impacto auscultando capa de suelo estabilizado S-EST 3.

Tabla 1. Valores medios de deflexión y módulo elástico en el S-EST 3.

EJE	PPKK	Deflexión (10^{-2} mm)	E (MPa)
Eje 3	1+840 2+220	17	1.558
Eje 3	2+300 2+800	22,5	1.473
Eje 4	2+200 1+440	23,7	1.225
Eje 4	2+450 2+310	37,8	1.096
Eje 4	2+560 4+000	20,9	15.309
Eje 3	1+310 1+650	19,9	15.432
A66 Único	0+000 1+120	27,9	1.207

en las zonas donde se necesite homogeneizar la cota del mismo donde se empleará material de relleno. Por el borde exterior el diseño de los terraplenes se realiza mediante el cajeado del perfil existente y relleno posterior de subyacente, explanada y firme. En los desmontes se efectúa una ampliación de los mismos, estableciendo la explanada y el firme.

El firme será de pavimento de hormigón continuo sobre explanada E3, sección 034 de la Instrucción 6.1 Secciones de firme (IC 6.1), entre los PPKK 0+000 / 3+593 sentido Oviedo y entre los PPKK 0+000 / 3+603 sentido Gijón. Entre los PPKK últimos indicados y hasta el final, el firme será semirrígido sobre explanada E3, sección 032 de la Instrucción mencionada. El firme continuo de pavimento de hormigón irá atado al firme existente, también de pavimento de hormigón continuo, mediante pasadores. Sobre ambos firmes, nuevo y existente, se establece un sistema antireflexión de fisuras compuesto por un geosintético y una capa de mezcla bituminosa de 8 cm en dos capas, 4+4 cm de AC-16 y PA 16.

2. Auscultación de la explanada

Una de las particularidades del Proyecto era apoyar adecuadamente en materiales pertenecientes al paquete de explanada y firme existente, con el fin de evitar asientos diferenciales entre zonas ampliadas y de nueva construcción. En la Figura 2 puede apreciarse los diferentes apoyos para los diferentes ejes y los puntos críticos con posibilidad de distorsión angular.

Así en las zonas de ampliación, el Proyecto establecía que el suelo estabilizado S-EST 3 apoyase en el subyacente existente, el cual estaba compuesto de diferentes materiales, ver Figura 3. Aunque el Proyecto les confería capacidad portante de suelo Adecuado, con el fin de apoyar directamente sobre ellos, se reforzó el control sobre la unidad terminada de suelo estabilizado S-EST 3 con campañas de deflectómetro de impacto. Además del control mediante placas de carga, determinando con ello el módulo elástico de la explanada y su deflexión, obteniéndose un valor promedio de módulo elástico con deflectómetro superior a E=1.000 MPa. En algunos puntos fueron inusualmente altos, descartados de la media, reflejo de las diversas capas existentes.

3. Diseño y auscultación del firme existente

3.1 Diseño del firme rígido

El pavimento existente está formado en los carriles por una capa de hormigón continuo armado de 22 cm de espesor y una capa de 4 cm de espesor de mezcla bituminosa en los arcenes. Ambas apoyan sobre una capa de gravacemento con espesores de 16 cm. Bajo la capa de grava tratada con cemento existe una capa de material granular con espesores de 20 cm para los carriles y de 25 cm para los arcenes. El hormigón está texturizado transversalmente, el paso de los años hace que la sonoridad por el aumento de la textura vaya en aumento.

La carretera se construyó en 1976 conforme a la Instrucción 6.2-IC Firmes rígidos de 1964. En ella se establecían espesores de 22 cm de losa armada para IMD>2000 (eje equivalente de 12 t) y espesores de entre 10 y 15 cm de bases tratadas con ce-

mento. Sobre explanadas plásticas, la Instrucción asignaba un espesor mínimo de 10 cm de capa anticontaminante.

Según los datos del Proyecto, la resistencia media a flexotracción, a la edad de 28 días, que se obtuvo en el hormigón de pavimento fue de 6.8 MPa. No se indica qué valor de resistencia se obtuvo en la capa de gravacemento. El estudio informativo del Proyecto establece los siguientes espesores y propiedades para las diferentes capas.

Según la resistencia a flexotracción que se indica en la tabla anterior el valor del módulo elástico parece bajo. Atendido a las siguientes expresiones de la normativa ACI 363 R08 que relaciona resistencia a flexotracción (fcft), la resistencia a compresión (fc) y el módulo elástico, el pavimento tendría una resistencia a compresión de 59,73 MPa a 28 días, obteniéndose un módulo elástico de 32.559 MPa. Lo mismo ocurre con la base tratada con cemento o gravacemento y la sub-base granular. La primera puede tener valores mínimos de resistencia a compresión de 5,5 MPa a 28 días, obteniéndose valores en el módulo elástico de 14.686 MPa. En cambio, el módulo elástico de la sub-base granular depende de su espesor y del módulo elástico de las capas inferiores, pudiendo ser algo inferior.

$$f_{cft} = 0{,}445 \cdot (f_c)^{\frac{2}{3}} \quad \text{(MPa)} \quad (1)$$

$$E = 3.320 \cdot \sqrt{f_c} + 6.900 \quad \text{(MPa)} \quad (2)$$

En el estudio informativo del Proyecto se realizó un cálculo teórico de deflexiones estableciendo un eje equivalente de ruedas gemelas de 13 t, con una presión 0,80 MPa, radio de huella 11,35 cm y distancia entre centros de ruedas gemelas de 37,5 cm. La deflexión del firme antiguo, en su estado inicial y para 26 cm de espesor de hormigón, es de $27.5*10^{-2}$ mm. Proponiendo, dicho estudio, un firme rígido según la sección 0034 de la Instrucción I.C. 6.1, con 25 cm de hormigón HF. Para esta sección el estudio informativo cálculo una deflexión de $25*10^{-2}$ mm. El Proyecto finalmente diseñó con la sección 034, con 1 cm menos. En fase de obra se efectuó el cálculo de las deflexiones con los espesores reales de la sección existente y el cálculo para las secciones 0034 y 034, obteniendo valores de deflexión de $31*10^{-2}$ mm, $21{,}3*10^{-2}$ mm y $21{,}7*10^{-2}$ mm respectivamente. Cumpliéndose la premisa del Proyecto, de forma holgada, de que el firme nuevo tuviera una deflexión de, al menos, un 10% inferior a la existente.

Tabla 2. Parámetros mecánicos del firme indicados en el Proyecto.

Material	Espesor (cm)	Módulo Elástico E (MPa)	Coef. Poisson v
Hormigón de firme	26	20.000	0,20
Base tratada con cemento	16-20	8.000	0,25
Sub-base granular	20	200	0,35
Cimiento o explanada	-	CBR 5	

El armado longitudinal de la nueva sección está formado por barras de 16 colocadas cada 11 cm, transversalmente se disponen redondos 10 cada 80 cm formando un ángulo de 60º con el eje. Esta armadura se colocó sobre apoyos para situarla a 7 cm bajo la rasante del HF. La conexión entre la calzada ampliada y la existente se llevaría a cabo mediante pasadores 12 de 80 cm de longitud colocados cada metro a mitad de espesor.

Como se ha indicado en párrafos anteriores el firme existente no necesitaría recrecidos con otras mezclas por necesidad estructural, obedeciendo éstos a la mejora medioambiental como medida adicional al apantallamiento acústico. Implementar esta sección, entre capas con características a deformación tan distintas, obliga a diseñar soluciones de amortiguamiento en la reflexión de fisuras. El Proyecto optó por la colocación de un geocompuesto, formado por una geomalla biaxial de PVA, con la durabilidad necesaria ante ataque químico propio de la circulación y conservación de la vía, unida a un geotextil no tejido de PP que, con una dotación adecuada de emulsión, permite al conjunto crear una membrana de relajación de tensiones e impermeabilización.

3.2. Auscultación del firme

El Proyecto no realizó una campaña de auscultación mediante deflectómetro de impacto sobre el firme existente, que arrojaría la capacidad estructural real del firme en zonas concretas. La solución de recrecido con mezclas bituminosas para espesores como los contemplados en el Proyecto son, a priori, viables cuando los índices de servicio del firme existente son aún altos (Asphalt Concrete Overlays on Continuously Reinforced Concrete Pavements: Decision Criteria, Tack Coat Evaluation, and Asphalt Concrete Mixture Evaluation, Dpto Transportes de Texas). Hay que tener en cuenta que la ampliación con un tercer carril o cuarto carril conllevará, en algunos casos, a que el carril actual de vehículos pesados pase a soportar menos carga de tráfico pesado. Pero en otros casos, seguirá soportando una carga de tráfico alta, que en el caso de tres carriles o más será del 85% de los vehículos pesados.

La Instrucción 6.3 Rehabilitación de firmes (IC 6.3) no establece que se lleve a cabo la auscultación mediante deflectómetro en firme de hormigón. Sin embargo, el empleo de deflectómetro en zonas con alta fisuración transversal en pavimento de hormigón continuo arrojará, si existe, una pérdida de soporte del firme, combinando la inspección visual y estructural se puede obtener un plano como el de la figura siguiente. En cualquier caso, el Proyecto recoge diversas campañas de inspección visual y extracción de testigos que permitieron ajustar el diseño final, por ejemplo, en los arcenes. Así como la recomendación de nuevas campañas de inspección antes del comienzo de las obras.

Atendiendo a la recomendación del Proyecto, previo al inicio de las obras se efectúo una campaña de auscultación de deterioros superficiales. Para ello se empleó un equipo de alto rendimiento, Cracking Detector PPC, para recoger toda la información necesaria del firme, el equipo de medición compuesto por cuatro cámaras, odómetro y GPS va instalado en un vehículo que recorre el firme. El tratamiento de los datos permite asignar la patología detectada, dentro de una familia tipo, el punto kilométrico y la fotografía de la misma La Figura 6 muestra un ejemplo de ello, detección de una junta y conjunto de grietas de carácter transversal en el firme existente de hormigón.

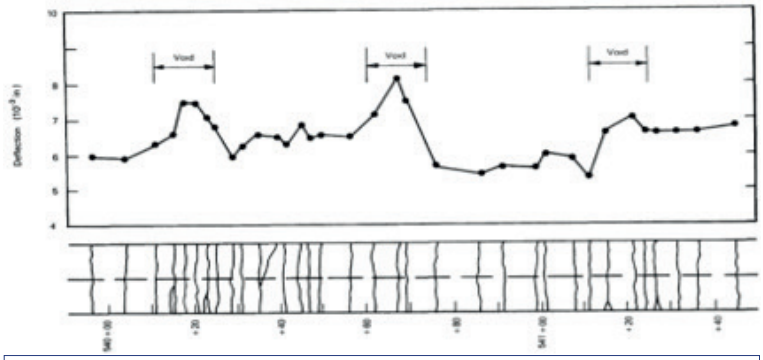


Figura 5 Detección de pérdida de soporte bajo pavimento de hormigón continúo (AASHTO 1993).

El análisis permitió obtener 324 registros de patologías agrupadas dentro de cinco familias: 1: Grieta longitudinal, 2: Grieta transversal, 3: Otros desperfectos, 4: Grieta longitudinal múltiple y 5: Zona cuarteada.

En los gráficos siguientes se puede observar las patologías obtenidas en PPKK crecientes y decrecientes, en carril interior (CI) y exterior (CE) del firme. Así la Figuras 7 y 8 muestran en sentido creciente las patologías obtenidas en los CE y CI. Debido al estado de la textura del hormigón la patología que más se repite es la 2: Grieta transversal. En el CE, que ha soportado mayor número de ejes pesados, aparecía una patología que no se replicaba en el CI, la 4: Grieta longitudinal múltiple. Las Figuras 9 y 10 muestran las patologías en PPKK decreciente y para el CI y CE, se observa que en este sentido hay mayor número de patologías tipo 1: Grieta longitudinal, también 4: Grieta longitudinal de carácter múltiple, así como otras patologías como la 5: Zonas cuarteadas, correspondientes a tramos con capa de mezcla bituminosa.

Figura 6. Detección de patologías con equipo de alto rendimiento.

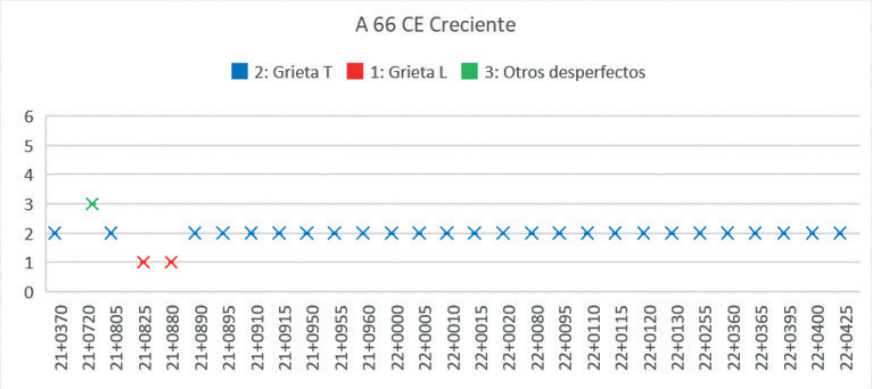


Figura 7. Patologías en el firme, PPKK creciente, carril exterior.

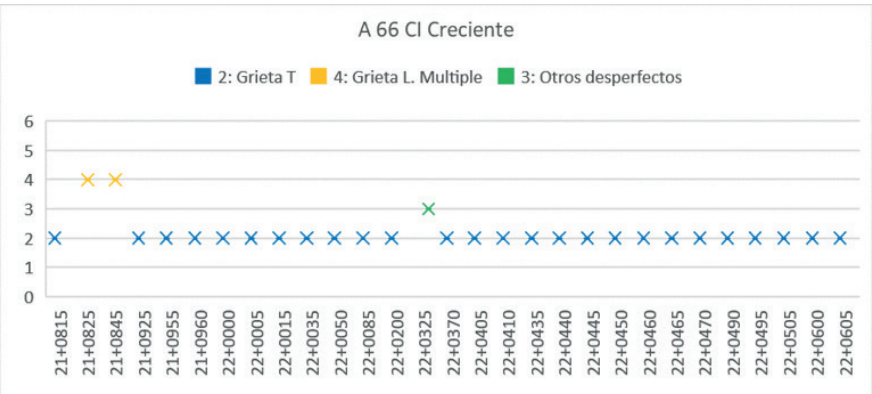


Figura 8. Patologías en el firme, PPKK creciente, carril interior.

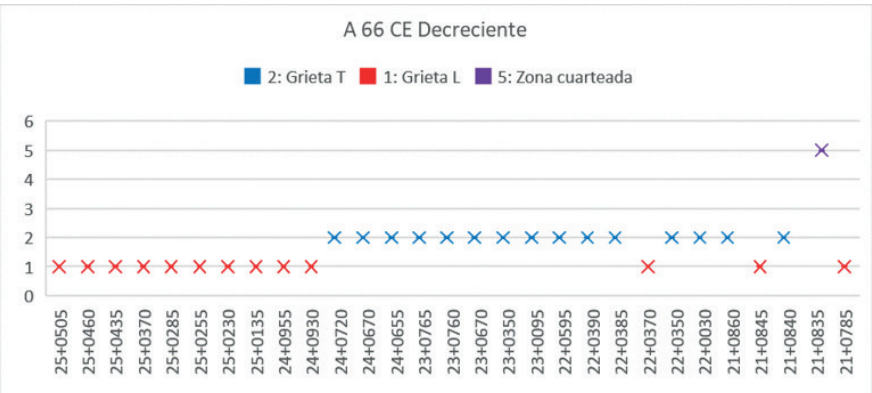


Figura 9. Patologías en el firme, PPKK decreciente, carril exterior.

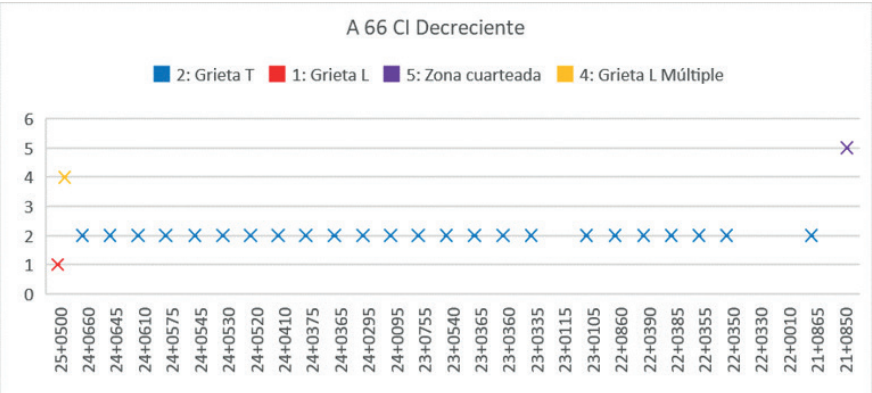


Figura 10. Patologías en el firme, PPKK decreciente, carril interior.

De forma general el firme rígido presentaba patologías diferentes a las que corresponderían con un déficit estructural. En la zona de firme con mezcla bituminosa, a partir del PK 24+670 sí existían zonas con necesidad de reparación puntual, la cuales se llevaron a cabo.

4. Extendido del firme rígido

4.1 Características de la extendedora

La principal problemática del trazado en planta fue la variación continua de los anchos de extendido, de más de 50 cm, como ejemplo, se muestra en la Figura 11, la variación del ancho de extendido en mediana.

Esto conllevó a la búsqueda, no ya de una extendedora con encofrado deslizante para los anchos previstos, que existen varias disponibles en España, si no a que tuviera un sistema de molde telescópico que, accionado hidráulicamente, permitiera ajustarse a las variaciones de anchos necesarios, sistema que en aquel momento no existía en España. Finalmente, el equipo adquirido podía extender anchos desde 2,40 m a 6,20 m (con extensibles).

Las Figuras 13 y 14 muestran el extendido de la capa de hormigón HF-4,5 con anchos diferentes.

Las extendedora estaba dotada con 8 vibradores y una fratasa tipo bailarina, la cual necesitaba el apoyo de oficiales para dejar terminada la superficie no texturizada. A la extendedora le seguía un carro no autopropulsado con arpillera, desde donde de forma manual se esparcía el riego de curado cuya dosificación se variaba en función de las condiciones climatológicas.

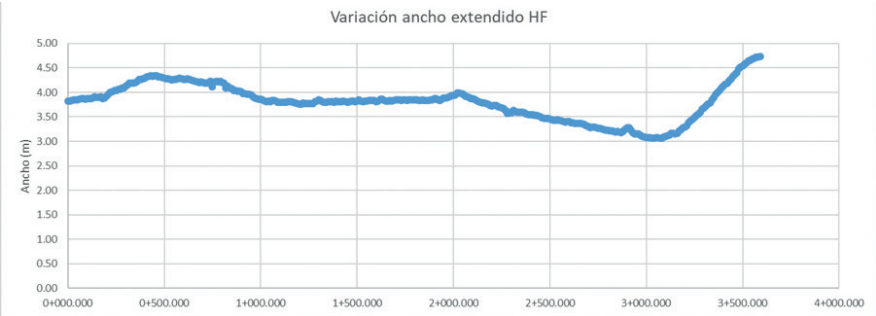


Figura 11. Variación del ancho de extendido en capa de HF 4,5.

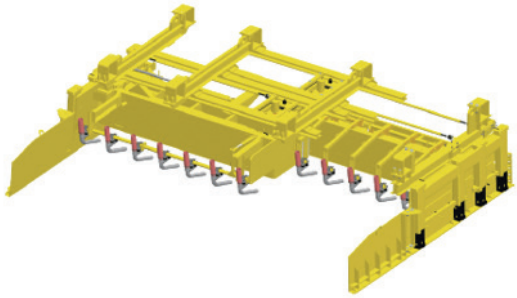


Figura 12. Molde telescópico hidráulico empleado en el extendido.

Figura 13. Extendido de capa de hormigón HF 4,5 (i).

Figura 14. Extendido de capa de hormigón HF 4,5 (ii).

