

## RUTAS TÉCNICA

Instrucciones Técnicas Operativas de  
Conservación

Mezclas bituminosas semicalientes en la  
autovía A-23 (Zaragoza)

Refuerzo de bases y mejora de explanadas  
con geosintéticos

## CULTURA Y CARRETERA

El patrimonio de las obras públicas,  
ese tesoro oculto

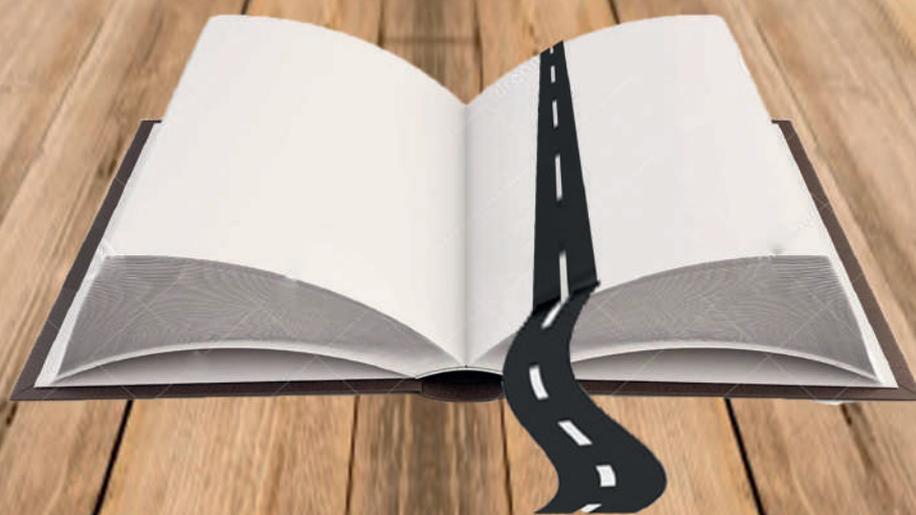


[www.normativadecarreteras.com](http://www.normativadecarreteras.com)



**Asociación Técnica  
de Carreteras**

Comité nacional español de la  
Asociación Mundial de la Carretera



**Legislación y normativa técnica de carreteras**

**Acceso libre y gratuito**

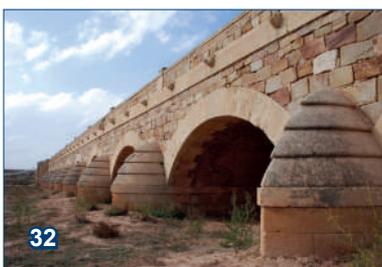


## Tribuna Abierta

- 03 El cruce**  
Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez

## Rutas Técnica

- 05 Instrucciones Técnicas Operativas de Conservación**  
*Conservation Operational Technical Instructions*  
Angel García Garay, María Teresa Almagro Hernández y Carlos Sanchez Macias
- 13 Mezclas bituminosas semicalientes en la autovía A-23 (Zaragoza)**  
*Warm mix asphalt in the A-23 highway (Zaragoza)*  
Rafael Benavente Valero y Anna París Madrona
- 22 Refuerzo de bases y mejora de explanadas con geosintéticos**  
*Base reinforcement and improvement of subgrades with geosynthetics*  
GT-5 Geosintéticos del Comité Técnico de Firms.



## Cultura y Carretera

- 32 El patrimonio de las obras públicas, ese tesoro oculto**  
Juan Antonio Mesones

## Actividades del Sector

- 39 23º Congreso Español y 5º Iberoamericano sobre Sistemas Inteligentes de Transporte**



## PIARC

- 46 Estado del arte en estándares de diseño viarios. Grupo de estudio 4.1. PIARC**
- 49 XXVII Congreso Mundial de la Carretera de PIARC**



## ATC

- 50 Simposio Nacional de Firms SNF2023**
- 56 In Memoriam: En la carretera: ¡Entre todos el mejor! (Yo tenía un camarada)**
- 57 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, MITMA (España)

### Vocales:

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

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

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

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

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

### Arte Final, Impresión y Distribución:

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

Depósito Legal: M-7028-1986 - ISSN: 1130-7102

Todos los derechos reservados.

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

Precio en España: 18 euros +IVA

© Asociación Técnica de Carreteras

## REVISTA RUTAS

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

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

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



Nº 195 ABRIL - JUNIO 2023

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

*Fotografía de portada:  
Eduardo Buxens / Diario de Navarra  
(Enlace de Sunbilla)*

# El cruce

**Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*

La palabra encrucijada tiene una acepción que es cruce y otra que es la que denota una cierta dificultad para elegir entre varias alternativas. Las carreteras, como muchas otras cosas, se encuentran sometidas por un cierto cuestionamiento, y, por tanto, a una incertidumbre por posibles cambios en un futuro cercano. Unas posibilidades son verdaderamente oportunidades, y otras pueden parecer amenazas. Los cruces son necesarios pues ofrecen distintas alternativas, pero también se pueden tornar en encrucijadas.

Hay ámbitos en los que las carreteras se podrían considerar denostadas. Se le achaca una serie de males como la producción de emisiones, la afección al entorno y el de ser el cauce para una movilidad individualista. En todo esto se está olvidando el papel que las carreteras han tenido en el desarrollo económico, riqueza de las sociedades y en la equidad social. Las carreteras en sus múltiples versiones, desde sencillos caminos a grandes autopistas, permiten un acceso universal y democrático no solo a la movilidad en sí misma, sino a la riqueza, al bienestar a la salud, a la educación, a la cultura, al deporte, al ocio y a otras muchas cosas... hasta al amor. Evidentemente, también pueden servir como vehículo del mal, pero con gran desventaja frente al lado benéfico. Hay ciertas corrientes que demonizan a algunos usuarios de la carretera como a los que se dedican al transporte de mercancías, de pasajeros, a la mensajería, o a los usuarios individuales. Y como consecuencia a los que construyen conservan o conciben carreteras. Si se utilizara el método dialéctico se podría argumentar, como antítesis a la defensa de esos usuarios y gestores, que el transporte de mercancías por ferrocarril o por barco son más eficientes, lo mismo que para las personas o la mensajería. Pero la realidad es que las carreteras son mucho más permeables en el territorio al ser su construcción y explotación mucho más viable y menos costosa. No debe olvidarse que el ferrocarril es muy anterior a los automóviles, y que la aparición de ambos supusieron grandes avances que a lo largo del tiempo han convivido, y se han ido complementando en distintas proporciones. Hay que admitir la realidad de que en España, como en muchísimos países, solo unos pocos ciudadanos, que se pueden contar con los dedos, no están comunicados por algún tipo de carretera, camino o calle. Ya va siendo hora de que la sociedad rinda un homenaje a los camioneros, a los autobuseros, a los recaderos, taxistas y otros transportistas, a conductores individuales, y a todos los involucrados en la creación, mantenimiento, gestión y policía de la infraestructura y del tráfico. También habría que considerar a los mecánicos, gasolineros, a toda la industria de la automoción y de carburantes, a la asistencia en carretera y a tantos otros que

facilitan los viajes. Ninguno merece ser denostado pues sin su contribución, hoy en día, la vida se paralizaría.

Otra cosa sería que se propugnara otro tipo de desarrollo en el que se fuera aminorando esa demanda sin límites de la movilidad, y tal vez, del propio desarrollo o crecimiento. Nos enfrentamos a una cierta contradicción entre el impulso de medios más amigables, pero lentos como la bicicleta o caminar frente a los trenes de alta velocidad. Por un lado, se apoya el consumo de cercanía, pero por otro se estaría comprometiendo el desarrollo de los países y regiones más desfavorecidos. Se piensa en reducir las necesidades de transporte y su demanda energética, pero se convive con una demanda desaforada de productos que han hecho que la logística se haya desarrollado a límites insospechados para llevar a los domicilios en pocas horas cualquier producto imaginable.

La relación de la carretera con el medio ambiente también está sujeta a esas convulsiones. Todas las infraestructuras modifican al medio natural. Las carreteras modernas son barreras que crean territorios estancos. Producen ruido, polución por emisiones, vertidos y lumínica. Demandan recursos naturales entre ellos materiales fósiles, y dañan a la flora, la fauna y afectan a los ribereños. La realidad en nuestro país es que se han volcado muchos esfuerzos a la protección de las aves, que paradójicamente pueden sortear mejor los efectos negativos de la carretera, pero no se ha dedicado mucha atención a otras afecciones como a los suelos a la flora, a otra fauna, patrimonios históricos, culturales, paisajísticos, geológicos o a las mismas comunidades humanas. La denominada reglas de la 3 R ampliada a las 5R, que según versiones corresponden a las acciones de rechazar, reducir, reutilizar o reparar, recuperar y reciclar no han sido sistemáticamente aplicadas a nuestras carreteras, aunque se están haciendo esfuerzos para conseguirlo. Hay que reconocer que los cambios no se hacen de un día para otro, pues es necesario poder adaptarse a nuevos escenarios, sin que produzcan cataclismos.