4.2. Características del hormigón y su puesta en obra

El hormigón magro vibrado, HM-15, y el hormigón del firme, HF-4,5, cumplían las exigencias establecidas en los art. 551 y 550 del PG-3. Las dosificaciones establecidas en la fórmula de trabajo tenían una consistencia plástica. Sin embargo, con el fin de adaptarse al vertido del hormigón y a su puesta en obra, esta consistencia fue modificándose manteniendo la relación a/c. El tipo de cemento empleado fue un cemento compuesto tipo CEM V/A (S-V) 32.5 N, con un contenido de clínker entre 40-64 %, escoria de alto horno (S) y cenizas volantes de tipo silícea (V). Los contenidos de cemento fueron de 175 kg/m^3 para el hormigón HM y de 325 kg/m^3 para el hormigón HF, con relaciones a/c de 0,80 y 0,46 respectivamente. Dado que la zona no está expuesta a heladas no se buscó un contenido de aire mínimo en la mezcla, obteniendo valores para ambos tipos de hormigones de 2.8%. En cuanto a los aditivos, se empleó un plastificante en el HM y un plastificante y superplastificante en el HF, contenidos que fueron variando con el fin de adaptar la consistencia del hormigón al tipo de vertido en obra.

En cuanto a la puesta en obra se planificaron varios métodos para el vertido del hormigón. En la capa de hormigón magro, al no llevar armadura, se podía verter delante de la extendedora, tanto con camión de caja abierta como con camión hormigonera y canaleta, finalmente dado el volumen de hormigón necesario se optó por camión hormigonera. La distribución hacia la extendedora se realizó con una excavadora que repartía de forma transversal el hormigón. Para el hormigón de pavimento, dado que no se podía verter por delante de la extendedora, se planificaron varios métodos. El primero mediante una tolva lateral donde se vertía el hor-

migón y permitía dar continuidad a la extendedora, el hormigón vertido en la tolva se trasladaba al frente de la extendedora mediante una excavadora, este método no llegó a emplearse. Otros métodos fueron el vertido mediante canaleta lateral con camión hormigonera y cuando este tipo de método no podía emplearse se vertía el hormigón mediante autobomba, ver Figuras 16 y 17.

Figura 15. Ensayos de cono de Abrams y aire ocluido, realizados por Gedhosa.

Figura 16. Tren de extendido de hormigón, vertido con canaleta, HF-4,5.

Figura 17. Tren de extendido de hormigón, vertido con autobomba, HF-4,5.

4.3. Juntas de trabajo y de dilatación

Las juntas de trabajo se diseñaron mediante nervometal y lámina de PE, de tal modo que, al reanudarse los trabajos, el hormigón más endurecido podía retirarse con facilidad y seguir con el extendido, ver Figura 18.

Los pavimentos de hormigón continuo, al ser losas de cierta longitud que se construyen sin la disposición de juntas transversales, experimentan movimientos importantes en los extremos. Estos se deben a la contracción y dilatación térmica, pudiendo llegar a los 50 mm lo cual puede suponer un problema donde el hormigón continuo colinda con otros pavimentos. Por ello se establecen sistemas de restricción de los movimientos o bien sistemas de amortiguamiento. En este caso se plantearon sistemas de restricción mediante rastrillos, los cuales fueron diseñados en fase de obra. Se simuló una losa de 8 m de anchura y 4 rastrillos distribuidos cada 15 m, lo que proporciona una losa de 8x45 m sin juntas transversales, con un espesor de 240 mm. Los rastrillos se definieron con un ancho de 0,65 m y un descuelgue de 0,75 m. Para analizar la respuesta estructural de la losa, se consideró una contracción por temperatura de Tª de 40 ºC, y un acortamiento unitario por retracción de 0,3 mm/m, con el objetivo de obtener las solicitaciones de dichas acciones indirectas. Para tener en cuenta la interacción con el terreno se ha consideró un módulo de balasto horizontal en los rastrillos de kh = 1.200 t/m^3 y un módulo de balasto vertical de kv = 1.000 t/m^3 bajo la losa. No teniendo en cuenta el rozamiento que se pudiera movilizar entre la losa y el terreno. Los desplazamientos máximos se producen en los extremos de la losa, con un valor máximo de Ltotal = 9.56 + 7.17 = 16.73 mm, ver Figura 19. En la Figura 20 se muestra la sección del rastrillo diseñado.

Figura 18. Ejecución de junta de trabajo en hormigón HF-4,5.

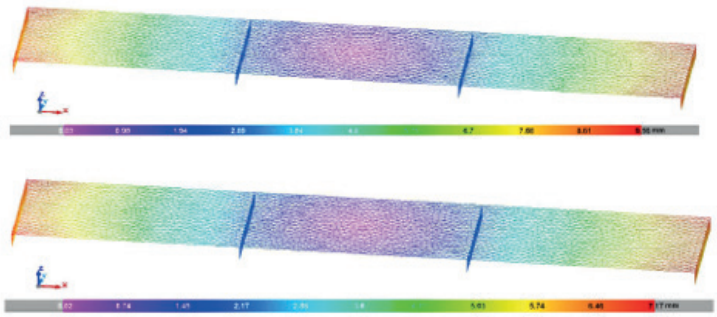


Figura 19. Acortamiento por ΔTª (arriba) y por retracción (abajo).

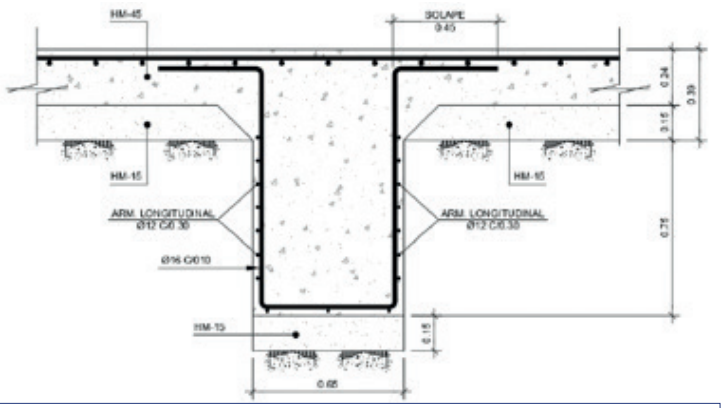


Figura 20. Sección transversal del rastrillo diseñado.

Figura 21. Solape transversal y longitudinal del geocompuesto.

5. Geosintético y mezcla bituminosa

Como se ha indicado en los puntos anteriores, el firme existente carece de agotamiento estructural. Sin embargo, hay puntos singulares como son las juntas longitudinales o transversales entre firme existente y nuevo, donde la reflexión de la junta existente puede afectar a las capas de recrecido de mezclas bituminosas. El comportamiento de estos puntos críticos se asemeja a los firmes de hormigón con losas.

La reflexión de fisuras en un recrecido de mezcla bituminosa sobre pavimento de hormigón se debe a los movimientos horizontales (efecto térmico: contracción y alabeo), verticales (existencia de juntas con amplitud de movimiento al paso del tráfico) o paralelos (falta de fricción en subbase). La capa de separación (geosintético) permitirá reducir la reflexión de las fisuras a las capas superiores, debiendo existir una adecuada adherencia entre capas para soportar el rasante.

El Proyecto opta por un riego de adherencia con alta dotación (2,1 kg/m^2) de emulsión catiónica modificada con polímeros C60BP3 ADH. La adición de polímeros favorece la ductilidad de la emulsión dotándola de mayor tenacidad de cara a la propagación de fisuras. Tras ella se efectúa la colocación de un geocompuesto antireflexión de fisuras en calzada, que se prolongará 75 cm en arcenes. El geocompuesto está formado por una geomalla biaxial de PVA y un geotextil de PP. Solapando 15 cm de forma trasversal y 25 cm de forma longitudinal.

Tras la colocación del geosintético, se procedió al extendido de 4 cm de mezcla AC- 16 surf D con betún modificado con polímeros tipo PMB 45/80-65, apto para el tráfico y la zona climática del Proyecto. El

Figura 22. Extendido de capa AC-16 sobre geocompuesto.

empleo de polímeros mejorará la tenacidad de la mezcla, algo positivo para evitar la propagación de fisuras. Sobre la capa de AC-16 se dispuso una capa de 4 cm de mezcla drenante tipo PA 16 con el mismo betún modificado con polímeros tipo PMB 45/80-65 empleado en la capa de AC-16. Esta mezcla, fonoabsorbente, se establece para cumplir los requisitos de la DIA, siendo apta para la zona geográfica del Proyecto, además su porosidad la hace adecuada para el empleo en la contención de reflexión de fisuras. Aunque hay que tener en cuenta que el agua superficial discurrirá, para ser evacuada al drenaje longitudinal, por la capa de AC-16, siendo está crítica para el firme de mezcla bituminosa en caso de fisuración de la misma.

6. Conclusiones

A continuación, se establecen las conclusiones más importantes:

1. Se efectúa una descripción del firme Proyectado y ejecutado en la ampliación del tercer carril de la A-66 entre el enlace de Lugones y Matalablima, con firme en su mayoría de tipo mixto, de pavimento de hormigón continuo y extendido de 8 cm de mezcla bituminosa en dos capas.
2. Debido a las zonas de ampliación que establece el Proyecto, la necesidad de auscultación de la explanada y el firme fue importante.
3. Se efectuó una campaña con deflectómetro sobre la explanada tipo E3 con el fin de analizar el comportamiento de la misma, obteniendo un módulo elástico medio, superior a E=1.000 MPa, en algunas zonas se obtuvieron valores inusualmente altos debido a la variación de las capas existentes del subyacente.
4. Se efectuó una campaña con equipo de alto rendimiento para detectar patologías en el firme a recrecer, concluyendo que las patologías no eran de carácter estructural.
5. Uno de los hándicaps más importantes en el extendido del hormigón fue la variación continuada del ancho de extendido. Lo que conllevó a montar un molde telescópico hidráulicamente, no habitual en extendedoras de hormigón. La extendedora podía extender anchos desde 2.40 m a 6.20 m.
6. El hormigón HF-4,5 debido a los condicionantes de ejecución, fue puesto en obra por diversos métodos, vertido con camión hormigonera y con autobomba.
7. Para la ejecución de las juntas de trabajo, se emplearon láminas de nervometal y lámina de PE, lo que permitía seguir con la ejecución con un acabado correcto.
8. De cara a los movimientos por incremento de temperatura y retracción se diseñaron rastrillos armados cada 15 m con un empotramiento de 75 cm bajo la capa de HM.
9. La colocación del geosintético impedirá que, en puntos críticos, como son las juntas longitudinales, se reflejen en las mezclas.
10. El sistema antireflexión estaba compuesto por una emulsión C60BP3 ADH de alta dotación (2,1 kg/m2) y un geocompuesto resistente y durable de PVA. La adecuada adherencia entre capas soportará mejor el rasante.
11. Tras la colocación del geosintético se extendió 4 cm de mezcla AC-16 surf D con betún modificado con polímeros tipo PMB 45/80-65. Sobre ésta se dispuso una capa de 4 cm de mezcla drenante tipo PA 16, con capacidad fonoabsorbente con el fin de cumplir el objetivo medioambiental del Proyecto.
12. Sería recomendable efectuar una revisión de la normativa nacional actual para recoger este tipo de sistemas de mezclas y de amortiguación de remonte de fisuras, en diseño y ejecución. ❖

Implementación de los Sistemas de Ayuda a la Conducción (ADAS- *Advanced Driver Assistance Systems*) y su impacto en la Seguridad Vial

Implementation of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and their impact on Road Safety

Grupo de trabajo 3 del Comité de Seguridad Vial de la ATC

Ana Samper Ramírez, NTT DATA. Begoña Guirao Abad, Universidad Politécnica de Madrid. Ibon Arechalde, ASIMOB. Silvana Bearzotti Taberna, Junta de Extremadura. Jesús Leal Bermejo, CEDEX. Pablo Boyero González de la Huebra, SEITT. Rocío López de la Vara, TEKIA. Ángel Muñoz Suárez

Los Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción (ADAS) representan la base tecnológica que está transformando la movilidad hacia un escenario de conducción autónoma y segura. Más allá de cumplir con la normativa europea que obliga a la incorporación de ADAS en todos los vehículos nuevos, su integración abre la puerta a vehículos conectados capaces de anticipar riesgos y comunicarse con la infraestructura. Estos sistemas incorporan tecnologías que asisten al conductor en la toma de decisiones y en la prevención de riesgos, contribuyendo a reducir accidentes y facilitar una conducción más cómoda. Su desarrollo responde tanto a la evolución tecnológica como a la necesidad de una movilidad más segura y sostenible. En los próximos años, la evolución de sensores, inteligencia artificial y redes 5G permitirán que los ADAS pasen de funciones reactivas a sistemas predictivos, reduciendo drásticamente la siniestralidad. Este avance no solo impactará en la seguridad, sino también en la eficiencia energética y la experiencia del usuario, preparando el camino para el tránsito en las ciudades, en las carreteras inteligentes y en el transporte sostenible. El reto será garantizar la interoperabilidad, la ciberseguridad y la formación del conductor en un ecosistema cada vez más automatizado. Este artículo explora cómo los ADAS actuales son el primer paso hacia una movilidad autónoma, conectada y centrada en la seguridad, aunque persisten retos como la antigüedad del parque automovilístico (en el contexto español), la adaptación de la infraestructura vial y la formación del conductor.

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) represent the technological foundation that is transforming mobility toward a scenario of autonomous and safe driving. Beyond complying with European regulations that mandate the incorporation of ADAS in all new vehicles, their integration paves the way for connected vehicles capable of anticipating risks and communicating with infrastructure. These systems incorporate technologies that assist drivers in decision-making and risk prevention, helping reduce accidents and enabling a more comfortable driving experience. Their development responds both to technological evolution and the need for safer, more sustainable mobility. In the coming years, advances in sensors, artificial intelligence, and 5G networks will allow ADAS to evolve from reactive functions to predictive systems, drastically reducing accident rates. This progress will impact not only safety but also energy efficiency and user experience, preparing the path for smart cities, intelligent roads, and sustainable transportation. The challenge will be to ensure interoperability, cybersecurity, and driver training in an increasingly automated ecosystem. This article explores how current ADAS are the first step toward autonomous, connected, and safety-focused mobility, although challenges remain, such as the aging vehicle fleet (in the Spanish context), infrastructure adaptation, and driver education.

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 la implementación de sistemas inteligentes de transportes (ITS) y el avance de las nuevas tecnologías y sistemas avanzados de ayuda a la movilidad (ADAS).

Es patente que 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 presenta nuevas oportunidades, pero también nos enfrentamos a novedosos retos que debemos ir superando para alcanzar una movilidad 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 los sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ADAS), que ya está muy implantado en nuestros días y con proyección de ampliarse.

En este contexto se circunscribe el presente artículo elaborado por el grupo de trabajo 3 del Comité que está analizando estos aspectos. En él se analiza brevemente el origen de estos sistemas, su marco normativo regulatorio y se pasa revista a algunos de los principales sistemas ADAS existentes en la actualidad, explicando en qué consisten y su funcionalidad. Asimismo, se hace un ejercicio de investigación y estimación del grado de implantación de estos ADAS en el parque automovilista español y se reflejan algunos de los retos a vencer para lograr una mayor penetración para concluir con unas reflexiones sobre lo que la infraestructura debe aportar para una mejor eficacia o funcionamiento de dichos sistemas.

Para finalizar, no quisiera pasar la oportunidad de expresar mi agradecimiento a los miembros que han participado en la elaboración de este artículo, por su esfuerzo y dedicación. La divulgación de artículos en la revista Rutas es un buen mecanismo para dar visibilidad a la labor que se viene realizando en el seno del Comité de Seguridad de la ATC, que tengo el honor de presidir, animando a otros profesionales a incorporarse y compartir tiempo y experiencia en beneficio de la comunidad técnica viaria.

Figura 1. Niveles de automatización según la SAE (Society of Automotive Engineers)

1. Motivación

La implementación del vehículo autónomo en nuestras carreteras tardará algunos años en ser una realidad extendida.

Tal como se muestra en la Figura 1, los sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ADAS) representan una etapa inicial en el camino hacia la conducción autónoma, correspondiente a los niveles 1 y 2 definidos por la SAE (*Society of Automotive Engineers*). Su incorporación masiva plantea interrogantes relevantes: ¿están los conductores preparados para utilizarlos correctamente, especialmente en un país como España donde el 20% de la población supera los 65 años? ¿Nuestra red de carreteras está adaptada para garantizar su funcionamiento óptimo? ¿La elevada antigüedad del parque automovilístico dificultará la coexistencia entre vehículos equipados con ADAS y aquellos que carecen de estas tecnologías?

Este artículo nace con el objetivo de dar respuesta a estas cuestiones. Se describirán los sistemas ADAS actualmente disponibles en el mercado, los que son obligatorios según la normativa europea, y se analizarán sus ventajas y posibles riesgos en la reducción de la siniestralidad vial. Asimismo, se abordará el papel que juega la infraestructura viaria en la correcta implementación de estas tecnologías, así como los desafíos que supone su integración en un contexto de transición hacia la movilidad inteligente.

2. Marco normativo y regulatorio

Desde el ámbito preventivo, los sistemas ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) o sistemas avanzados de ayuda a la conducción actúan sobre las principales causas de los accidentes de tráfico: distracciones, fatiga, somnolencia y velocidad. La misión fundamental de los ADAS es prevenir el accidente antes de que suceda, mediante una alerta ante un posible peligro o la toma del control de varios sistemas por parte del vehículo que evitan o mitigan las consecuencias de dichos accidentes.

La incorporación progresiva de los ADAS en la fabricación de vehículos ha venido condicionada, no solo por los avances tecnológicos sino también por el marco normativo y regulatorio. La normativa europea que regula los ADAS, recogida en el Reglamento (UE) 2019/2144[1], entró en vigor en julio de 2022. Desde esa fecha, su cumplimiento era obligatorio únicamente para los vehículos de nueva homologación[2] y se daban dos años de moratoria para vehículos nue-

[1] REGLAMENTO (UE) 2019/2144 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 27 de noviembre de 2019, relativo a los requisitos de homologación de tipo de los vehículos de motor y de sus remolques, así como de los sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a esos vehículos, en lo que respecta a su seguridad general y a la protección de los ocupantes de los vehículos y de los usuarios vulnerables de la vía pública.

[2] Aquellos modelos que por primera vez solicitan autorización para ser vendidos en Europa bajo una nueva configuración técnica. Por ejemplo, si un fabricante lanzó un nuevo modelo de coche en 2023, este modelo debe cumplir con los requisitos ADAS desde su homologación; en cambio, un modelo ya homologado antes de julio de 2022 puede seguir vendiéndose sin cumplir todos los requisitos hasta julio de 2024, fecha de obligado cumplimiento del Reglamento (UE) 2019/2144 para todos los vehículos.

vos matriculados. Una vez finalizado dicho periodo, desde el 6 de julio de 2024 (Fase 2), todos los vehículos de las categorías M (vehículos de motor destinados al transporte de personas), N (vehículos de motor destinados al transporte de mercancías) y O (remolques sin motor) —según lo definido en el artículo 4 del Reglamento (UE) 2018/858— que se matriculen por primera vez deben incorporar obligatoriamente los sistemas ADAS que aparecen reflejados en la Tabla 2. A esta obligación se suma una nueva fase de implementación (Fase 3), a partir del 7 de julio de 2026, donde ningún vehículo de nueva matriculación podrá comercializarse sin incluir el perfeccionamiento o ampliación funcional de dos de los sistemas ADAS ya contemplados en la normativa original, introducidos en el calendario regulatorio, completando así el despliegue progresivo de requisitos de seguridad establecidos por la Unión Europea.

Los sistemas ADAS obligatorios en cada fase de cumplimiento de la normativa se indican en la Tabla 2.

Según la Comisión Europea, si todos los vehículos contaran con estos ADAS se podrían evitar más de 25.000 muertes y 140.000 heridos graves de 2022 a 2038. Por otra parte, la Dirección General de Tráfico (DGT) realizó en 2016 un estudio en el que estimaba que en España la implantación generalizada de los ADAS reduciría la gravedad de los accidentes en un 57% y podrían evitar más de 50.000 siniestros. Sin embargo, según ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones) en 2016 la antigüedad de los vehículos era de 12 años y en 2024 la antigüedad ascendía a 14,5 años, por lo que la implantación generalizada de los ADAS no sigue el ritmo previsto.

Tabla 1. Comparación entre los Reglamentos UE 2018/858 y UE 2019/2144

Reglamento (UE) 2018/858	Reglamento (UE) 2019/2144
Reglamento base que organiza cómo se homologan los vehículos	Actualización normativa que añade nuevas exigencias de seguridad activa (como los ADAS) dentro del marco del 2018/858
• Establece el marco general para la homologación de tipo de vehículos de motor, remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes. • Define las categorías de vehículos (M, N, O) y los procedimientos administrativos y técnicos para su aprobación y vigilancia del mercado.	• Introduce requisitos específicos de seguridad general y protección de los usuarios vulnerables de la vía pública. • Modifica el Reglamento 2018/858 para incluir la obligatoriedad de los sistemas ADAS (como el frenado automático de emergencia, el asistente de velocidad inteligente, etc.). • Establece fechas de entrada en vigor para estos requisitos según el tipo de vehículo y su fase de homologación o matriculación

Figura 2. Línea del tiempo de aplicación de los Reglamentos reguladores de los ADAS

Figura 3. Evolución anual de la edad media del parque automovilístico en España.
Fuente: Informe Anual 2024 ANFAC

Tabla 2. Sistemas ADAS por tipo de vehículo

Sistema ADAS	M1 (Turismos)	M2/M3 (Autobuses)	N1 (Furgonetas)	N2/N3 (Camiones)	O3/O4 (Remolques)	Fase de aplicación
TPMS – Control de presión de neumáticos	✓ [3]	✓	✓	✓	✓	Fase 1
SBR – Avisador de cinturón trasero	✓	✓	✓	✗	✗	Fase 1
AEB – Frenado autónomo de emergencia	✓	✓	✓	✓	✗	Fase 2
ELKS – Sistema de emergencia de mantenimiento de carril	✓	✗	✓	✗	✗	
LDW – Alerta de cambio involuntario de carril	✗	✓	✗	✓	✗	Fase 2
ISA – Asistente de velocidad inteligente	✓	✓	✓	✓	✗	Fase 2
Interfaz para alcoholímetro	✓	✓	✓	✗	✗	Fase 2
DDAW – Advertencia de somnolencia o falta de atención	✓	✓	✓	✓	✗	Fase 2
ESS – Señal de frenada de emergencia	✓	✓	✓	✓	✗	Fase 2
REV – Detector marcha atrás	✓	✓	✓	✓	✗	Fase 2
EDR – Caja negra	✓	✓	✓	✓	✗	Fase 2
AEB con detección de peatones/ciclistas	✓	✓	✓	✓	✗	Fase 3
ADDW Sistema avanzado de distracción del conductor	✓	✓	✓	✓	✗	Fase 3

3. Sistema de control de la presión de los neumáticos

El sistema de control de presión de los neumáticos, conocido como TPMS (*Tyre Pressure Monitoring System*), supervisa continuamente que los neumáticos mantengan en todo momento la presión recomendada por el fabricante. Esto es fundamental porque los neumáticos son el único punto de contacto entre el vehículo y la carretera, y su estado, con el dibujo adecuado y la presión correcta, garantizan un buen agarre, reducen la distancia de frenado y mejoran la evacuación de agua en caso de lluvia.

Además, mantener la presión adecuada no solo mejora la seguridad, sino también la eficiencia: una presión incorrecta puede incrementar el consumo de combustible hasta en un 20% en turismos y hasta un 30% en autobuses y camiones.

¿Qué es?

El TPMS es un sistema instalado en el vehículo que mide la presión —o sus variaciones— mientras se circula y alerta al conductor en caso de pérdida o desviación significativa. De acuerdo con el Reglamento Europeo 2019/2144, todos los vehículos deben incorporar un sistema preciso capaz de detectar pérdidas de presión sin permitir recalibraciones indebidas que puedan anular su función de seguridad.

¿Cómo funciona?

El TPMS puede funcionar mediante dos tecnologías: sistema directo o sistema indirecto.

El TPMS directo utiliza sensores ubicados en las válvulas de las ruedas que miden la presión real del neumático y transmiten los datos a la unidad de control por radiofrecuencia. Este sistema es más fiable, ya que es preciso y sensible a pequeñas variaciones (de hasta 0,2 bar), pero con un coste más elevado.

[3] Obligatorio para nuevas homologaciones desde el 1 de noviembre 2012 y nuevas matriculaciones desde noviembre de 2014 (Reglamento UN ECE R64 del Parlamento Europeo)

El TPMS indirecto no mide la presión directamente; utiliza los sensores del ABS/ESP para detectar cambios en la velocidad de giro de un neumático respecto a otro que no haya sufrido una pérdida de presión, es decir, una rueda que gira más rápido indica un menor diámetro y, por tanto, una posible pérdida de presión. Es menos preciso y requiere reinicio tras ajustar las presiones para poder tener una referencias correcta de comparación.

4. Avisador de cinturón en las plazas traseras

El avisador de cinturón en las plazas traseras, conocido como SBR (*Smart Belt Reminder*), es un sistema de seguridad que alerta al conductor cuando un ocupante del asiento trasero no utiliza el cinturón. Su relevancia radica en que viajar sin cinturón en la parte posterior aumenta significativamente el riesgo de lesiones graves o mortales, pudiendo incluso proyectar al ocupante hacia los pasajeros delanteros. Dentro del marco europeo de seguridad vial y del programa Visión Cero, se considera una de las tecnologías capaces de contribuir a evitar hasta 25.000 muertes y más de 140.000 heridos graves en la Unión Europea hasta 2040.

El cinturón de seguridad es uno de los inventos que más vidas ha salvado: se estima que ha evitado más de un millón de vidas desde 1958. En España, su uso es obligatorio en las plazas delanteras desde 1975, y en las traseras desde 1992, aunque su uso en estas últimas sigue siendo menos frecuente. Por ello, el Parlamento Europeo aprobó la incorporación de avisadores de cinturón en las plazas traseras como equipamiento de serie.

El avisador del cinturón en las plazas delanteras es obligatorio desde el año 2014 para todos los vehículos nuevos homologados, y aunque ya había muchos fabricantes que incluían en sus modelos el SBR en las plazas traseras por propia iniciativa, es obligatorio desde julio de 2022 para vehículos de nueva homologación y desde julio de 2024 para todos los coches nuevos matriculados en Europa.

¿Qué es?

El SBR (*Smart Belt Reminder*) es un sistema integrado en el vehículo que detecta si las plazas traseras están ocupadas y si sus ocupantes llevan el cinturón abrochado. Si no es así, emite alertas visuales y/o acústicas dirigidas al conductor.

¿Cómo funciona?

El SBR combina dos tipos de sensores:

- Sensores de carga en los asientos detectan si una plaza trasera está ocupada.
- Sensores en la hebilla del cinturón detectan si está abrochado.

Si el vehículo supera una velocidad típica de activación (≈25 km/h, pudiendo activarse en algunos modelos desde 5–10 km/h) o recorre una distancia predeterminada (generalmente unos 500 metros) sin que el cinturón trasero esté abrochado, el sistema activa una alerta visual en el cuadro de instrumentos y/o sonora, aumentando su intensidad si la situación no se corrige.

Además, el SBR ayuda al conductor a confirmar si un sistema de retención infantil (SRI) está bien sujeto cuando depende del cinturón para su fijación.

5. Sistema de frenado de emergencia

Este sistema se conoce también por las siglas AEB (*Autonomous Emergency Brake*), AEBS (*Advanced Emergency Braking System*), PEBS (*Predictive Emergency Braking System*) o SCBS (*Smart City Brake Support*), BAS (*Brake Assist System*), EBA (*Electronic Brake Assist*) dependiendo de cada fabricante.

Según la DGT, está comprobado que el conductor, en un gran número de casos, no calcula la intensidad necesaria para aprovechar toda la capacidad de los frenos y no presiona con la suficiente fuerza el pedal. De ahí la implementación de la frenada de emergencia. Los sistemas actuales, complementarios, al detectar un obstáculo por delante del vehículo alertan del posible impacto y, si no se produce una reacción del conductor, aplican inmediatamente los frenos para intentar evitar el golpe.

En una primera fase el sistema detectaba la presencia de obstáculos y vehículos en movimiento delante del vehículo. El 7 de julio de 2024 entró en vigor la segunda fase para vehículos homologados añadiendo un nuevo requisito: detectar peatones y ciclistas situados delante del vehículo. Este requisito será obligatorio para coches de nueva matriculación a partir de julio de 2026.

Aunque todos estos sistemas están relacionados con la frenada de emergencia, no son exactamente lo mismo. Cada uno tiene funciones específicas y niveles de automatización distintos.

Tabla 3. Resumen de Sistemas de Frenado de Emergencia

Siglas	Nombre Completo	Tipo de Sistema	Nivel de Automatización	Función Principal	Diferencias Clave
BAS	*Brake Assist System*	Asistido	Manual con asistencia	Aumenta la presión de frenado si detecta una frenada de emergencia	Ayudan al conductor cuando pisa el freno, pero no frenan por sí solos. "Te ayudo si tú frenas fuerte"
EBA	*Electronic Brake Assist*	Asistido	Manual con asistencia	Similar a BAS, pero con control electrónico más avanzado	
AEB	*Autonomous Emergency Braking*	Autónomo	Automático	Detecta obstáculos y frena automáticamente si el conductor no reacciona	Son sistemas autónomos que pueden frenar sin intervención del conductor si detectan una colisión inminente. PEBS es más avanzado porque anticipa el riesgo y puede preparar el sistema antes de que el conductor actúe. SCBS está optimizado para entornos urbanos y velocidades bajas. "Freno por ti si no lo haces a tiempo."
AEBS	*Advanced Emergency Braking System*	Autónomo	Automático	Versión más avanzada de AEB, obligatorio en algunos vehículos nuevos en Europa	
PEBS	*Predictive Emergency Braking System*	Autónomo	Automático	Predice colisiones antes de que ocurran y prepara el sistema de frenos.	
SCBS	*Smart City Brake Support*	Autónomo	Automático	Sistema de Mazda para frenado automático en ciudad a baja velocidad	

¿Qué es?

El sistema de frenado de emergencia detecta el riesgo de colisión y actúa automáticamente para reducir la velocidad del vehículo, aumentando la presión de frenado para evitar el accidente. En determinadas situaciones, incluso puede detener el coche por completo, aunque esta función suele estar limitada a velocidades bajas (aproximadamente hasta 30 km/h). A velocidades superiores, el sistema no logra evitar el impacto, pero sí reduce significativamente su gravedad.

¿Cómo funciona?

El AEB funciona en varias fases: primero, detecta el peligro inminente mediante sensores, que calculan la distancia y la velocidad relativa de los objetos frente al vehículo. Cuando identifica una posible colisión, el sistema emite una advertencia, normalmente visual y/o acústica. Si el conductor reacciona pero frena con poca intensidad, el sistema aumenta automáticamente la presión de frenado para evitar el impacto. Si el con-

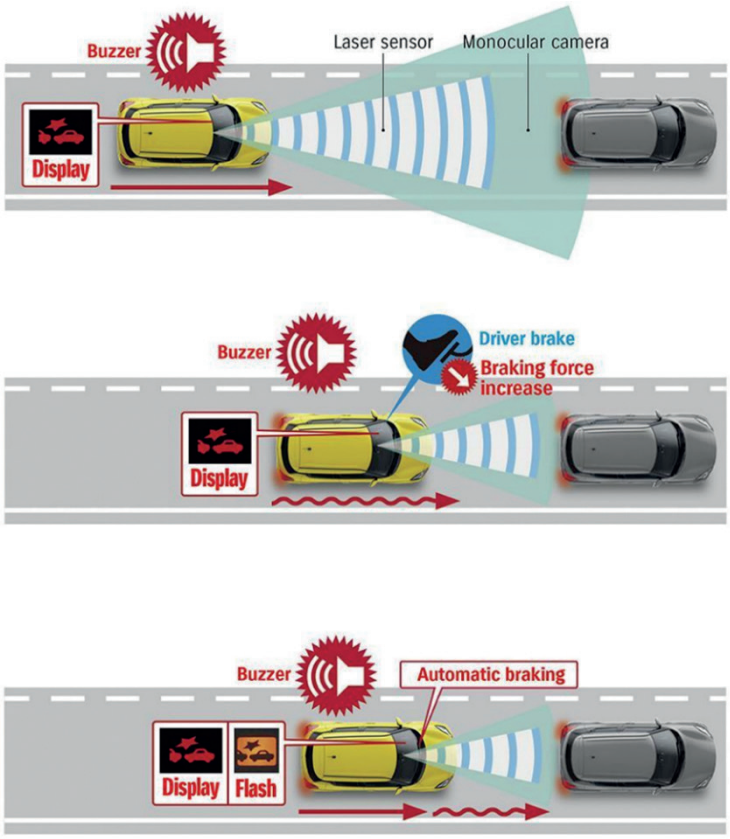


Figura 3. Funcionamiento AEB.
https://www.newsauto.it/suzuki/sistemi-adas-suzuki-aiuti-alla-guida-2018-176854/

ductor no responde a la advertencia, el AEB toma el control y aplica una frenada de emergencia. A baja velocidad, incluso puede detenerlo por completo (aproximadamente hasta 30 km/h), mientras que a velocidades más altas no logra evitar la colisión, pero sí mitiga sus consecuencias. El sistema se desactiva cuando el riesgo desaparece o el conductor retoma el control.

Los principales componentes del AEB son: cámara frontal, radar frontal, sensores de posición del acelerador y del freno, sensor de ángulo de giro del volante, unidad de control y sistema de frenado.

Los sistemas de frenada de emergencia necesitan trabajar en conjunto con el ABS (*Anti-lock Braking System*) y el ESC (*Electronic Stability Control*) formando parte de un ecosistema de seguridad activa. De hecho, en la mayoría de los vehículos modernos, el AEB no se ofrece sin ABS y ESC, ya que sería peligroso aplicar una frenada automática sin control de estabilidad ni antibloqueo.

El ABS evita que las ruedas se bloqueen durante una frenada brusca, algo esencial porque el AEB aplica el freno de forma automática y con gran intensidad; sin ABS, el bloqueo de ruedas podría provocar pérdida de control. Por su parte, el ESC (o ESP) mantiene la estabilidad del vehículo en maniobras críticas, ajustando la frenada en cada rueda si detecta pérdida de adherencia o riesgo de derrape. Así, cuando el AEB detecta un obstáculo y decide frenar, el ABS actúa para mantener la tracción y el ESC interviene para conservar la trayectoria, especialmente en curvas o superficies deslizantes. Esta coordinación permite reducir al máximo las consecuencias de una colisión y mantener el control del vehículo en todo momento.

Figura 5. Ejemplo de Funcionamiento AEB.
https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/conviertete-en-un-buen-conductor/Sistemas-avanzados-de-ayuda-a-la-conduccion-ADAS-/

6. Sistemas de advertencia y emergencia de mantenimiento de carril

En el ámbito normativo europeo hay que distinguir entre el ELKS (Emergency Lane Keeping System) exigido para turismos y vehículos comerciales ligeros (M1 y N1) y el LDW (Lane Departure Warning) exigido para el resto de vehículos pesados y autobuses (M2, M3, N2 y N3). Además, los fabricantes utilizan otras denominaciones comerciales, como LKA (Lane Keeping Assist) o LKS (Lane Keeping System). Todos estos sistemas están orientados a evitar salidas de vía por distracción, somnolencia o pérdida de atención del conductor. En 2023, este tipo de siniestro causó 486 fallecidos, el 42% de las muertes en carretera en España según el balance de siniestralidad de la DGT publicado en enero de 2024. El Proyecto VIDAS, desarrollado por Bosch y FESVIAL, estima que sistemas como LDW y LKA podrían evitar hasta el 40% de los siniestros, el 37% de las lesiones graves y el 29% de las muertes.

¿Qué es?

Los sistemas de asistencia vinculados al carril tienen distinto nivel de intervención sobre el vehículo. El LDW avisa al conductor si sobrepasa las líneas de carril sin accionar el intermitente, interpretando esta acción como involuntaria. El ELKS combina la advertencia al conductor con una posible intervención correctora sobre la trayectoria del vehículo mediante la dirección, el frenado o una combinación de ambos cuando el vehículo abandona o está a punto de abandonar el carril de forma involuntaria y existe riesgo inminente. Los sistemas LKA/LKS, según el fabricante, pueden corregir suavemente la dirección cuando el vehículo se aproxima o rebasa la línea de carril sin señalizar o ayudar a mantenerlo centrado en el carril de forma continua.

ELKS, LDW, LKA y LKS están relacionados, pero no son exactamente lo mismo.

¿Cómo funciona?

Mediante una cámara situada normalmente en la parte superior del parabrisas, junto con sensores del vehículo que permiten conocer la trayectoria, la velocidad, el ángulo de giro del volante, la fuerza aplicada a la dirección y el uso de los intermitentes, el sistema detecta las marcas viales, calcula la posición del vehículo en el carril y analiza si la maniobra parece voluntaria o involuntaria. Si el LDW detecta una desviación sin poner el intermitente avisa mediante señales acústicas, visuales en el

Tabla 4. Comparación entre LDW, LKA y LKS

Siglas	Nombre	¿Actúa sobre la dirección?	Función principal	¿Cómo se complementan?
ELKS	*Emergency Lane Keeping System* (Sistema de emergencia de mantenimiento del carril)	Sí	Avisa y puede corregir la trayectoria ante una salida involuntaria del carril con riesgo.	Alerta + acción correctora (dirección y/o frenado)
LDW	*Lane Departure Warning* (Alerta de Salida de Carril)	No	Solo avisa al conductor (con sonido, vibración o luz) si se sale del carril sin señalizar.	Alerta
LKA	*Lane Keeping Assist* (Asistente de Mantenimiento de Carril)	Sí	Corrige suavemente la dirección para mantener el vehículo dentro del carril.	Alerta + correc-ción suave
LKS	*Lane Keeping System* (Sistema de Mantenimiento de Carril)	Sí	Similar a LKA, pero puede incluir funciones más avanzadas como centrado activo en el carril.	LKA + otras funciones de centrado

cuadro de instrumentos o incluso vibraciones en el volante o el asiento. Algunos sistemas indican también el lado de la salida para facilitar una reacción más rápida. Si el conductor no corrige, sistemas como ELKS, LKA o LKS pueden intervenir sobre la dirección o, en algunos casos, sobre el frenado para ayudar a mantener el vehículo dentro del carril, siempre que se supere una determinada velocidad.

Según la normativa europea, estos sistemas deben activarse cada vez que se arranca el motor, aunque se haya desactivado durante un uso anterior del vehículo.

Su eficacia depende del estado de las marcas viales y de la visibilidad, por lo que estos sistemas complementan la atención del conductor, pero no la sustituyen.

Figura 6. Ejemplo de Funcionamiento LDW.
https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/conviertete-en-un-buen-conductor/Sistemas-avanzados-de-ayuda-a-la-conduccion-ADAS-/

7. Asistente de Velocidad Inteligente

El Asistente de Velocidad Inteligente (ISA, *Intelligent Speed Assistance*) ayuda al conductor a no superar los límites legales de velocidad mediante avisos visuales, sonoros o táctiles o incluso limitando la potencia del motor. Para ello, combina datos de cartografía digital con el reconocimiento de señales a través de cámaras y GPS.

Su utilidad es clave en seguridad vial: la velocidad inadecuada es la segunda causa de siniestralidad en España (DGT). Según un estudio de Fundación MAPFRE y CESVIMAP, analizando 500 reconstrucciones de accidentes, el 69% de los atropellos por exceso de velocidad y el 43% de las colisiones entre vehículos se habrían evitado con el sistema ISA. Además, diversos análisis estiman que su implantación generalizada podría reducir un 30% las colisiones y un 20% las muertes.

El asistente de velocidad inteligente es uno de los ADAS clave para avanzar hacia la conducción automatizada.

¿Qué es?

El ISA es un sistema que informa y asiste al conductor para mantener la velocidad adecuada en función de la vía, basándose en datos de cartografía digital y en el reconocimiento de señales mediante cámaras y GPS.

Tiene dos modos de actuación: modo informativo y modo intervencionista. El modo informativo muestra el límite en el cuadro y avisa si se supera mediante señales visuales, sonoras o vibraciones en el pedal. El modo intervencionista ofrece resistencia en el pedal o reduce la potencia del motor para evitar rebasar el límite. El conductor siempre puede anular la intervención pisando el acelerador o desactivando el sistema.