¿Y qué decir de la digitalización? La realidad es que las carreteras han estado alejadas desde hace tiempo de la gestión racional, sistematizada y automatizada. Otras como la hidráulica hace años que habían afrontado esa necesidad. Ahora parece que hay un maratón para volver a posiciones de vanguardia que se abandonaron hace años. En los inicios de los ordenadores las carreteras estuvieron muy presentes, y cuando se inició el uso de ordenadores personales también se popularizaron los programas de trazado. Pero la gestión sistematizada de la información, el análisis y la toma de de-

cisiones se paralizó hace 20 años. Hay que reconocer que en otros países ha ocurrido algo parecido. Pero resulta que ahora hasta en los países con menos recursos los decisores exigen la implantación del BIM, sin que hay una base sólida que lo pueda soportar. Se presenta una gran dificultad, pues supone un esfuerzo descomunal para recuperar el tiempo perdido. La necesidad de analizar datos masivos o Big Data, la sensorización de los elementos, la incorporación de herramientas que hace tiempo que se usan como las redes neuronales u otros métodos que constituyen la IA, que ahora hace furor, deberían incorporarse sin demora. ¿Cómo? He ahí la gran cuestión. Todas esas herramientas sin un conocimiento básico son verdaderamente peligrosas.

Y ahí surge otra cuestión: la gestión del conocimiento. La transmisión del conocimiento entre generaciones parece que se está interrumpiendo. Significa una pérdida de un capital que ha costado mucho adquirir. Volver a inventar la rueda no parece sensato. Hay una cierta mirada despectiva hacia las personas mayores. No es algo nuevo, pues la confrontación entre lo antiguo y lo nuevo ha sido una constante en la historia. Otra vez una dicotomía entre dos opciones. Ni lo nuevo por ser novedoso tiene que ser bueno, ni la experiencia está libre del error. Es necesario sintetizar ambas fuerzas.

Dentro del paraguas de las nuevas tendencias también se está dejando atrás a las personas con menos recursos que no pueden acceder a la compra de vehículos eléctricos, y menos a los que ofrecen un cierto grado de autonomía. También se está postergando a las personas que no tienen destrezas ni medios para acceder a la informática en lo que afecta a la carretera. De forma súbita se ha creado un ejército de analfabetos condenados a la exclusión social y vial. Para más inri se quiere privar a la población senior del permiso de conducción alegando el número de accidentes, cuando la realidad es que son el grupo poblacional con menos accidentes. Sin duda las capacidades disminuyen, y también el uso. España no son los Estados Unidos y la dependencia del automóvil privado es menor. Otra cosa es que en caso de accidente la mortalidad sea mayor, cosa que les ocurre con cualquier otra enfermedad o incidente. Sin duda las capacidades disminuyen y eso sí que debe controlarse. Parece, sin embargo, que la propia Administración no se fía de los exámenes que ella misma ha establecido para todos los conductores, cosa que, por cierto, también ocurre con la ITV (¿?).

Expuesta la tesis es necesario saltar a la antítesis de las enormes ventajas que deparará la conducción autónoma y todo lo referente a la digitalización de la movilidad. Se podrá aprovechar mucho mejor la infraestructura y los vehículos; se podrá racionalizar la oferta y la demanda y, sobre todo, se aumentará la seguridad y la eficiencia del transporte. El balance entre eficiencia y seguridad también sería necesario abordarlo. La movilidad mencionada de las personas mayores o con discapacidades y de áreas rurales se vería notablemente mejorada con estos modos.

Hay otros aspectos como el pago por uso o la participación público-privada que también presentan controversias peliagudas. ¿Deben pagar los que usan las vías? ¿Quiénes son los usuarios? ¿No somos todos usuarios? ¿Por qué se paga por unos servicios, y por otros no? ¿La financiación vía impuestos es mejor que un peaje?

En cuanto a la implantación de concesiones, habría que preguntarse por las ventajas e inconvenientes. No cabe duda de que la entrada de más concurrentes en la gestión de la construcción y conservación puede mejorar el resultado, siempre que se asuman las consecuencias de las decisiones. No obstante, y desgraciadamente, hay experiencias cercanas y lejanas negativas, aunque también las hay positivas. Tal vez una forma de contratación flexible, pero rigurosa que garantizara un beneficio factible y razonable podría mejorar el sistema actual.