Tabla 5. Comparación entre ISA, ACC y SLI

Siglas	Nombre	Función principal	Actúa automáticamente	Sensores usados	Diferencias clave
ISA	*Intelligent Speed Assistance* (Asistencia inteligente de velocidad)	Advierte o limita la velocidad según los límites legales detectados	Sí o no	Cámara + GPS + mapas	Seguridad vial y cumplimiento normativo
ACC	*Adaptive Cruise Control* (Control de crucero adaptativo)	Ajusta la velocidad para mantener una distancia segura con el vehículo delantero	Sí	Radar frontal + cámara	Confort y reducción de fatiga en conducción
SLI	*Speed Limit Indicator* (Limitador de velocidad)	Impide que el vehículo supere una velocidad establecida por el conductor	No (aunque puede avisar)	Electrónica interna	Evita excesos de velocidad por decisión del conductor

Es importante diferenciar el ISA de otros sistemas que, aunque relacionados con la gestión de la velocidad, cumplen funciones distintas, como el Control de Crucero Adaptativo (ACC, *Adaptive Cruise Control*) que ajusta automáticamente la velocidad del vehículo para mantener una distancia de seguridad respecto al vehículo precedente, y el Indicador de Límite de Velocidad (SLI, *Speed Limit Indicator*) el cual se limita a mostrar en el cuadro de instrumentos el límite de velocidad detectado, sin intervenir en la conducción. Ninguno de ellos está regulado como obligatorio por la normativa europea.

¿Cómo funciona?

El ISA combina dos elementos: sistema de navegación, que identifica el límite de velocidad de la vía, y sistema de reconocimiento de señales mediante una cámara interior apoyada por GPS, capaz de detectar también limitaciones temporales de velocidad.

Si el vehículo supera el límite de la vía, el sistema emite alertas visuales, sonoras y/o vibraciones en el pedal pudiendo actuar sobre el acelerador o la gestión del motor para reducir la velocidad aunque el conductor conserva el control total pudiendo pisar el acelerador en cuyo caso el sistema de velocidad inteligente se desconectaría.

Su funcionamiento puede verse afectado por climatología adversa, sensores sucios o un sistema de navegación desactualizado.

8. Preinstalación de alcoholímetro antiarranque

Desde el 6 de julio de 2022, la normativa europea obliga a que todos los vehículos de nueva homologación incluyan una interfaz para la instalación de alcoholímetros antiarranque (también conocidos como alcohol interlock o alcolock). Dos años después, el 6 de julio de 2024, esta exigencia se amplió a todos los turismos y vehículos comerciales ligeros de nueva matriculación.

El objetivo es facilitar la instalación futura de dispositivos que impidan arrancar el vehículo si el conductor supera los límites legales de alcoholemia, una medida que busca reducir la siniestralidad asociada al consumo de alcohol, tercera causa de accidentes mortales en España tras el exceso de velocidad y las distracciones.

Cada Estado miembro decidirá cuándo es obligatorio el uso del dispositivo, por ejemplo, para conductores reincidentes, profesionales o por decisión judicial. En España, la Ley de Tráfico ya exige su instalación y uso en vehículos destinados al transporte de personas con más de nueve plazas (categorías M2 y M3).

¿Qué es?

La preinstalación consiste en un interface estandarizado que permite conectar el alcoholímetro antiarranque al sistema de arranque del vehículo. Este dispositivo, cuando se instala, impide el encendido del motor si detecta que el conductor ha consumido alcohol por encima de los límites permitidos (actualmente en España: 0,25 mg/l en aire espirado para conductores generales y 0,15 mg/l para noveles y profesionales, aunque la DGT ha anunciado que reducirá el límite para todos los conductores a 0,10 mg/l en aire aspirado).

Sin duda, se trata de una medida muy eficaz para reducir los siniestros causados por la presencia de alcohol al volante.

¿Cómo funciona?

Antes de arrancar, el conductor debe soplar en un etilómetro conectado al sistema. La muestra se analiza en unos 25 segundos:

- Si la concentración de alcohol en el aliento está dentro del límite, el vehículo puede arrancar.
- Si lo supera, el inmovilizador electrónico impide el encendido.

La interfaz instalada en fábrica incorpora cableado y conexión al panel de instrumentos, lo que permite integrar el sistema sin modificaciones complejas. Si el vehículo permanece detenido más de 30 minutos, el conductor debe repetir la prueba antes de volver a arrancar.

9. Sistemas para mantener la atención al volante

La Regulación General de Seguridad (GSR) de la UE exige sistemas destinados a reducir siniestros causados por fatiga y distracción, dos de las principales causas de accidentalidad según la DGT.

En este marco se distinguen dos sistemas complementarios: sistema de detección de somnolencia y falta de atención DDAW (*Driver Drowsiness and Attention Warning*) y sistema avanzado de distracción del conductor ADDW (*Advanced Driver Distraction Warning*).

El DDAW es obligatorio para nuevos tipos desde el 6 de julio de 2022 y para todas las matriculaciones desde el 7 de julio de 2024 (categorías M y N). El ADDW es obligatorio para nuevos tipos desde el 7 de julio de 2024 y para todas las matriculaciones desde el 7 de julio de 2026.

¿Qué es?

El DDAW analiza el comportamiento del conductor y las condiciones de conducción para identificar patrones que indiquen cansancio, somnolencia o falta de atención. Cuando detecta riesgo, emite alertas visuales y sonoras para que el conductor realice una pausa. Este sistema es especialmente relevante porque la somnolencia y las distracciones son dos de las principales causas de siniestralidad en España, según la DGT. Su efectividad disminuye con climatología adversa o en entornos urbanos, donde suele desconectarse por las bajas velocidades.

El ADDW, complementario al anterior, se centra en la distracción visual. Vigila la dirección de la mirada y la posición de la cabeza, avisando cuando el conductor mira demasiado tiempo a zonas ajenas a la conducción (regazo, consola, asiento del acompañante). En resumen, DDAW aborda somnolencia/baja alerta, mientras que ADDW combate la distracción visual sostenida.

¿Cómo funciona?

El DDAW combina sensores y algoritmos que analizan: movimientos oculares y posición de la cabeza mediante cámara interior, presión y microcorrecciones en el volante, tiempo de conducción sin pausas, patrones de comportamiento como aceleraciones, frenadas, cambios bruscos de dirección y falta de respuesta a alertas o controles.

Si detecta somnolencia, activa una alerta visual y acústica. En los sistemas más avanzados, la cámara interior analiza las facciones del rostro, los movimientos de la cabeza e incluso el parpadeo para determinar el nivel de atención del conductor. Algunos vehículos también incorporan una cámara frontal que vigila las líneas de la carretera; si detecta invasiones repetidas del carril, el sistema interpreta que puede existir falta de concentración y refuerza la alerta. El tiempo de conducción es otro factor clave: si el vehículo permanece en marcha durante más de dos horas sin detenerse, la centralita emite una advertencia para sugerir un descanso.

El ADDW utiliza cámaras interiores, normalmente infrarrojas, y algoritmos de visión/IA para determinar los ojos, la cabeza y la dirección de la mirada.

La norma europea define zonas de distracción y umbrales temporales. Se debe avisar si la mirada permanece en áreas no relacionadas con la conducción más de 3,5 segundos por encima de 50 km/h o más de 6 segundos entre 20–50 km/h. Debe funcionar desde 20 km/h, de día y de

Tabla 6. Comparación entre sistemas DDWA y ADDW

Sistema	DDAW	ADDW
Qué detecta	Somnolencia / baja alerta por fatiga.	Distracción visual sostenida (mirada fuera de la vía).
Cómo lo detecta	Prioriza señales indirectas del vehículo; puede combinarse con sensores en cabina en soluciones avanzadas.	Señales directas del conductor (ojos/cabeza) con cámara interior y visión/IA.
Umbrales	Validación con ensayos con personas y escala de somnolencia; no hay tiempos fijos universales en la norma.	Tiempos definidos por la norma y zonas de distracción (p. ej., >3,5 s >50 km/h; >6 s 20–50 km/h).
Activación/ operación	Eficacia mayor en trayectos largos/velocidad estable; requisitos de HMI y autodiagnóstico.	Activación ≥20 km/h, funcionamiento día/noche y avisos escalonados.
Obligatoriedad (UE)	Nuevos tipos 06-jul-2022 Todas las nuevas matriculaciones 07-jul-2024.	Nuevos tipos 07-jul-2024 Todas las nuevas matriculaciones 07-jul-2026

Tabla 7. Diferencias clave entre diferentes señales de frenada de emergencia

Siglas	Función principal	Tipo de sistema	Activación	Beneficio principal
ESS	Advertencia visual a otros conductores	Señalización (luces)	Frenada brusca detectada (>7 m/s², ABS)	Evitar colisiones por alcance
EBA/AEB	Asistencia en la frenada de emergencia	Intervención activa en el frenado	Pedal rápido (EBA) o detección de riesgo (AEB)	Reducir distancia de frenado
SLI	Speed Limit Indicator (Limitador de velocidad)	Impide que el vehículo supere una velocidad establecida por el conductor	No (aunque puede avisar)	Electrónica interna

noche, y emitir avisos escalonados (visual + acústico/táctil).

Tanto en DDAW como en ADDW, las condiciones adversas (meteorología, vibraciones, tráfico denso) pueden afectar a la detección. En ámbito urbano y a baja velocidad, el impacto del DDAW es menor porque la fatiga sostenida se manifiesta más en trayectos largos a velocidad estable; en cambio, el ADDW mantiene su utilidad al supervisar miradas incluso en escenarios con mayor carga de estímulos. La progresiva integración de inteligencia artificial y perfilado no intrusivo del conductor permitirá mejorar la sensibilidad y reducir falsos avisos en ambos sistemas

10. Señal de frenada de emergencia

La señal de frenada de emergencia (ESS, *Emergency Stop Signal*) avisa al conductor que circula detrás cuando el vehículo precedente realiza una frenada brusca, reduciendo el riesgo de colisiones por alcance, especialmente situaciones de tráfico denso. Aunque la denominación habitual es ESS, algunos fabricantes emplean nombres como EBL (*Emergency Brake Light*) o *Dynamic Brake Light*.

¿Qué es?

El ESS es un sistema que activa automáticamente los intermitentes o las luces de freno con un parpadeo rápido cuando detecta una frenada brusca. Se activa ante una desaceleración elevada y se desactiva cuando el vehículo vuelve a acelerar o se detiene completamente. No interviene en el frenado —a diferencia del AEB o el EBA—; solo actúa sobre la señalización luminosa. Es uno de los seis sistemas ADAS obligatorios para todos los vehículos (no solo para los coches).

¿Cómo funciona?

El sistema ESS utiliza los sensores del vehículo para monitorizar la velocidad y la presión de frenado. Cuando se detecta una frenada brusca, el sistema ordena a las luces traseras que parpadeen a alta frecuencia, normalmente entre 3 y 5 Hz, para advertir a los conductores que circulan detrás. Este parpadeo dinámico incrementa la visibilidad del aviso y mejora la capacidad de reacción, reduciendo el riesgo de colisiones por alcance.

Para que el ESS funcione, el vehículo debe contar con un sensor en el pedal del freno que mide la rapidez con la que se aplica la presión, un acelerómetro que registra de forma continua la deceleración y luces de freno capaces de emitir pulsaciones rápidas. El sistema se activa únicamente cuando se alcanzan deceleraciones superiores a 7 m/s², generalmente a velocidades por encima de 55 km/h o cuando entra en funcionamiento el ABS.

Según estudios citados por Fundación MAPFRE, esta señalización dinámica puede reducir el tiempo de reacción del conductor que circula detrás en unos 0,5 segundos, mejorando la capacidad de evitar un alcance, aunque su eficacia depende de la distancia y las condiciones de la vía.

11. Detector de obstáculos marcha a atrás

El sistema de detección inversa o detector de marcha atrás (REV, *Rear Vehicle Detection*) ayuda a evitar colisiones durante maniobras marcha atrás, alertando al conductor sobre la presencia de obstáculos situados detrás del vehículo. Su objetivo es prevenir impactos con personas, ciclistas, vehículos u objetos, especialmente en entornos con visibilidad reducida, como aparcamientos o calles estrechas.

Aunque REV es un término habitual en la industria, no es una denominación normativa oficial y puede aparecer bajo nombres comerciales como asistente contra colisiones traseras, alerta de tráfico trasero o sistema anticolisión trasera.

¿Qué es?

El REV es un sistema de asistencia pasiva, ya que no interviene en la dirección ni en el frenado; su función se limita a emitir alertas sonoras y/o

Tabla 8. Comparación entre sistemas de detección de obstáculos marcha atrás

Siglas	Nombre	Función principal	Actúa automáticamente	Sensores usados
REV	Rear Vehicle Detection (Detector de obstáculos marcha atrás)	Advierte sobre obstáculos detrás del vehículo	No	Ultrasonidos, cámara y/o radar (según diseño)
RCTA	Rear Cross Traffic Alert (Alerta de tráfico cruzado trasero)	Detecta vehículos que se aproximan por los lados al dar marcha atrás	No	Radar en esquinas del paragolpes trasero (lo más común)
RCTB	Rear Cross-Traffic Braking (Frenado por tráfico cruzado trasero)	Igual que RCTA, pero también frena si hay riesgo de colisión	Sí	Radar trasero, a veces integrado con cámara
R-AEB	Reverse Autonomous Emergency Braking (Frenado automático de emergencia trasero)	Frena automáticamente si detecta cualquier riesgo de colisión al dar marcha atrás (no solo tráfico cruzado)	Sí	Radar + cámara (arquitecturas variables)

visuales para advertir al conductor cuando detecta un obstáculo situado detrás del vehículo. La evolución de este sistema es el R-AEB (*Rear Autonomous Emergency Braking*), que sí aplica el frenado automático cuando detecta riesgo inminente de colisión o atropello, incluso con detección de peatones.

No debe confundirse con el sistema de alerta de tráfico cruzado trasero RCTA (*Rear Cross Traffic Alert*), que detecta vehículos que se aproximan lateralmente al salir de un estacionamiento marcha atrás. Aunque ambos sistemas están relacionados con la marcha atrás, el RCTA no es obligatorio según el reglamento europeo y su implementación depende del fabricante y del nivel de equipamiento del vehículo. Además, existen otros sistemas que aplican el frenado automático como el frenado por tráfico cruzado trasero RCTB (*Rear Cross-Traffic Braking*) y el frenado automático de emergencia trasero (*Reverse Autonomous Emergency Braking*).

¿Cómo funciona?

El sistema REV emplea una combinación de tecnologías para detectar obstáculos: los sensores de radar, ubicados en las esquinas del paragolpes trasero, detectan objetos en movimiento a cierta distancia; los sensores ultrasónicos, instalados en el paragolpes, ideales para detectar objetos muy cercanos; y la cámara trasera, que proporciona una imagen en tiempo real del entorno, facilitando la maniobra. Cuando el sistema detecta un obstáculo, emite alertas acústicas y visuales en el cuadro de instrumentos.

La eficacia puede disminuir con objetos finos o blandos, meteorología adversa o suciedad en sensores/cámara; con remolques pueden aparecer falsas alarmas.

12. Registrador de Eventos de Datos

El Registrador de Eventos de Datos (EDR, *Event Data Recorder*), conocido como “caja negra”, es un sistema cuya finalidad es registrar parámetros críticos justo antes, durante e inmediatamente después de una colisión, permitiendo reconstruir las circunstancias en las que se ha producido el siniestro. No es un sistema de asistencia al conductor: no graba audio ni vídeo, ni datos que permitan identificar al vehículo/propietario; registra únicamente señales técnicas del vehículo definidas en la normativa y no puede desactivarse.

¿Qué es?

El Reglamento Europeo sobre los ADAS hace referencia a este EDR como “registrador de datos de incidencias” diseñado exclusivamente para registrar y almacenar parámetros e información críticos relacionados con una colisión, poco antes, en el transcurso e inmediatamente después de ésta. Un caso de posible grabación sería al activarse el despliegue de un airbag. El objeto de los datos es conocer, entre otros, la velocidad del vehículo, frenado, posición e inclinación, movimientos de dirección, aceleración y desaceleración, y el estado/ritmo de activación de los sistemas de seguridad, incluido eCall 112.

El EDR no puede desactivarse y suele estar incorporado en ECUs del vehículo, por ejemplo, en el módulo airbag u otros módulos de seguridad, aunque la normativa no prescribe una ubicación concreta.

¿Cómo funciona?

El EDR opera en bucle continuo, mantiene un buffer volátil que se sobrescribe mientras se circula y solo guarda la información en una memoria permanente cuando se produce un evento de disparo, por ejemplo, cuando el algoritmo de choque supera un umbral o se activa un sistema como el air-

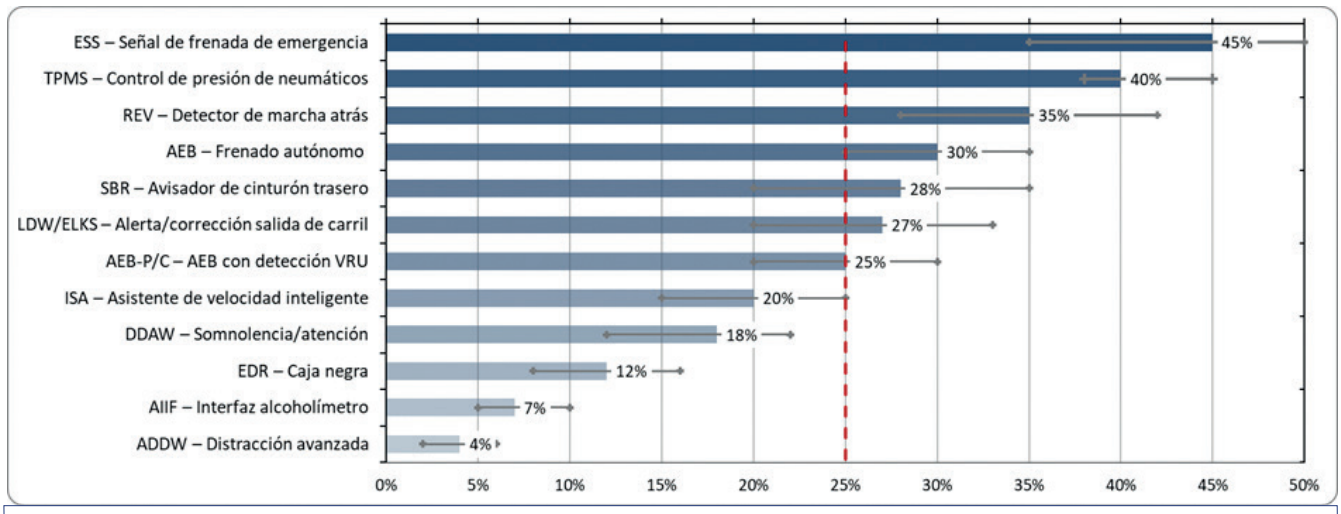


Figura 7. Porcentaje estimado de la implantación de ADAS en España. Fuente: elaboración propia

bag. La normativa define el registro de los datos "poco antes, durante e inmediatamente después" del impacto y utiliza referencias temporales como "*time zero*" (instante de comienzo del evento) y "*end of event*" (cuando el algoritmo se resetea o la variación de velocidad cae por debajo de un umbral). También contempla choques múltiples cuando el primer y el último evento comienzan con ≤ 5 segundos de diferencia.

Una vez activado, registra y conserva un conjunto de parámetros como velocidad, posición e inclinación del vehículo, aceleraciones y cambios de velocidad en los ejes, activación del freno, entrada de dirección, así como el estado y los tiempos de activación de los sistemas de seguridad.

El acceso a los datos se realiza a través de una interfaz estandarizada y está limitado a las autoridades nacionales para investigación y análisis de accidentes, con garantías de privacidad conforme al RGPD.

Tabla 9. Porcentaje estimado de la implantación de ADAS en España, Mínimo y Máximo

Sistema ADAS	Central (%)	Min (%)	Max (%)
ADDW Distracción avanzada	4%	2%	6%
AIIF Interfaz alcoholímetro	7%	5%	10%
EDR Caja negra	12%	8%	16%
DDAW Somnolencia/atención	18%	12%	22%
ISA Asistente de velocidad inteligente	20%	15%	25%
AEB-P/C AEB con detección VRU	25%	20%	30%
LDW/ELKS Alerta/corrección salida de carril	27%	20%	33%
SBR Avisador de cinturón trasero	28%	20%	35%
AEB Frenado autónomo	30%	25%	35%
REV Detector de marcha atrás	35%	28%	42%
TPMS Control de presión de neumáticos	40%	38%	45%
ESS Señal de frenada de emergencia	45%	35%	50%

13. Estimación de implantación de ADAS en el parque automotor español

La estimación de la implantación de los sistemas ADAS en 2025 se ha basado en tres aspectos: el marco regulatorio europeo, que establece qué sistemas son obligatorios y desde cuándo; la dinámica del mercado y de los consumidores, impulsada en parte por protocolos como Euro NCAP, que favorecen una adopción anticipada por parte de los fabricantes antes de que la normativa lo exija; y la antigüedad del parque automovilístico en España, que condiciona el ritmo de renovación y, por tanto, la velocidad a la que estas tecnologías se incorporan al conjunto de vehículos en circulación.

Integrando estos factores, para cada sistema ADAS se ha definido un valor central de implantación y un rango plausible (mínimo–máximo), cuyos resultados se presentan en la figura 7.

14. Desafíos en la implementación de los ADAS

Integración tecnológica compleja

Los ADAS combinan sensores heterogéneos (cámaras, radares, LiDAR), inteligencia artificial y sistemas de control en tiempo real. Integrar todos estos componentes de forma fiable, latencias bajas y tolerancia a fallos exige una coordinación estrecha entre disciplinas como la electrónica, la informática y la ingeniería mecánica, además de un diseño robusto frene a condiciones adversas (suciedad, lluvia, niebla, iluminación). Por ejemplo, la complementariedad cámara+radar es clave en los sistemas de frenado autónomo de emergencia, mientras que mmWave radar (radar de onda milimétrica) mejora la cobertura 360° y la estimación de velocidad frente a ultrasonidos en aparcamiento/maniobras.

Validación en condiciones reales

Las pruebas físicas son costosas y nunca cubren todo el espacio de casos; por ello se combinan con simulación y validación virtual cualificada (modelos de vehículo/entorno/sensor, correlación físico-virtual, selección aleatoria de casos para verificación). Organismos como Euro NCAP han publicado protocolos de soporte para virtual testing en "*Crash Avoidance / Safe Driving*" y se está consolidando un enfoque multipilar para la homologación de funciones avanzadas, con requisitos de calificación del modelo y aceptación frente a KPIs. Asimismo, entidades de evaluación y homologación describen por qué la simulación validada es esencial: el creciente número de escenarios hace inviable una cobertura exclusiva con ensayos de campo; de ahí marcos como ISO 34502, VMAD/NATM y guías sobre preparación de plataformas de simulación para tipo-aprobación de sistemas automatizados. Por ejemplo, reproducción virtual de lluvia intensa, noche y peatones de distintas tallas para robustecer la percepción y el AEB antes de campañas en pista.

Cumplimiento normativo

Las regulaciones europeas están en constante evolución, los fabricantes deben adaptarse rápidamente a nuevos requisitos técnicos y de seguridad. Esto implica una trazabilidad completa del diseño, desarrollo y validación de cada sistema ADAS. A la par, la ciberseguridad y la gestión de actualizaciones son ya requisitos de homologación (UN R155, CSMS y UN R156, software updates) y obligan a demostrar gestión del riesgo, mitigación de vulnerabilidades, monitorización y respuesta a incidentes, y procesos seguros de actualización. Por ejemplo, guías nacionales y documentación oficial explican el alcance, las amenazas cubiertas y la relación como ISO/SAE 21434 "Cumplimiento y seguridad automotriz".

Gestión de grandes volúmenes de datos

El desarrollo y operación de ADAS genera enormes cantidades de datos (*datasets*) durante las pruebas y el uso real (registros de sensores, telemetría, eventos), que requieren infraestructura para almacenar, procesar y analizar estos datos de forma eficiente, estrictos controles de acceso y cumplimiento de privacidad. Lo que implica inversiones en plataformas digitales y ciberseguridad.

Las directrices del Comité Europeo de Protección de Datos, EDPB (*European Data Protection Board*) sobre vehículos conectados recomiendan minimización (tomar solo los datos necesarios), privacidad "desde el diseño" y "por defecto" y transparencia; a su vez, la industria propone armonizar el marco de compartición de datos, coordinar con el *Data Act* (norma europea que establece las reglas armonizadas sobre el acceso y uso justo de los datos en la UE) y avanzar hacia un espacio europeo de datos. En explotación, esto implica separar datos anonimizados para seguridad/estadística de datos personales sujetos a consentimiento y derechos, y asegurar ciberseguridad end-to-end.

Aceptación y formación del usuario

La confianza del conductor en los ADAS depende de que entienda el funcionamiento y límites de cada sistema, por ejemplo, que el que ISA se puede desactivar, que ELKS no sustituye la atención, que AEB no es infalible. Organizaciones técnicas y reguladores subrayan la necesidad de educación y usabilidad clara para reducir falsa sensación de seguridad y mejorar la interacción humano-máquina.

Es clave educar al usuario sobre el funcionamiento y las limitaciones de los ADAS para evitar una falsa sensación de seguridad. ¿Quién debe tener la responsabilidad sobre la educación y la formación vial de los conductores en relación al buen uso de los ADAS?, ¿los fabricantes y sus agencias de venta de vehículos?, ¿la Dirección General de tráfico en la definición de nuevos requisitos para la obtención de la licencia de conducción?

Además, en el mercado, la seguridad avanzada no siempre es el factor principal que condiciona la compra de un vehículo. Por esta razón conviene reforzar la divulgación y las compa-

rativas de equipamientos ADAS por modelo, resaltando su impacto en la prevención y la protección de usuarios vulnerables.

Estado no homogéneo de la infraestructura vial

Para que muchos ADAS funcionen correctamente (como el mantenimiento de carril o el reconocimiento de señales), se necesita una infraestructura vial bien mantenida y señalizada. La Comisión Europea ha impulsado especificaciones comunes para mejorar la detectabilidad para conductores y sistemas, y ha publicado guías para evaluar la seguridad de la red y priorizar inversiones. En regiones con señalización horizontal y vertical deficiente, el rendimiento de los sistemas de reconocimiento puede degradarse, afectando la asistencia de estos sistemas.

Posiciones del sector (ERF) muestran que la falta de mantenimiento provoca señales no legibles (de día o de noche), con riesgos para usuarios y para la percepción de los sistemas; de ahí la importancia de políticas de conservación y armonización.

15. ¿Qué debe proporcionar la carretera para que los ADAS funcionen mejor?

Para que los sistemas ADAS funcionen de forma óptima, la carretera debe proporcionar una serie de infraestructuras y condiciones que faciliten la correcta interpretación del entorno por parte de los sensores y algoritmos del vehículo. La tabla adjunta sintetiza los condicionantes más importantes de la infraestructura viaria para el buen funcionamiento de los ADAS.

Tabla 10. Relación entre el estado de ciertos elementos de la carretera y el funcionamiento de ADAS

Elemento de la carretera	¿Por qué es importante para los ADAS?
Marcas viales claras y bien mantenidas	Los sistemas de mantenimiento de carril (LKA/LDWS) y el ISA dependen de la correcta detección de líneas de carril. Los vehículos deben detectar las líneas en todas las condiciones de iluminación y meteorológicas. Esto exige que los responsables de mantenimiento tengan que realizar los chequeos del estado de las marcas viales no solo mediante la reflectividad, sino también mediante análisis de visibilidad de día en seco, de noche en seco y en condiciones de lluvia.
Señalización vertical legible y estandarizada	El reconocimiento de señales (ISA) requiere señales visibles, limpias y en ubicaciones previsibles. Esto exige que los responsables de mantenimiento tengan que realizar los chequeos del estado de las señales verticales no solo mediante la reflectividad, sino también mediante análisis de visibilidad de día, de noche y en condiciones de lluvia. Además, debe asegurarse la no visibilidad de señales ajenas a la vía por la que circula el vehículo, para evitar confusiones en las detecciones.
Iluminación adecuada	Mejora la capacidad de las cámaras para detectar peatones, ciclistas y obstáculos en condiciones nocturnas. Esto exige que los responsables de iluminación y mantenimiento tengan que realizar análisis de homogeneidad de la iluminación, que faciliten la detección por cámaras.
Infraestructura digital (ITS)	Sistemas como V2X (vehículo a infraestructura) permiten comunicación con semáforos, paneles, etc.
Superficie de rodadura en buen estado	Evita interferencias en sensores como radar o LiDAR, y mejora la respuesta de sistemas como el AEBS.
Zonas de transición bien señalizadas	Crucial para que los ADAS reconozcan cambios de velocidad, carriles o condiciones especiales.
Gestión de obras y desvíos	Señalización temporal clara para evitar confusión en los sistemas de navegación y mantenimiento de carril. Esto exige que los responsables de las obras tengan que realizar los chequeos del estado de las señales verticales y marcas viales no solo mediante la reflectividad, sino también mediante análisis de visibilidad de día, de noche y en condiciones de lluvia. Además, debe evitarse la confusión y la incoherencia de señales verticales y marcas viales.

Este artículo pretende ser un buen punto de partida para poner de manifiesto la importancia del rol de la infraestructura viaria en la progresiva implementación del vehículo autónomo. Un inventario actualizado del estado de las carreteras en España permitiría evaluar su nivel de idoneidad para el buen funcionamiento de los ADAS. Igualmente, los datos de funcionamiento de los vehículos (Floating Car Data), que actualmente son recogidos por los fabricantes, podrían ser de gran utilidad para detectar deficiencias en la infraestructura viaria, ya que pueden registrar dónde se producen las desconexiones de los ADAS (por ejemplo, por ilegibilidad de las marcas viales, en el caso de los sistemas de aviso por salida de carril), así como el comportamiento del conductor en algunos tramos concretos del trazado. La cooperación entre las administraciones titulares de las vías, los fabricantes de vehículos y los gestores del tráfico, podrán lograr una mayor eficacia en el uso de los ADAS y, en consecuencia, una reducción de los accidentes graves y mortales, tal como proclama la Visión Zero, para 2050.

Referencias

[1] REGLAMENTO (UE) 2019/2144 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2144&from=EN)

[2] Proyecto VIDAS (Seguridad Vial & ADAS) desarrollado por Bosch y FESVIAL (https://www.grupo-bosch.es/noticias-e-historias/proyecto-vidas-seguridad-vial-adas-desarrollado-por-bosch-y-fesvial/) (https://fesvial.es/wp-content/uploads/2021/05/DEFINICION-VIDAS.pdf)

[3] Estudio epidemiológico. Análisis de los sistemas ADAS para la reducción de la siniestralidad, la mortalidad y la lesividad vial (https://fesvial.es/wp-content/uploads/2021/05/Estudio-epidemiol%C3%B3gico-ADAS.pdf)

[4] Estudio documental y legislativo sobre adas y seguridad vial (https://fesvial.es/wp-content/uploads/2021/05/Estudio-documental-y-legislativo-sobre-ADAS-y-seguridad-vial.pdf)

[5] Así se desarrollan y prueban los ADAS para conducir seguro (https://www.coches.net/noticias/desarrollo-pruebas-sistemas-adas-ayudas-conduccion)

[6] Sistemas ADAS obligatorios en coches nuevos desde julio (https://www.coches.net/noticias/sistemas-seguridad-obligatorios-coches-matriculados-julio-2024)

[7] Frenada automática de emergencia o AEB (https://www.coches.net/noticias/frenada-automatica-de-emergencia-aeb)

[8] DGT - Sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ADAS) (https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/sistemas-avanzados-ayuda-conduccion/Sistemas-avanzados-de-ayuda-a-la-conduccion-ADAS-/)

[9] Qué es el asistente de mantenimiento de carril (https://www.coches.net/noticias/que-es-el-asistente-de-mantenimiento-de-carril)

[10] Qué es el asistente de velocidad inteligente (https://www.coches.net/noticias/asistente-velocidad-inteligente)

[11] Detector de fatiga, atención y distracciones (https://www.coches.net/noticias/detector-de-fatiga-como-funciona)

[12] Alerta de frenada de emergencia (https://www.coches.net/noticias/alerta-de-frenada-de-emergencia)

[13] Caja negra de los coches (https://www.coches.net/noticias/caja-negra-de-los-coches)

[14] Sistema de control de presión de neumáticos (https://www.coches.net/noticias/sistema-de-control-de-presion-de-neumaticos)

[15] Los ADAS obligatorios desde julio 2022, uno a uno (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0518-Landing-ADAS.shtml)

[16] La DGT ya tiene a punto la normativa para la conducción autónoma (https://www.coches.net/noticias/dgt-reglamento-conduccion-autonoma)

[17] Coches que salvan vidas. ¿Cómo ayudan los ADAS a la conducción? (https://www.coches.net/noticias/sistemas-de-asistencia-a-la-conduccion)

[18] ¿Cuál es la función de los sensores de guiñada y de aceleración? (https://www.eurotaller.com/noticia/cual-es-la-funcion-de-los-sensores-de-guinada-y-de-aceleracion#)

[19] FESVIAL | Los sistemas ADAS contribuirán decisivamente en la reducción del 50 % de muertes en carretera fijados en los ODS 2030 (https://fesvial.es/los-sistemas-adas-contribuiran-decisivamente-en-la-reduccion-del-50-de-muertes-en-carretera-fijados-en-los-ods-2030/#:~:text=Bosch%2C%20compa%C3%-

B1%C3%ADa%20l%C3%ADder%20en%20tecnolog%C3%ADa%20y%20servicios%2C%20y,a%20partir%20del%206%20de%20julio%20de%202024)

[20] Sistema de Frenado de Emergencia BAS y EBA (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0924-Como-funcionan-ADAS-frenado-automatico.shtml)

[21] Alerta de Cambio de Carril (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0317-Como-funcionan-ADAS-cambio-carril.shtml)

[22] Cámara de marcha atrás (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0204-Como-funciona-ADA-camara-marcha-atras.shtml)

[23] Asistente de velocidad (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0204-Como-funcionan-ADA-velocidad.shtml)

[24] Detector de fatiga y sueño (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0317-Como-funciona-ADA-detector-fatiga.shtml)

[25] Alerta de cinturón en las plazas traseras (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0930-Como-funciona-Aviso-uso-cinturon-seguridad.shtml)

[26] Bloqueo del vehículo con alcoholímetro (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0924-Como-funcionan-ADAS-alcolock.shtml)

[27] Caja Negra: accidentes con todos los datos (https://revista.dgt.es/es/motor/tecnologia-seguridad/2021/0930-Como-funciona-Caja-negra.shtml)

[28] Resumen de la legislación TPMS en la UE | Schrader TPMS Solutions (https://www.schradertpms.com/es-es/company/press-room/resumen-de-la-legislacion-tpms-en-la-ue)

[29] ADAS: los 4 retos que complican su desarrollo y cómo solucionarlos (https://cadtech.es/transporte-y-movilidad/adas-los-4-retos-que-complican-su-desarrollo-y-como-solucionarlos/)

[30] Indicadores clave del Sistema Nacional de Salud (https://inclasns.sanidad.gob.es/report/population/)

[31] ANFAC - Informe anual 2024 (https://anfac.com/informe2024/)

[32] INFORME-SISTEMAS-DE-AYUDA-A-LA-CONDUCCION-copia.pdf (https://revista.dgt.es/images/INFORME-SISTEMAS-DE-AYUDA-A-LA-CONDUCCION-copia.pdf)

[33] DGT - Conducir sin cinturón de seguridad (https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/evita-conductas-de-riesgo/conducir-sin-cinturon-de-seguridad/)

[34] Informe Anual: LAS PRINCIPALES CIFRAS DE LA SINIESTRALIDAD VIAL EN ESPAÑA (https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/dgt-en-cifras/publicaciones/Principales_Cifras_Siniestralidad/3-1-INF_ANUAL_2023_v18_FINAL.pdf)

[35] Safe Driving & Crash Avoidance, Virtual Testing (https://www.euroncap.com/media/83734/euro-ncap-supporting-protocol-safe-driving-crash-avoidance-virtual-testing-v09.pdf)

[36] Validación de simulación para vehículos autónomos (https://www.tuvsud.com/en/industries/automotive/autonomous-vehicle-testing-and-homologation-services/simulation-validation-for-autonomous-vehicles)

[37] Improved Signage for Better Roads (https://erf.be/wp-content/uploads/2018/01/ERF_Position_Paper_on_Vertical_Signage_Final_7.pdf)

[38] EURO NCAP (2019). Best in Class 2019 – Resultados oficiales. European New Car Assessment Programme (Euro NCAP | Euro NCAP Best in Class 2019) ❖

Gestión avanzada del firme en redes viarias maduras: mejores prácticas internacionales y futuro Sistema Avanzado de Gestión de Firmes de la Dirección General de Carreteras

Advanced pavement management in mature road networks: international best practice and the future Advanced Pavement Management System of the Directorate General for Roads

Christian de la Calle
Dirección General de Carreteras
MITMS

Antonio Muruais
Dirección General de Carreteras
MITMS

Jose Antonio Ramos
RAUROSZM

Fernando Varela
RAUROSZM

La gestión de pavimentos se ha convertido en una de las funciones críticas de las administraciones viarias avanzadas. En redes maduras, el problema principal ya no es únicamente conocer el estado superficial o estructural del firme, sino decidir dónde, cuándo y cómo intervenir para maximizar el valor público de la red bajo restricciones presupuestarias, exigencias de seguridad, presión sobre la disponibilidad, objetivos de descarbonización y exposición creciente a eventos climáticos extremos.

El análisis internacional muestra una convergencia clara. Estados Unidos ha institucionalizado la gestión por desempeño mediante inventarios federales y métricas normalizadas del National Highway System; Inglaterra vincula la gestión del Strategic Road Network a periodos regulatorios, objetivos de servicio y auditoría externa; Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Japón, Alemania, Irlanda y los países miembros de CEDR han desarrollado marcos de referencia, indicadores comparables, modelos de deterioro y plataformas de apoyo a la decisión que permiten pasar de la conservación reactiva a la conservación preventiva y predictiva.

En este contexto, el Sistema Avanzado de Gestión de Firmes (SAGF) previsto por la Dirección General de Carreteras (DGC) del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible representa una oportunidad para situar la gestión de firmes de la Red de Carreteras del Estado en la frontera de las mejores prácticas internacionales. El pliego[1] del expediente de contratación AC-520/25 “Consultoría y asistencia técnica para la gestión técnica avanzada de los firmes de la Red De Carreteras del Estado” incorpora los elementos esenciales para ello: integración de datos históricos y futuros, inventario estructurado, auscultación, tráfico, geometría, climatología, modelos de deterioro, prognosis, inteligencia artificial, programación plurianual, análisis del ciclo de vida, cambio climático, interoperabilidad y trazabilidad de actuaciones ejecutadas.

Pavement management has become one of the critical functions of advanced road authorities. In mature networks, the main challenge is no longer simply to ascertain the surface or structural condition of the pavement, but to decide where, when and how to intervene in order to maximise the public value of the network, whilst taking into account budgetary constraints, safety requirements, pressure on availability, decarbonisation targets and increasing exposure to extreme weather events. International analysis reveals a clear convergence. The United States has institutionalised performance-based management through federal inventories and standardised metrics for the National Highway System; England links the management of the Strategic Road Network to regulatory periods, service targets and external audits; Canada, Australia, New Zealand, Japan, Germany, Ireland and the member countries of CEDR have developed reference frameworks, comparable indicators, deterioration models and decision-support platforms that enable a shift from reactive maintenance to preventive and predictive maintenance.

In this context, the Advanced Pavement Management System (SAGF) planned by the Directorate-General for Roads (DGC) of the Ministry of Transport and Sustainable Mobility represents an opportunity to bring pavement management on the State Road Network into line with international best practice. The tender specifications for contract AC-520/25 'Consultancy and technical assistance for the advanced technical management of road pavements on the State Road Network' incorporates the essential elements for this: integration of historical and future data, a structured inventory, condition surveys, traffic, geometry, climatology, deterioration models, forecasting, artificial intelligence, multi-year planning, life-cycle analysis, climate change, interoperability and traceability of actions carried out.