Por otra parte, las Administraciones de carreteras en España han gestionado con aceptable eficacia sus redes, colaborando, eso sí, con empresas.

La investigación y todas sus acepciones y aladaños no ha sido un fuerte en España en los últimos tiempos si se compara con otros países desarrollados. Se ha construido mucho, se ha conservado bien, pero la investigación se detuvo. Se importan técnicas, equipos y maquinaria. El análisis y la creatividad se hacen fuera. Recientemente se están lanzando campañas para la innovación que son más que necesarias. Pero hay que ser realistas: el cambio de paradigma no se hace de la noche a la mañana. La capacidad para producir mejoras requiere tiempo, y deben calar en cada una de las personas hasta que se consiga un cambio de «cultura». Para ello es imprescindible estudiar la realidad, hacer un balance y análisis de las deficiencias y necesidades, y emprender el arduo camino de la creación en el que los fracasos siempre acompañan a los éxitos.

Se ha expuesto una panoplia de dicotomías, o tricotomías que se pueden asimilar a lo que ocurre en un cruce. Los cruces en las carreteras, aunque conllevan peligros, son una bendición pues permiten elegir distintos destinos, o cambiar un rumbo equivocado. Así también, todas esas disyuntivas presentan oportunidades. Lo vital aquí es saber discernir cuál es la alternativa que se debe elegir. Sería imprescindible analizarlas pormenorizadamente, huyendo de conceptos preconcebidos, de correcciones políticas, o de argumentarios trufados de intereses desconocidos. El rigor y la valentía tendrían que ir de la mano ante el desafío inmenso que se abre en el mundo de las carreteras. No es una tarea fácil. Para afrontarla es imprescindible ir pertrechados de la mejor arma: los valores. También aquí cabrían muchas opciones. A modo de ejemplo propondría solo dos: el bienestar y la equidad. Esos dos podrían abarcar a todos esos valores de moda tan habituales y de contenido, a veces, difícil de explicar. Es más, se podría sintetizar aún más en una sola palabra: felicidad. Usando el lema de PIARC, carreteras para la vida, pero que además sea buena: VIA *FELIX VITA*. ❖

# Instrucciones Técnicas Operativas de Conservación



## Conservation Operational Technical Instructions

### Angel García Garay

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado*

### María Teresa Almagro Hernández

*Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos del Estado*

### Carlos Sanchez Macias

*Exdirector de AUDECA*

Las Instrucciones Técnicas Operativas de Conservación, conocidas como ITOCs, pretenden formar en su conjunto un Manual de Buenas Prácticas, en el que se describa la correcta ejecución de las operaciones de conservación integral, según la experiencia de los autores y de los expertos en la materia consultados para su redacción. Adicionalmente, con las ITOCs se plantea un sistema preventivo de calidad, basado en la verificación de la lista de comprobación de los aspectos más relevantes en cada operación, y en la determinación de los medios materiales y humanos necesarios para llevarla a cabo con seguridad y eficiencia. Finalmente, en el presente artículo se repasa el recorrido de las ITOCs a través de los distintos Grupos de Trabajo creados en el seno de la Asociación Técnica de Carreteras, y en la reciente revisión de las ITOCs realizada por un equipo externo de expertos que han aportado una visión independiente de las mismas.

The Technical Operational Conservation Instructions, known as ITOCs, are intended to form a Manual of Good Practices as a whole, in which the correct execution of integral conservation operations is described, according to the experience of the authors and experts in the field. consulted for its writing. Additionally, with the ITOCs, a preventive quality system is proposed, based on the verification of the checklist of the most relevant aspects in each operation, and on the determination of the material and human resources necessary to carry it out safely and efficiently. Finally, this article reviews the journey of the ITOCs through the different Working Groups created within the Technical Association of Highways, and in the recent review of the ITOCs carried out by an external team of experts who have contributed an independent view of them.

**Introducción**

En el año 2014, dentro del Comité de Conservación y gestión de carreteras de la ATC, se creó un Grupo de Trabajo para analizar los procedimientos de ejecución de las operaciones más importantes que llevan a cabo los Sectores de Conservación Integral.

Estas operaciones fueron seleccionadas en base al consumo de recursos, tanto de coste, como de tiempo de trabajo, y a su repercusión en la seguridad vial.