1. Introducción: la gestión de firmes como problema estratégico de gestión de activos

La gestión de firmes ha evolucionado desde una disciplina centrada en la auscultación y la rehabilitación técnica hacia la concepción estratégica de la gestión de activos viales. En su formulación clásica, el gestor medía el estado del pavimento, clasificaba los tramos por indicadores de regularidad, fisuración, roderas, textura o deflexiones, y programaba actuaciones de acuerdo con umbrales técnicos y disponibilidad presupuestaria. Ese enfoque sigue siendo necesario, pero ya no es suficiente.

En redes viarias maduras, la decisión de conservación debe responder simultáneamente a varias preguntas: qué tramo está peor, qué tramo se deteriorará antes, qué intervención es técnicamente más adecuada, qué alternativa genera menor coste de ciclo de vida, qué impacto produce una actuación sobre los usuarios y logística, qué huella de carbono genera, qué riesgo climático afecta al tramo y qué consecuencias tendría no actuar. Por tanto, la gestión de firmes forma parte de la gestión integral de activos viales y debe coordinarse con una gestión de estructuras, drenaje, señalización, activos geotécnicos, así como con otras disciplinas como la conservación ordinaria, el seguimiento de la vialidad, la información geográfica, los datos de movilidad y tráfico y, por supuesto, el marco de financiación.

Las necesidades objeto del pliego del expediente de contratación AC-520/25 se sitúan precisamente en esta lógica. El contrato se deriva del Programa de Compra Pública de Innovación impulsado en 2022 por la DGC y tiene como objeto la gestión técnica avanzada de los firmes de la Red de Carreteras del Estado. El propio pliego señala que la DGC recibió más de 550 propuestas en una consulta preliminar de mercado y que, para el reto específico de diagnóstico del estado actual de los firmes y su evolución, se recibieron 45 propuestas, de las cuales el 33% fueron consideradas interesantes. Este dato evidencia que la gestión de firmes es un campo técnicamente maduro, pero todavía abierto a la innovación aplicada.

[1] https://contrataciondelestado.es/FileSystem/servlet/GetDocumentByIdServlet?cifrado=QUC1GjXXSiLkydRHJBmbpw%3D%3D&DocumentIdParam=dCloYKmr9OlHL1QGMjh/6f2iDpKUHx8RugMhqiycfDYLtUkjBQoIlWwBQZ/LccU9S/Ra53OfcuUaTTUcsMZya5yCvMAP5b3n9wwx3J0w4CDVTD3T98KC0nSgQFM0q%2B5s

2. Contexto internacional: redes extensas, maduras y sometidas a presión presupuestaria

La comparación internacional permite comprender la escala del problema y la razón por la que los países con redes desarrolladas han reforzado sus sistemas de gestión de pavimentos. La gestión moderna no surge solo por disponibilidad tecnológica, sino por necesidad institucional: mantener redes extensas, envejecidas y con tráfico intenso exige priorizar con datos y justificar cada euro invertido.

La tabla 1 no pretende homogeneizar realidades institucionales muy distintas, sino identificar patrones comunes de gestión avanzada. Los países con mejor práctica han formalizado tres elementos: un modelo de datos, una métrica de desempeño y un proceso de decisión. Cuando alguno de estos tres elementos falta, la gestión tiende a convertirse en inventario, diagnóstico o programación presupuestaria, pero no en verdadera gestión de activos.

La comparación internacional se entiende mejor si, además del modelo institucional, se observa la es-

Tabla 1.

País / ámbito	Magnitud de red	Tipología de red	Modelo de gestión	Mejor práctica destacable	Fuente / enlace web o referencia
Estados Unidos	Red pública total: más de 4 millones de millas; Sistema Nacional de Autopistas con medición federal normalizada de condición (estado).	Interestatal, arteriales, colectoras, locales y Sistema Nacional de Carreteras de los Estados Unidos (NHS).	FHWA Highway Statistics; HPMS; Transportation Performance Management; planes estatales de gestión de activos.	Gestión por desempeño, reporte federal homogéneo y vinculación con financiación.	Refs. [3]-[5]: FHWA Highway Statistics, HM-47C y HPMS.
Inglaterra	Red viaria estratégica: aprox. 4.500 millas / 7.240 km.	Autopistas y carreteras A principales gestionadas por National Highways.	Road Investment Strategy por periodos, indicadores de rendimiento (KPIs), ORR como monitor independiente, cuadros regionales.	Separación entre política, operador y regulador; control externo de resultados.	Refs. [6]-[8]: National High-ways, ORR y Performance Monitoring Statements.
Canadá	Red pública: 1.042,3 miles de km equivalentes a dos carriles; 415,6 miles de km pavimentados y 626,7 no pavimentados.	Red federal/provincial/ territorial y municipal; gran peso de red rural no pavimentada.	Inventarios provinciales, guías TAC, indicadores de condición y desempeño.	Gestión adaptada a redes extensas, clima severo y baja densidad territorial.	Ref. [9]: Transport Canada, Table RO2.
Australia	Aprox. 463.000 km de carreteras pavimentadas y tráfico anual del orden de 260.000 millones de vehículos-km.	Carreteras nacionales, estatales, locales; gran presencia de red regional y remota.	Austroads, Road Asset Data Standard, guías de evaluación de pavimentos, modelos PMS estatales.	Estandarización de datos, guías técnicas comunes y fuerte cultura de gestión de activos.	Refs. [14]-[15]: Austroads Road Asset Data Standard y Guide to Pavement Technology.
Nueva Zelanda	Red estatal y local gestionada bajo un marco nacional de clasificación funcional.	Autopistas estatales y redes locales clasificadas por función y nivel de servicio.	One Network Road Classifica-tion / One Network Frame-work; indicadores de coste, seguridad, accesibilidad, condición y nivel de servicio.	Relación explícita entre jerarquía funcional, nivel de servicio y financiación.	Refs. [12]-[13]: ONRC/ ONF y Auditor-General NZTA.
Japón	Red total superior a 1,2 millones de km; combinación de autopistas, carreteras nacionales, carreteras prefecturales y vías municipales.	Autopistas, carreteras nacionales, carreteras prefecturales y carreteras municipales.	Mantenimiento preventivo, inspección periódica, gestión de envejecimiento de activos y guías de conservación.	Planificación preventiva en una red envejecida y expuesta a riesgos natura-les.	Ref. [16]: MLIT, Roads in Japan 2024.
Alemania	Red federal troncal: aprox. 13.000 km de Autobahnen y 38.000 km de Bundesstras-sen.	Autopistas federales y carreteras federales; gestión con evaluación periódica ZEB.	ZEB: evaluación de estado con regularidad longitudinal/transversal, adherencia y daños superficiales.	Ciclo sistemático de medición, normalización técnica y uso de bases de datos de condición.	Ref. [17]: BASt/BMDV, ZEB.
Europa / CEDR	2023 Pan-European Road Network Performance Report: más de 61.000 km en 18 administraciones nacionales.	Autopistas de más de cuatro carriles, autopistas de hasta cuatro carriles y carreteras no autopistas.	Modelo común de referenciación, definiciones homogéneas y benchmarking bienal.	Comparabilidad internacional mediante definiciones comunes y datos suministrados por las Autoridades Nacionales de Carreteras.	Ref. [10]: CEDR 2023 PERN Report.

cala relativa de las redes o ámbitos de análisis. La Figura 1 resume esas magnitudes con carácter orientativo y no homogéneo.

3. Mejores prácticas internacionales en gestión de pavimentos

Las mejores prácticas internacionales pueden agruparse en ocho bloques. El primero es la existencia de un inventario único, georreferenciado y mantenido, con trazabilidad lineal y espacial. El segundo es la realización de campañas sistemáticas de auscultación con indicadores comparables en el tiempo. El tercero es la integración de información de tráfico, geometría, clima y estructura del firme. El cuarto es el registro histórico de actuaciones ejecutadas. El quinto es la calibración de modelos de deterioro y prognosis. El sexto es la programación plurianual de actuaciones bajo restricciones presupuestarias. El séptimo es la incorporación de costes de usuario, huella de carbono y resiliencia. El octavo es la existencia de herramientas informáticas que conviertan todos estos datos en decisiones auditables.

Desde esta perspectiva, la gestión avanzada no se limita a medir la condición del pavimento, sino que transforma datos auditables en decisiones de programación. La Figura 2 sintetiza ese flujo de trabajo.

Estados Unidos ofrece un ejemplo de institucionalización de métricas de pavimento. La Federal Highway Administration (FHWA) utiliza el Sistema de Seguimiento del Desempeño de Carreteras (Highway Performance Monitoring System, HPMS) y tablas nacionales sobre el Sistema Nacional de Carreteras (National Highway System, NHS) para variables como el índice internacional de regularidad (International Roughness Index, IRI), las roderas (rutting), la fisuración (cracking) y el escalonamiento en juntas o losas de pavimentos de hormigón (faulting). Esta normalización permite una lectura homogénea de la condición del pavimento y su vinculación con el marco federal de gestión del desempeño del transporte (Transportation Performance Management, TPM). En 2023, las tablas de roderas del NHS reportaban más de 112.000 millas rurales y más de 75.000 millas urbanas con información medida, lo que equivale a más de 300.000 km de longitud reportada para ese indicador.

Inglaterra representa otro modelo de interés. National Highways gestiona una red relativamente pequeña en

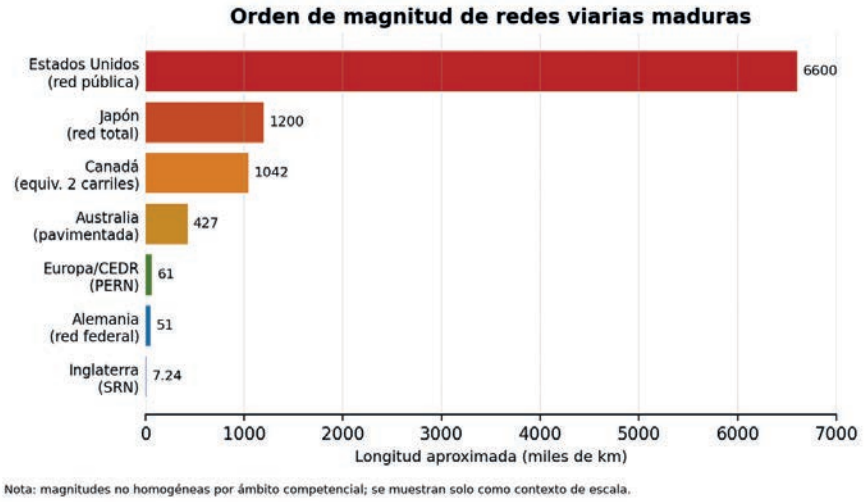


Figura 1. Orden de magnitud de algunas redes y ámbitos de referencia citados en el benchmarking internacional. [2]

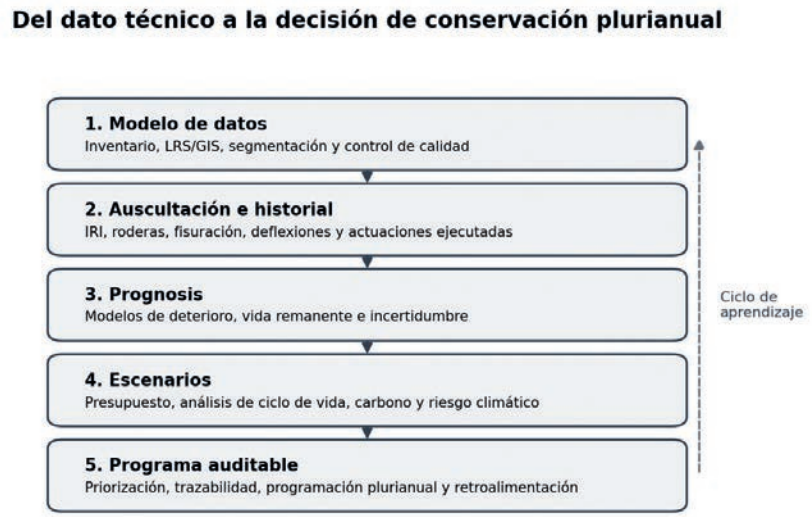


Figura 2. Esquema simplificado de transición desde el dato técnico hasta la programación plurianual de conservación. [3]

[2] Figura adaptada a partir de datos y referencias de FHWA Highway Statistics 2023; National Highways, Roads we manage; Transport Canada, Table RO2 2023; BITRE, Australian Infrastructure and Transport Statistics Yearbook 2023; MLIT, Roads in Japan 2024; BMDV/BASt; y CEDR, 2023 Pan-European Road Network Performance Report.

[3] Esquema adaptado a partir de PIARC, Road Asset Management Manual, y Transport Infrastructure Ireland, Pavement Asset Management Guide AM-PAV-06060.

longitud, en torno a 4.500 millas, pero de enorme peso funcional, ya que la esta red estratégica de carreteras transporta alrededor de un tercio del tráfico y dos tercios del transporte de mercancías. La gestión se articula mediante diferentes estrategias de inversión, Indicadores de estado o Key Performance Indicators (KPIs) nacionales, informe anual, evaluación externa por la Office of Rail and Road y cuadros de mando regionales. Este enfoque refuerza la rendición de cuentas y la trazabilidad de las decisiones.

Figura 3. Familias de indicadores que deben integrarse para pasar del diagnóstico técnico a una decisión de conservación orientada al valor público. [4]

Tabla 2.

Familia de KPI	Indicadores habituales	Uso internacional	Utilidad para decisión
Condición funcional	IRI / regularidad longitudinal; ELPV o métricas equivalentes de suavidad; roderas; textura.	Estados Unidos, Inglaterra, Australia, Alemania, España, Irlanda.	Priorizar rehabilitaciones superficiales, confort, coste de operación de usuarios y percepción de calidad.
Condición superficial	Fisuración longitudinal, transversal y en malla; baches; parches; deterioros visua-les; PCI en algunos entornos.	Estados Unidos, Canadá, Australia, Japón, municipios norteamericanos, aeropuer-tos.	Identificar tratamiento preventivo, sellado, fresado/reposición o rehabilitación.
Condición estructural	Deflexiones FWD o equivalentes, índice estructural, vida remanente, capacidad portante.	España, Nueva Zelanda, Australia, Japón, Alemania.	Diferenciar rehabilitación superficial frente a estructural; programar refuerzos.
Seguridad superficial	Rozamiento / skid resistance, macrotextu-ra, drenabilidad superficial.	Reino Unido, Alemania, Nueva Zelanda, Australia, España.	Priorizar intervenciones en tramos con riesgo de deslizamiento, lluvia o alta accidentalidad.
Tráfico y criticidad	IMD, pesados, HGV %, ejes equivalentes, tráfico logístico, jerarquía funcional, redundancia.	Todos los modelos avanzados.	Ponderar consecuencias: no todos los km tienen el mismo valor funcional ni social.

Nueva Zelanda destaca por la vinculación entre clasificación funcional, niveles de servicio y financiación. El "One Network Road Classification" fue concebido para estandarizar el desempeño de las carreteras en todo el país y reducir inconsistencias históricas. En el ámbito de pavimentos, este enfoque obliga a que el estado aceptable de una vía no se valore en abstracto, sino de acuerdo con su función en la red, el tipo de usuario al que sirve y el nivel de servicio exigible.

Alemania es una referencia por la sistematización de la evaluación de estado. La metodología ZEB evalúa periódicamente la red federal mediante mediciones automatizadas de regularidad, adherencia y deterioros superficiales. La lógica alemana no se limita a medir; estructura la información de manera que permita análisis de red, comparación temporal y planificación de inversiones en conservación.

El caso europeo, a través de CEDR, es especialmente útil para España porque muestra la importancia de las definiciones comunes. El Pan-European Road Network Performance Report utiliza un modelo común de referenciación y definiciones de datos compartidas, lo que permite comparar redes de administraciones nacionales distintas. En gestión de firmes, esta lección es crítica: la comparabilidad de indicadores depende tanto de la calidad de medición como de la normalización de segmentos, carriles, periodos, equipos, umbrales y criterios de agregación.

[4] Esquema adaptado a partir de FHWA, Transportation Performance Management / HPMS Field Manual; CEDR, Pan-European Road Network Performance Report; y TII, Pavement Asset Management Guide AM-PAV-06060.

4. Benchmarking de KPIs utilizados en la toma de decisiones

Los indicadores o KPIs utilizados por las administraciones avanzadas pueden clasificarse en cinco familias: condición técnica, seguridad y confort, funcionalidad y disponibilidad, economía y ciclo de vida, y sostenibilidad/resiliencia. La tendencia no es sustituir los indicadores técnicos, sino complementarlos con indicadores que permitan justificar la decisión desde una perspectiva de valor público.

La lectura de los KPIs debe ser combinada. La Figura 3 muestra las familias de indicadores que conviene integrar para evitar que la decisión dependa de un único umbral técnico.

El principal aprendizaje de este benchmarking es que el KPI aislado pierde fuerza decisoria. Por ejemplo, un IRI elevado puede indicar una necesidad funcional, pero la decisión cambia si el tramo tiene poco tráfico, si el firme conserva capacidad estructural, si existe una intervención reciente, si la carretera es un itinerario logístico crítico o si la alternativa de tratamiento genera una huella de carbono muy diferente. La gestión avanzada requiere, por tanto, indicadores combinados y trazables.

Tabla 3.

Herramienta / enfoque	Naturaleza	Funcionalidades destacadas	Ventajas	Limitaciones / cautelas
PAVER / MicroPA-VER	Sistema clásico de gestión de pavimentos desarrollado inicialmente para el Department of Defense de EE. UU.; usa PCI de 0 a 100.	Inventario, inspección, PCI, predicción de condición, escenarios de mantenimiento y rehabilitación.	Fuerte trazabilidad metodológica; muy útil para redes locales, aeropuertos, instalaciones y entornos con metodología PCI.	Menor flexibilidad para integrar objetivos multi-activo, carbono o arquitecturas corporativas complejas sin adaptación.
dTIMS / Deighton	Plataforma comercial de decisión para gestión de infraestructura y pavimentos.	Modelos deterministas/ probabilísticos, análisis de escenarios, optimización, necesidades de financiación, GIS/ LRS, dashboards.	Muy potente en planificación estratégica y análisis de escenarios; usada por agencias con enfoque de gestión de activos.	Requiere configuración intensiva, calibración y adaptación al modelo de datos de la agencia.
AgileAssets / Trimble Pavement Analyst	Solución comercial orientada a optimizar planes de trabajo durante el ciclo de vida del pavimento.	Análisis multianual, restricciones múltiples, modelos de deterioro, árboles de decisión, GIS/LRS, planes optimizados.	Adecuada para agencias que buscan PMS integrado con gestión de activos corporati-vo.	La lógica final depende de configuración y de la calidad de datos históricos.
Pavement Express / Trimble	Sistema configurable de despliegue más rápido para gobiernos locales.	Inventario, estrategia, análisis y gestión de calles/aceras.	Menor tiempo de puesta en marcha; útil para administra-ciones locales.	Puede resultar insuficiente para requerimientos nacionales complejos o integración corpo-rativa avanzada.
RoadBotics / solu-ciones AI de inspec-ción visual	Herramientas basadas en imágenes y aprendizaje automático para evaluación rápida de condición superficial.	Captura de imágenes, clasificación automática, puntuación de segmentos, salidas GIS/CSV.	Reduce coste y tiempo de campañas visuales; útil como fuente complementaria.	No sustituye auscultación estructural ni modelos completos de ciclo de vida.
ICARO	Sistema avanzado de gestión de activos viales y firmes, desarrollado como plataforma especializada para administra-ciones y operadores de infraestructuras viarias.	Inventario georreferenciado, auscultación, diagnóstico de estado, integración GIS/LRS, imágenes y datos de campo, indicadores, modelos de deterioro, programación de actuaciones, análisis presupuestario, cuadros de mando e interopera-bilidad con sistemas corporativos.	Alta adaptación al modelo institucional del gestor; integración multi-activo; enfoque orientado a decisión, trazabilidad y planificación plurianual; capacidad de evolución funcional según necesidades de la adminis-tración.	Requiere gobernanza del dato, mantenimiento evolutivo, calibración específica por red y coordinación con los sistemas corporativos del titular de la infraestructura.
Sistemas nacionales a medida	Plataformas desarrolla-das por o para una administración concreta.	Modelo de datos propio, integración con sistemas corporativos, reglas de negocio, informes oficiales, interoperabilidad, seguridad.	Máxima adaptación institu-cional; permite soberanía del dato y alineación con norma-tiva propia.	Mayor exigencia de gobernanza, mantenimiento adaptativo, control de calidad y continuidad tecnológica.
Enfoque híbrido	Combinación de compo-nentes comerciales, módulos específicos y arquitectura de datos propia.	Integración de datos, modelos de deterioro, AI, ACV, dashboards, conectores, servi-cios web.	Equilibra madurez tecnológica y adaptación al gestor.	Requiere una arquitectura clara para evitar dependencia tecnológica o fragmentación.

5. Herramientas informáticas: soluciones comerciales frente a sistemas a medida

La evolución de la gestión de pavimentos ha estado acompañada por distintas generaciones de herramientas informáticas. En una primera etapa predominaban bases de datos e inventarios con salidas tabulares. Posteriormente se incorporaron GIS, modelos de deterioro y optimización presupuestaria. En la actualidad, las plataformas más avanzadas integran datos multi-fuente, análisis avanzado o predictivo, dashboards, integración del factor movilidad, datos procedentes de vehículos conectados, inteligencia artificial, cálculo de la huella de carbono, análisis del ciclo de vida (ACV) y conexión con los sistemas de información y gestión corporativos.

Desde el punto de vista de contratación pública y diseño institucional, existe una tensión natural entre soluciones comerciales y desarrollos a medida. Las soluciones comerciales ofrecen rapidez de implantación, experiencia acumulada, módulos ya probados y menor riesgo de desarrollo inicial. Por su parte, las soluciones a medida permiten adaptar el modelo de datos, la lógica de negocio, las reglas de priorización, la integración con plataformas corporativas y los requisitos específicos de soberanía del dato. La práctica más robusta suele ser híbrida: aprovechar componentes maduros cuando aportan valor y desarrollar a medida las capas que definen la lógica institucional del gestor. (Tabla 3)

El SAGF que va a desarrollar la DGC se aproxima al enfoque de plataforma a medida con capacidad de incorporar módulos y datos externos. Esta orientación es coherente con una red amplia en la que la DGC debe preservar la coherencia metodológica, la interoperabilidad con potentes herramientas de apoyo también de desarrollo propio, como el visor GIS "VisoRCE" o las plataformas de big data y sistema nacional de tráfico, y otros requisitos de seguridad, trazabilidad administrativa y vocación de evolucionar el sistema intra y extra-contrato. La clave no será únicamente el desarrollo informático, sino la calidad y estandarización de los modelos de datos, el mantenimiento adaptativo, la gobernanza de cargas de información y la validación técnica de los resultados.

6. Encaje del SAGF en la frontera internacional de mejores prácticas

El pliego del contrato AC-520/25 contiene los elementos esenciales que se observan en las administraciones internacionales más avanzadas. En primer lugar, exige una aplicación web capaz de visualizar y consultar datos disponibles al inicio del contrato y datos generados durante el manejo de la aplicación. En segundo lugar, requiere capacidad de procesamiento de múltiples formatos y visualización integrable en las herramientas corporativas de la DGC. En tercer lugar, impone la integración de auscultaciones, inspecciones visuales, trabajos de campo, ensayos, inventarios, indicadores de estado, actuaciones de rehabilitación, tráfico, climatología, geometría y otros activos viarios.

El pliego también responde a una debilidad tradicional de los sistemas de pavimentos: el historial de actuaciones. Solicita un modelo de datos de actuaciones que permita registrar de forma coherente e inequívoca los datos no solo administrativos sino también técnicos de las intervenciones de conservación de firmes, incluidas rehabilitaciones superficiales o estructurales, acondicionamientos, mejoras y actuaciones procedentes de distintos ámbitos contractuales. Esta funcionalidad es determinante para calibrar modelos de deterioro y evaluar la rentabilidad real de las estrategias de conservación.

En materia predictiva, el SAGF exige modelos teóricos de deterioro, modelos de prognosis temporal y utilización de técnicas de inteligencia artificial cuando resulten apropiadas. Esta combinación reproduce la evolución internacional desde modelos empíricos y deterministas hacia modelos híbridos, calibrados con datos históricos y apoyados en aprendizaje automático cuando existe suficiente calidad de dato.

En materia económica y ambiental, el pliego exige programación anual y plurianual de actuaciones, evaluación de necesidades de inversión y desarrollo de una herramienta de análisis del ciclo de vida que contemple extracción de materias primas, fabricación, construcción, transporte, utilización, mantenimiento, reciclado y disposición final. Además, incorpora el análisis del impacto del cambio climático y mecanismos de mitigación. Esta orientación alinea el SAGF con la tendencia internacional de integrar coste de ciclo de vida, huella de carbono, resiliencia y nivel de servicio.

7. Buenas prácticas para la implantación del sistema

El benchmarking internacional permite identificar varias recomendaciones para la implantación efectiva del SAGF. La primera es definir un modelo de datos estable antes de sofisticar los modelos. Los países y agencias que han tenido éxito no han comenzado por algoritmos complejos, sino por datos fiables, segmentos homogéneos, localización consistente, reglas de actualización y control de calidad.

La segunda recomendación es distinguir entre indicador técnico e indicador de decisión. El IRI, la fisuración, la deflexión o el rozamiento describen el estado del firme; la decisión de intervención exige integrar criticidad, tráfico, seguridad, coste de usuario, coste de ciclo de vida, huella de carbono, riesgo climático y oportunidad de actuar. El SAGF debe permitir ambos niveles: diagnóstico técnico y priorización estratégica.

La tercera recomendación es evitar la gestión "worst first". Actuar únicamente sobre los tramos en peor estado suele consumir presupuesto en rehabilitaciones costosas y reduce la capacidad preventiva del sistema. Las plataformas avanzadas deben identificar tratamientos oportunos en fases tempranas de deterioro y comparar escenarios: presupuesto constante, mantenimiento de nivel de servicio, reducción objetivo del déficit de actuación, minimización de carbono o maximización del beneficio social.

La cuarta recomendación es cerrar el ciclo de aprendizaje. Cada actuación ejecutada debe actualizar el inventario, modificar la sección de firme, alimentar el historial, afectar a la predicción futura y permitir evaluar si el comportamiento posterior coincide con lo previsto. Sin este ciclo, la herramienta se convierte en un sistema de información; con este ciclo, se convierte en un sistema de gestión.

La quinta recomendación es diseñar una gobernanza de usuarios. Los cuadros de mando deben adaptarse a perfiles: dirección, planificación, demarcaciones, sectores de conservación, técnicos de firmes, responsables de explotación, responsables ambientales y responsables presupuestarios. La misma base de datos debe producir lecturas distintas sin perder coherencia metodológica.

Figura 4.

8. Conclusiones

La gestión moderna de firmes se integra dentro de la gestión de activos viales y no puede entenderse como una función aislada de auscultación o rehabilitación. Los países con redes viarias desarrolladas han institucionalizado modelos de datos, indicadores de desempeño, sistemas de reporte y herramientas de apoyo a la decisión donde los indicadores de desempeño más utilizados combinan regularidad, fisuración, roderas, textura, rozamiento, capacidad estructural, tráfico, seguridad, coste de ciclo de vida, disponibilidad, carbono y resiliencia. El historial de actuaciones es también un elemento crítico para la gestión: sin saber qué se ejecutó, dónde, cuándo, con qué materiales, con qué coste y con qué resultado, no es posible calibrar modelos ni justificar decisiones.

Las herramientas comerciales aportan madurez, módulos probados y rapidez de implantación; los desarrollos a medida aportan adaptación institucional, soberanía del dato e integración con sistemas corporativos. El enfoque óptimo suele ser híbrido y gobernado por una arquitectura clara.

En este sentido, el pliego del contrato del Sistema Avanzado de Gestión de Firmes de la DGC (SAGF) apuesta por el desarrollo de una herramienta propia ad hoc, incorporando eso sí los componentes que definen la frontera internacional: integración de datos históricos y futuros, modelos de deterioro, prognosis, inteligencia artificial, programación plurianual, análisis de ciclo de vida, cambio climático, interoperabilidad y mantenimiento adaptativo.

La oportunidad estratégica para la DGC consiste en convertir el SAGF en una plataforma de decisión auditable y evolutiva, capaz de justificar inversiones de conservación por valor técnico, económico, social, ambiental y resiliente y con potencial de convertirse en una palanca hacia la rendición de cuentas en este ámbito de cara a los usuarios y la sociedad.

Referencias bibliográficas y documentales

[1] Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Dirección General de Carreteras. Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares AC-520/25. Contrato de servicios de consultoría y asistencia técnica para la gestión técnica avanzada de los firmes de la Red de Carreteras del Estado. 2025.

[2] PIARC - World Road Association. Road Asset Management Manual. https://road-asset.piarc.org/en

[3] Federal Highway Administration. Highway Statistics 2023. U.S. Department of Transportation. https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2023/

[4] Federal Highway Administration. Highway Statistics 2023, Table HM-47C: National Highway System length by measured pavement rutting. 2025. https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2023/hm47c.cfm

[5] Federal Highway Administration. Highway Performance Monitoring System Field Manual. U.S. Department of Transportation. https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/hpms/fieldmanual/page01.cfm

[6] National Highways. Roads we manage. Strategic Road Network. https://nationalhighways.co.uk/our-roads/roads-we-manage/

[7] Office of Rail and Road. Annual Assessment of National Highways' performance 2024-2025. 2025. https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2025-07/annual-assessment-of-national-highways-performance-2024-2025-print.pdf

[8] National Highways. Performance Monitoring Statements 2024-25. https://nationalhighways.co.uk/media/hf3g525d/2024-25-national-highways-performance-monitoring-statements.pdf

[9] Transport Canada. Road Transportation. Table RO2: Length of Public Road Network in Canada, 2023. https://tdih-cdit.tc.canada.ca/en/addendum-tables/2023/table-ro2-length-public-road-network-canada-2023

[10] CEDR. 2023 Pan-European Road Network Performance Report. 2024. https://www.cedr.eu/news-data/4114/CEDR-publishes-its-2023-Pan-European-Road-Network-Performance-Report

[11] Transport Infrastructure Ireland. Pavement Asset Management Guide AM-PAV-06060. 2023. https://www.tiipublications.ie/document/?id=3232

[12] New Zealand Transport Agency / Road Efficiency Group. One Network Road Classification Performance Measures. 2016. https://www.nzta.govt.nz/assets/Road-Efficiency-Group-2/docs/NZTA160801-The-ONRC-Performance-Measures-Final-Published.pdf

[13] New Zealand Office of the Auditor-General. New Zealand Transport Agency: Maintaining and renewing the state highway network - follow-up report. Part 2: Assessing the condition of the state highway network and structural assets. 2014. https://ao.parliament.nz/2014/nzta/part-2-assessing-the-condition-of-the-state-highway-network-and-structural-assets

[14] Austroads. Road Asset Data Standard. https://austroads.gov.au/infrastructure/asset-management/rads

[15] Austroads. Guide to Pavement Technology Part 5: Pavement Evaluation and Treatment Design. https://austroads.gov.au/publications/pavement/agpt05

[16] Japan Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Roads in Japan 2024. https://www.mlit.go.jp/road/road_e/index2_e.html

[17] BASt / BMDV. Road condition monitoring and assessment in Germany / ZEB references. https://www.bast.de/EN/Publications/Media/S-ZEB-lang-engl.pdf?__blob=publicationFile&v=2

[18] PAVER. Pavement Management Software. Colorado State University. https://www.paver.colostate.edu/

[19] Deighton Associates. dTIMS Pavement Management. https://www.deighton.com/pavement-assets

[20] Trimble. Trimble Unity Maintain Pavement (incluye la evolución de AgileAssets Pavement Analyst y Pavement Express). https://assetlifecycle.trimble.com/en/products/trimble-unity-maintain/pavement

[21] RoadBotics by Michelin / Michelin Mobility Intelligence. Road Assessments. https://mobilityintelligence.michelin.com/us/road-assessments/

[22] World Bank. HDM-4 Road User Costs Model Documentation. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/793271468171847482

[23] OECD / International Transport Forum. Asset Management for the Roads Sector. https://www.itf-oecd.org/asset-management-roads-sector

Nota de revisión: enlaces bibliográficos verificados y actualizados el 30 de junio de 2026. ❖

Sara Hernández del Olmo, nueva Secretaria General de Transporte Terrestre

El Consejo de Ministros ha nombrado a Sara Hernández del Olmo Secretaria General de Transporte Terrestre del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. La nueva Secretaría General integra las competencias en materia de carreteras, transporte por carretera y ferrocarril, situándose como uno de los órganos directivos más relevantes del Departamento.

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos y doctora en Transportes por la Universidad Politécnica de Madrid, Sara Hernández cuenta con una sólida trayectoria profesional vinculada a la planificación del transporte, la logística y la movilidad sostenible. Desde enero de 2025 desempeñaba el cargo de secretaria general de Movilidad Sostenible, desde el que ha sido responsable de importantes actuaciones, entre ellas:

- Impulso para la aprobación de la Ley de Movilidad Sostenible, estableciendo un nuevo marco para avanzar hacia un sistema de movilidad más sostenible, eficiente y cohesionado y en la implantación de las obligaciones de la Ley en materia de movilidad sostenible.
- Diseño y puesta en marcha del Abono Único, inicialmente mediante una primera fase de ámbito estatal y, actualmente, impulsando una segunda fase orientada a la incorporación progresiva de comunidades autónomas y entidades locales.
- Coordinación de las actuaciones del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible en el marco del PRTR, garantizando el cumplimiento de hitos y objetivos comprometidos con la Unión Europea, la adecuada gobernanza de los fondos y la coordinación con los órganos nacionales y europeos responsables de su supervisión.

Con anterioridad desarrolló su carrera en Deloitte, participando en proyectos de consultoría y asesoramiento estratégico relacionados con la planificación territorial, la movilidad y el transporte, y previamente fue investigadora en TRANSyT, el Centro de Investigación del Transporte de la Universidad Politécnica de Madrid.

Su experiencia profesional abarca la planificación estratégica territorial, la consultoría de negocio en transporte y logística, el diseño funcional de infraestructuras de transporte e intermodales, el análisis de mercados, los planes de negocio, los modelos operativos y los estudios de viabilidad. Asimismo, está especializada en el desarrollo de políticas de transporte sostenible y movilidad.

A esta trayectoria profesional se suma una destacada actividad académica. Es autora de diversas publicaciones científicas y técnicas en el ámbito del transporte y la movilidad, ha participado en numerosos congresos especializados y ha ejercido la docencia en el Departamento de Transportes de la Universidad Politécnica de Madrid, además de impartir clases en distintos másteres, cursos y seminarios.

Con este nombramiento, Sara Hernández asume la responsabilidad de dirigir las políticas de transporte terrestre en un momento especialmente relevante para el sector, marcado por los retos de la descarbonización, la digitalización, la conservación de las infraestructuras, la intermodalidad y el desarrollo de una movilidad más eficiente, segura y sostenible. Su perfil, que combina experiencia en la Administración, la consultoría, la investigación y la universidad, aporta una visión técnica y estratégica para afrontar los desafíos que plantea la transformación del sistema de transporte en España.

Desde la Asociación Técnica de Carreteras queremos trasladar nuestra más sincera enhorabuena a Sara Hernández del Olmo por su nombramiento como Secretaria General de Transporte Terrestre y desearle los mayores éxitos en esta nueva etapa profesional.

Confiamos en seguir manteniendo la estrecha colaboración que la ATC viene desarrollando con la Secretaría General, compartiendo espacios de diálogo y trabajo en favor del desarrollo, la innovación y la mejora continua del sector de las carreteras y del transporte terrestre.❖

Guillermo Llopis Serrano, nuevo Director General de Carreteras

El Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible ha nombrado a Guillermo Llopis Serrano nuevo director general de Carreteras, mediante el Real Decreto 793/2026, de 29 de septiembre, publicado en el Boletín Oficial del Estado del 30 de septiembre de 2026.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Valencia y Máster en Sistemas de la Ingeniería Civil por la Universidad Politécnica de Madrid, Guillermo Llopis Serrano cuenta con más de 20 años de experiencia profesional, desarrollada fundamentalmente en el ámbito de las carreteras.

Inició su trayectoria en el sector privado, entre 2003 y 2008, participando en la redacción de proyectos y en la asistencia técnica a direcciones de obra. En 2009 ingresó en el Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del Estado, incorporándose a la Dirección General de Carreteras, donde fue Jefe de Servicio de Túneles y Seguridad Vial en la Subdirección General de Conservación.

Entre 2015 y 2017 ejerció como Consejero Técnico de Asuntos con la Unión Europea en la Dirección General de Transporte Terrestre. En 2017 se incorporó a la Demarcación de Carreteras del Estado en la Comunidad Valenciana, donde fue Jefe de Servicio de Conservación y Explotación hasta abril de 2023 y, posteriormente, Jefe de la Demarcación hasta su reciente nombramiento.

Desde esta responsabilidad ha participado en la planificación, proyecto, construcción, conservación y explotación de la Red de Carreteras del Estado en la Comunidad Valenciana, así como en la gestión de las emergencias derivadas de la DANA de octubre de 2024 y en la reconstrucción de las infraestructuras viarias afectadas.

Su trayectoria ha estado especialmente vinculada a los túneles, la seguridad vial y la conservación y explotación de carreteras. Desde 2010 es miembro del Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), donde ha liderado grupos de trabajo y participado en la elaboración de normativa y documentos técnicos. En reconocimiento a su contribución técnica a este ámbito, la ATC le concedió la Medalla a la Aportación Técnica a la Carretera en el año 2024.

Su vinculación internacional también es destacada. Desde 2012 es miembro del Comité de Explotación de Túneles de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC), en el que ha desarrollado una participación activa. Con su nombramiento como director general de Carreteras, asumirá asimismo la condición de Primer Delegado de España en PIARC.

A lo largo de su trayectoria ha desarrollado igualmente una intensa actividad técnica y divulgativa, con numerosos artículos y participación en cursos, jornadas y congresos nacionales e internacionales sobre túneles de carretera.

Su nombramiento supone la incorporación a la Dirección General de Carreteras de un profesional con amplia experiencia en la Administración General del Estado y un profundo conocimiento de la planificación, proyecto, construcción, conservación y explotación de las infraestructuras viarias.

Desde la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) queremos trasladar a Guillermo Llopis Serrano nuestra más sincera felicitación por su nombramiento y desearle muchos éxitos en esta nueva etapa profesional. Confiamos en que su estrecha vinculación con la ATC se mantenga en esta nueva responsabilidad y contribuya a seguir fortaleciendo la colaboración entre la Dirección General de Carreteras y nuestra Asociación, impulsando la divulgación del conocimiento técnico y el intercambio de experiencias en beneficio de las carreteras. ❖

La ATC, el IES Virgen de la Paloma y ACEX impulsan la formación en conservación de carreteras

El pasado día 2 de septiembre, la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), el I.E.S. Virgen de la Paloma y la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX) firmaron un acuerdo de colaboración para impulsar la formación de alumnos en materia de conservación de carreteras, y favorecer así su futura incorporación al mercado laboral.

El acuerdo, con una vigencia inicial de dos años, formaliza la inclusión en este curso 2026-2027- en el catálogo de Formación Profesional de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid- de dos nuevos módulos profesionales optativos, que se desarrollarán a lo largo de dos cursos lectivos.

Los módulos son: CMO-151. Aspectos generales y fundamentos de la conservación de carreteras y CMO-152. Vialidad, gestión de activos y seguridad vial. La formación contempla, además, que los alumnos puedan realizar prácticas en empresas del sector, acercándoles a la realidad profesional de la conservación y explotación de las carreteras.

La iniciativa es fruto del esfuerzo del Comité de Conservación de la ATC, a través de su Grupo de Trabajo "Plan de formación y funciones de los vigilantes", y responde a la necesidad de disponer de profesionales con una formación específica y adaptada a las particularidades de la conservación de carreteras.

El acuerdo establece un marco de colaboración en el que cada una de las tres entidades desempeña un papel específico. Durante los dos primeros años, la ATC colaborará mediante la puesta a disposición de material didáctico elaborado con la participación de miembros de su Comité de Conservación; el I.E.S. Virgen de la Paloma impartirá los nuevos módulos formativos; y ACEX impulsará la colaboración de empresas del sector para facilitar la realización de las prácticas.

Como primera actuación vinculada a este nuevo marco de colaboración, el pasado viernes se realizó una visita al Centro COEX de la A-6, en la que representantes del I.E.S. Virgen de la Paloma pudieron conocer de primera mano las instalaciones y la actividad que se desarrolla en un centro de conservación y explotación de carreteras, sí como contemplar la realidad que encontrarán los alumnos durante su periodo de prácticas, que se desarrollará en centros de características similares durante el segundo año de su formación.

Con esta colaboración, las tres entidades refuerzan su compromiso con una formación especializada, práctica y conectada con las necesidades reales del sector, contribuyendo a acercar el ámbito educativo al mundo profesional y a favorecer la incorporación de nuevos perfiles a la conservación de carreteras.❖

KEC presenta en España su propuesta para acoger el Congreso Mundial de Vialidad Invernal de PIARC de 2029

El pasado 8 de septiembre, una delegación de la Korean Expressway Corporation (KEC) mantuvo una reunión en las dependencias de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, con el objetivo de presentar al Primer Delegado de PIARC en España y al Comité Nacional Español de PIARC (ATC) la propuesta de Corea del Sur para acoger la 28.ª edición del Congreso Mundial de Vialidad Invernal de PIARC, en la ciudad de Suwon, que se celebrará en 2029.

Por parte de KEC participaron en el encuentro Mr. Joong Gyu Park, Vicepresidente Ejecutivo, y Ms. Soon-Myeong Park, Directora de la División de Negocios Internacionales. Por parte española asistieron Dña. Patricia Sanz, responsable de las relaciones con PIARC en representación del Primer Delegado; D. Álvaro Navareño, Presidente del Comité Nacional Español de PIARC, y Dña. Ana Arranz, Secretaria del Comité Nacional Español de PIARC. Asimismo, participó en la reunión el Secretario General de PIARC, D. Miguel Caso.

La elección de España para la presentación de la candidatura no fue casual. Corea quiso presentar su propuesta ante el Comité Nacional Español en reconocimiento a la fuerte implicación de España en las actividades de PIARC y al papel relevante que nuestro país desempeña dentro de la organización. El encuentro constituyó, por tanto, una oportunidad para poner de manifiesto los estrechos vínculos existentes entre ambos países en el ámbito de la carretera y, en particular, en el marco de las actividades de PIARC.

Durante el encuentro, la delegación coreana presentó las principales líneas de su candidatura y expuso la visión de KEC para la organización del Congreso, uno de los principales foros internacionales para el intercambio de conocimientos, experiencias y buenas prácticas en materia de vialidad invernal. La propuesta coreana pretende poner en valor la experiencia del país en la gestión y explotación de infraestructuras viarias sometidas a condiciones meteorológicas adversas, así como su capacidad tecnológica y de innovación aplicada a la seguridad y a la prestación de los servicios de vialidad invernal.

La reunión sirvió asimismo para reforzar los vínculos de colaboración entre KEC, PIARC y el Comité Nacional Español, y permitió compartir diferentes perspectivas sobre los retos que afronta actualmente la vialidad invernal y sobre el papel que la innovación y las nuevas tecnologías están llamadas a desempeñar en este ámbito.

El proceso de selección de la sede para el Congreso de 2029 continuará durante las próximas semanas. La votación de las candidaturas de los países que opten a acoger el Congreso tendrá lugar en la próxima reunión del Consejo de PIARC, que se celebrará el próximo mes de octubre en Mérida (México). Será entonces cuando el Consejo determine qué país será finalmente la sede de la 28.ª edición del Congreso Mundial de Vialidad Invernal, cuya celebración constituirá una nueva oportunidad para reunir a la comunidad internacional de profesionales y expertos en torno a los principales desafíos presentes y futuros de la vialidad invernal. ❖

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

Madrid, 22 de septiembre 2026

El 22 de septiembre de 2026, la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, en su Edificio Retiro de Madrid, acogió la jornada "El Centenario del Circuito Nacional de Firmes Especiales: Infraestructura, Territorio y Patrimonio (1926-2026)", organizada por la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) y promovida por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

La jornada, dirigida técnicamente por Rita Ruiz, presidenta del Comité Técnico de Valor Histórico Patrimonial de la ATC, se planteó como una oportunidad para revisar, desde diferentes perspectivas, uno de los principales hitos de la historia de las carreteras españolas: la creación, en 1926, del Circuito Nacional de Firmes Especiales (CNFE). El programa combinó historia de la ingeniería, evolución de la movilidad, innovación tecnológica, patrimonio viario y perspectivas de futuro, poniendo de manifiesto la estrecha relación que, desde sus orígenes, existe entre carretera, transformación territorial y desarrollo social.

Una transformación decisiva para la carretera española

En 1926 se puso en marcha el Circuito Nacional de Firmes Especiales, una iniciativa del entonces Ministerio de Fomento que supuso el primer esfuerzo sistemático para modernizar la red de carreteras españolas y adaptarla a las nuevas exigencias derivadas de la expansión del automóvil.

El CNFE partió de una selección estratégica de tramos destinados a mejorar la interconexión regional y representó un importante punto de inflexión en la ingeniería de caminos española. Su desarrollo permitió introducir nuevas tipologías de firmes, avanzar en la normalización técnica y contribuir a la consolidación de la red radial. Al mismo tiempo, la mejora de las comunicaciones por carretera favoreció los desplazamientos hacia destinos de interés histórico, económico y paisajístico, coincidiendo con una etapa de crecimiento del turismo y de transformación de las formas de movilidad.

Un siglo después, la conmemoración del CNFE ofrece una perspectiva privilegiada para analizar cómo las decisiones adoptadas en aquel momento contribuyeron a configurar la red viaria que posteriormente sería transformada por la motorización y por la planificación moderna de las infraestructuras.

Pero la jornada no se limitó a una mirada retrospectiva. Precisamente, uno de sus principales intereses residió en utilizar ese recorrido histórico como punto de partida para plantear cuestiones que continúan plenamente vigentes: la conservación de las carreteras, la sostenibilidad de las infraestructuras, la evolución de las técnicas constructivas y la necesidad de preservar y transmitir el patrimonio de la obra pública.

Inauguración con representantes de la ingeniería y del sector viario

La jornada comenzó con la inauguración, en la que participaron Miriam Martínez, en representación de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Ricardo Martín de Bustamante, presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Álvaro Navareño, presidente de la ATC, y Rita Ruiz, presidenta del Comité Técnico de Valor Histórico Patrimonial.

La composición de esta mesa inicial reflejó uno de los rasgos que marcaron el planteamiento de la jornada: la voluntad de abordar el centenario desde una perspectiva transversal, conectando el conocimiento histórico y académico con la realidad actual de la ingeniería de carreteras y con la responsabilidad de conservar un patrimonio que forma parte de la evolución de las infraestructuras españolas.

A partir de la inauguración se desarrolló un programa dividido en dos bloques de ponencias y una mesa redonda final dedicada a los retos de futuro.

El nacimiento del Circuito y la evolución de la movilidad

El primer bloque de ponencias estuvo dedicado a reconstruir el contexto en el que nació el CNFE y a analizar las transformaciones que experimentó la carretera durante las primeras décadas del siglo XX.

La sesión comenzó con “El nacimiento del Circuito Nacional de Firmes Especiales”, que supuso también un sentido homenaje a Javier Rodríguez Lázaro, recientemente fallecido, profesor de la escuela de Ingeniería de Caminos de Ciudad Real y gran estudioso del “Circuito” y de la historia de las carreteras en España; a continuación se presentó la ponencia “La movilidad española antes, durante y después del CNFE”, a cargo de Pedro Galán, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos jubilado.

La evolución de las carreteras durante este periodo no puede entenderse únicamente desde la perspectiva de los firmes. La aparición y expansión del automóvil modificó progresivamente las necesidades de la red, los criterios de diseño y las condiciones de circulación. El CNFE se desarrolló precisamente en este contexto de transición entre una red

concebida en buena medida para una movilidad basada en la tracción animal y otra destinada progresivamente a responder a las exigencias de la motorización.

Esta transformación tuvo también una dimensión estructural. Javier León, de la Fundación FHECOR, abordó en su intervención el salto experimentado por las carreteras en el primer tercio del siglo XX bajo el título "Hormigón, acero y automóvil: el salto estructural de las carreteras en el primer tercio del s. XX".

La evolución de los materiales y de las soluciones constructivas fue acompañada por un proceso de progresiva normalización técnica. Sobre esta cuestión versó la intervención de José Manuel Sanz, del MITMS, "Ingeniería y materiales: de los firmes especiales a la normalización técnica".

El bloque se completó con la intervención de Carlos Casas, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos jubilado, dedicada a la modernización de la carretera y a la innovación en señalización y maquinaria durante el periodo del CNFE.

En conjunto, estas ponencias permitieron aproximarse al Circuito no únicamente como una actuación concreta sobre determinados itinerarios, sino como parte de un proceso más amplio de transformación de la ingeniería de carreteras y de adaptación de las infraestructuras a una nueva sociedad en movimiento.

Carretera, ingeniería y sociedad

El segundo bloque amplió la mirada para abordar la relación entre carretera, ingeniería, movilidad y cultura.

César Lanza, de Tecnova, analizó el papel de los profesionales y

las obras públicas en la denominada Edad de Plata de la ingeniería española, un periodo especialmente relevante para comprender la evolución de la ingeniería civil y su contribución al proceso de modernización del país.

La transformación de la movilidad también tuvo una manifestación muy concreta en la aparición de los primeros servicios de transporte colectivo por carretera. José María Coronado, de la Universidad de Castilla-La Mancha, abordó los primeros viajes de autobuses y su relación con la evolución de la carretera.

Junto a esta dimensión técnica, el programa incorporó una perspectiva cultural y social. José Ramón Navarro, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y catedrático de la universidad de Alicante jubilado, presentó "Voces del camino: testimonios y memoria literaria del viaje por carretera", mientras que Pedro Plasencia, profesor titular de la Universidad de Oviedo, abordó la presencia del automóvil en la cultura visual del primer tercio del siglo XX.

Estas aportaciones permitieron ampliar el concepto de patrimonio viario. Las carreteras no son únicamente infraestructuras físicas: también forman parte de la memoria colectiva, de la transformación de los territorios y de las formas en que las sociedades han experimentado el desplazamiento y la relación entre diferentes lugares.

Un patrimonio que debe seguir evolucionando

La mirada histórica encontró su conexión directa con el presente en la ponencia "Cien años más para el Circuito: conservación, sostenibilidad y difusión del patrimonio viario", impartida por Rita Ruiz, de la Universidad de Castilla-La Mancha.

La conservación del patrimonio viario plantea un equilibrio entre la necesidad de preservar los valores históricos y la obligación de mantener unas infraestructuras funcionales y adaptadas a las necesidades actuales. En este sentido, el centenario del CNFE constituye una oportunidad no solo para recordar una etapa fundamental de la ingeniería española, sino también para reflexionar sobre cómo conservar y transmitir el conocimiento asociado a estas infraestructuras.

El propio planteamiento de la jornada situó la conservación, la sostenibilidad y el patrimonio entre los grandes retos que continúan abiertos un siglo después.

Una mesa redonda mirando al futuro

El programa concluyó con la mesa redonda "Un siglo después: retos para el futuro de la carretera y su patrimonio", moderada por Felipe Collazos, de la Demarcación de Carreteras de Cantabria del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

En ella participaron Antonio Muruais, subdirector general de Conservación de la Dirección General de Carreteras; David Guía, jefe de Área de la Subdirección de Desarrollo y Sostenibilidad Turística de la Secretaría de Turismo; Javier Piedra, director del Área de Carreteras e Infraestructuras de la Diputación de Valencia, y Ricardo Huerga, del Área de Vías Verdes de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

La diversidad de perfiles permitió trasladar el debate desde la perspectiva estrictamente viaria hacia cuestiones relacionadas con la conservación, el turismo, el territorio y la reutilización de antiguas infraestructuras. Una aproximación coherente con el propio espíritu de la jornada: entender la carretera como una infraestructura con una dimensión técnica, territorial, económica, social y patrimonial.

La jornada concluyó con la intervención de Álvaro Navareño, presidente de la ATC, Rita Ruiz, presidenta del Comité Técnico de Valor Histórico Patrimonial de la ATC

Un siglo de carretera como punto de partida

El centenario del Circuito Nacional de Firmes Especiales ha servido así para recuperar un episodio fundamental de la historia de la ingeniería española y, al mismo tiempo, para plantear una reflexión sobre el papel que las infraestructuras viarias desempeñan en la transformación del territorio.

Entre 1926 y 2026 han cambiado radicalmente los vehículos, los materiales, las técnicas constructivas, los sistemas de explotación y las necesidades de movilidad. Sin embargo, permanece una cuestión esencial: la capacidad de las carreteras para conectar territorios, favorecer la actividad económica y social y acompañar las transformaciones de la sociedad.

La historia del CNFE permite comprender precisamente esa evolución. Desde las primeras actuaciones orientadas a adaptar la red al automóvil hasta los actuales desafíos de conservación, sostenibilidad y gestión del patrimonio viario, la carretera ha sido y continúa siendo un reflejo de los cambios tecnológicos y sociales.

Celebrar cien años del Circuito Nacional de Firmes Especiales supone, por tanto, mucho más que conmemorar una fecha. Es una oportunidad para preservar el conocimiento de quienes contribuyeron a construir la red viaria, comprender las decisiones técnicas que marcaron su evolución y plantear cómo transmitir ese legado a las próximas generaciones.

En definitiva, mirar hacia el CNFE permite también mirar hacia delante. Porque conocer cómo se transformó la carretera hace un siglo ayuda a comprender mejor los retos que afronta hoy y la responsabilidad de seguir construyendo, conservando y difundiendo un patrimonio que forma parte esencial de la historia de la ingeniería civil española. ❖

Curso de formación "Incendio en túneles": conocimiento y experiencia para mejorar la seguridad

El Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), en colaboración con Applus+ TST, celebró los días 15, 16 y 17 de septiembre el curso de formación «Incendio en túneles», dirigido a profesionales con experiencia en la explotación, gestión y mantenimiento de estas infraestructuras. El curso tuvo lugar en el Centro Experimental San Pedro de Anes, en Siero (Asturias), permitiendo combinar formación teórica y prácticas en unas instalaciones especialmente preparadas para ello.

La dirección técnica corrió a cargo de Rafael López Guarga, presidente del Comité de Túneles de la ATC, y Fernando Garrido Pérez-Villamil, manager de Applus+ TST. El programa abordó de forma integral la prevención y gestión de incendios, con contenidos sobre normativa, ventilación, evacuación, protección activa y pasiva y procedimientos de emergencia.

Durante la primera jornada se analizaron la normativa de seguridad en túneles, los tipos de ventilación, las medidas de evacuación y la resistencia de los ventiladores frente al fuego. La jornada se completó con contenidos sobre presurización de galerías y una práctica de evacuación en túnel.

El segundo día estuvo dedicado especialmente a las tecnologías de protección frente a incendios y a la evolución del fuego en túneles. Uno de los elementos más destacados fueron las prácticas con fuego real de entre 5 y 10 MW, que permitieron observar el comportamiento del humo tanto desde la sala de control como desde el interior del túnel. También se abordó la actuación del gestor de explotación y los procedimientos de respuesta de los servicios de emergencia.

La última jornada se centró en los equipos de respiración autónoma y extinción, las nuevas tecnologías de propulsión y su incidencia sobre los incendios, así como las nuevas tecnologías de conducción. El curso concluyó con una sesión de preguntas y debate, la presentación de conclusiones y una visita técnica a las instalaciones de Zitron.

El curso puso de manifiesto la necesidad de mantener una formación especializada ante la evolución tecnológica de las infraestructuras y de los propios vehículos. La incorporación de nuevas energías de propulsión y de sistemas de conducción autónoma plantea nuevos retos para la seguridad y exige actualizar los conocimientos y procedimientos de los profesionales responsables de la explotación y mantenimiento de los túneles.

Con esta iniciativa, el Comité de Túneles de la ATC continúa ampliando su programa de formación especializada y favoreciendo la transferencia de conocimiento entre los profesionales que intervienen en la seguridad, explotación y mantenimiento de estas infraestructuras. ❖

PRÓXIMOS EVENTOS ATC

La Asociación Técnica de Carreteras tiene previsto los siguientes eventos:

- **Jornada Técnica: Impulsos para avanzar en la descarbonización de la movilidad por carretera** — Madrid, 6 de octubre de 2026
- **Curso de formación de personal de explotación y centros de control de túneles** — Madrid, 27, 26 y 28 de octubre de 2026
- **IX Simposio de Túneles de Carretera** — Madrid, 16, 17 y 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, envia tu imagen junto a su título y autor a:

info@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 Mª 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.ª Paula Pérez López*
  - *D.ª Mª 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 Saez Villar*
- Entre los Socios de Mérito:
  - *D. Alberto Bardesi 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*

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 Pedrazo Majarrez*
- Secretario *D. Javier Sáinz de los Terreros Goñi*

TÚNELES DE CARRETERAS

- Presidente *D. Rafael López Guarga*
- Vicepresidente *D. Ignacio del Rey Llorente*
- Secretario *D. 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*
- Secretarias *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 GUTÍERREZ-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 CASTELLÓN
- 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

RUTAS 208 *Julio - Septiembre 2026. Págs 61-63. ISSN: 1130-7102*

Asociaciones

- AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN
- ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, ACEX
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASEMETRA
- ASOCIACIÓN 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 CONCESSIONARIA, 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 COMPAÑIA GENERAL DE CONSTRUCCIÓN, S.A.
- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- ACEINSA MOVILIDAD, S.A.
- AECOM INOCSA, S.L.U.
- A.E.R.C.O., S. A. SUCURSAL EN ESPAÑA
- AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
- ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
- ALEÁTICA S.A.U.
- ALUMBRADOS VIARIOS, S. A.
- ALVAC, S.A.
- 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.
- 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.
- CONTRATAS Y OBRAS SAN GREGORIO, S.A.
- CPS INFRAESTRUCTURAS MOVILIDAD Y MEDIOAMBIENTE, S.L.
- CYOPSA - SISOCIA, S.A.
- 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.
- ILUMINIA SOLUTIONS, S.L.
- 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 INDUSTRIA S.A.
- INGENIERÍA Y PREVENCIÓN DE RIESGOS, S.L.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. (TYPSA)
- 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.
- TRS – TYRE RECICLING SOLUTIONS
- TUNELIA INGENIEROS, S.L.
- TYLIN
- URETEK SOLUCIONES INNOVADORAS
- VIDARA SPAIN
- VIRTON, S.A.
- VISEVER, S.L.
- VLS CONSTRCTION SYSTEMS
- VSING INNOVA 2016, S.L.
- ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

Socios Individuales, Senior y Junior

Personas físicas (58) 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.

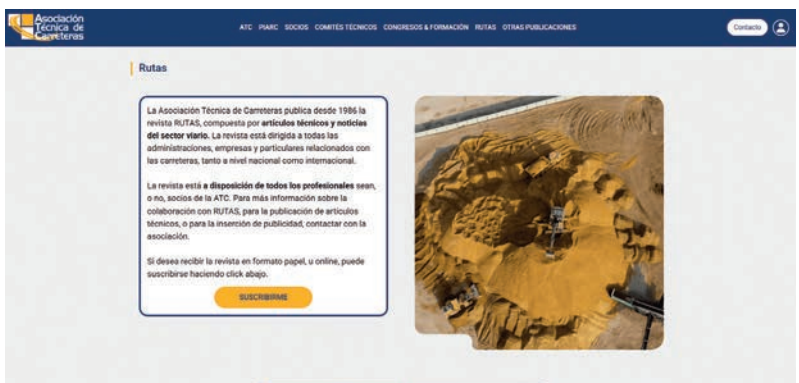
RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

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