El Grupo de Trabajo estuvo integrado por ingenieros de las empresas punteras del Sector (Acciona, Aceinsa, Audeca, Constructora Hormigones Martínez, Eiffage, Imesapi, Matinsa, Probisa, San José y Repsol), así como por Ineco e ingenieros de la Demarcación de Carreteras del Estado en Murcia.

Adicionalmente, en el estudio de algunas operaciones, se consultó con especialistas en la materia, para intentar describir en cada caso las mejores prácticas conocidas para llevar a cabo la operación.

El resultado del trabajo fueron unas Instrucciones Técnicas para las Operaciones de Conservación, ITOCs, que fueron dadas a conocer en las Jornadas de Conservación de Valencia en mayo de 2018, al mismo tiempo que se publicaron para su consulta gratuita en la sede electrónica de la Asociación Técnica de Carreteras a través del enlace (aún vigente):

<http://normativadecarreteras.com/listings/otros-documentos>

ITOC GRUPO I		ITOC GRUPO II	
CÓDIGO	TÍTULO	CÓDIGO	TÍTULO
11111	Atención a accidentes o incidentes	23001	Retirada de cartel vertical
11112	Establecimiento, mantenimiento y retirada de señalización ocasional	24008 a 24020	Limpieza de caños tajeas y alcantarillas
11113	Limpieza de vertidos accidentales y otros productos	24013	Limpieza de la calzada con barredora autopropulsada
11114	Retirada de animales muertos y objetos varios	24017	Limpieza de luminarias
11115	Limpieza de aterramientos y desprendimientos ocasionales	24018	Limpieza de paramentos en túneles
11151	Extensión de fundentes sobre calzada	25001	Segado de hierba y retirada de productos
11152	Retirada de nieve con maquinaria de empuje	25002	Despeje de vegetación y retirada de productos
11212	Bacheo provisional con aglomerado en frío	25003	Poda de macizo arbustivo y retirada de productos
11555	Borrado urgente de pintadas	25004	Poda de árboles y retirada de productos
11711	Limpieza de señal o cartel	25005 a 25007	Tratamiento de márgenes con productos fitosanitarios para el control de especies vegetales
11713	Reposición de señal o cartel	26001 a 26045	Repintado de marcas viales
11714	Limpieza de cartel de pórtico o banderola	26046 a 26069	Fresado de marcas viales
11752	Reposición de elemento de balizamiento	26070 a 26075	Limpieza de marcas viales
11772	Reposición de urgencia de barrera de seguridad	27003	Parqueo de pequeños deterioros y de blandones y baches reparados
11811	Limpieza de luminarias de túneles	27010	Sellado de grietas
11873	Reposición de valla metálica de cerramiento	27012	Colocación de aglomerado en regularización de superficie
		29001	Colocación/repación de malla de protección en taludes
		29102A	Reposición o reparación programada de juntas de mortero bituminoso en puentes
		29302 a 29304	Repintado barandilla y pretil metálico

## EJEMPLO DE LA DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL PROCEDIMIENTO DE REPINTADO DE BARANDILLAS (ITOC 29302 a 29304)



Figura 1. Aplicación de una capa general con una pintura antioxidante epoxi de dos componentes, con posibilidad de base agua, de al menos 600 horas de resistencia en ensayo de niebla salina según UNE-EN ISO 11997-1, en color RAL 7036 (Gris). Espesor nominal de película seca  $\geq 50 \mu\text{m}$



Figura 2. Aplicación de una capa intermedia de ligante epoxídico rico en oligisto micáceo altamente laminar con un espesor mínimo de  $150 \mu\text{m}$ , en color RAL 9005 (Negro).



Figura 3. Aplicación de una capa de acabado con ligante base silicona de alta resistencia a intemperie, de espesor mínimo de 50 micras por capa, de color RAL 5002 (azul nuclear)

### Las instrucciones técnicas operativas de conservación

Las Instrucciones Técnicas Operativas de Conservación expresan con un mayor detalle la forma de realizar las operaciones que se incluyen en los pliegos de prescripciones técnicas de los contratos de conservación integral, y podrían formar parte del Catálogo de Operaciones que cada Sector ha de tener operativo.

Su objetivo ha sido siempre el de identificar y difundir las mejores prácticas, proporcionando a los equipos que llevan a cabo las tareas, y a quienes las planifican, un documento de consulta que facilite su correcta ejecución.

El uso de las ITOCs permite mejorar la eficiencia, implantar un pro-

cedimiento de mejora continua, y establecer un control preventivo de calidad.

No obstante, ha de remarcarse que las ITOCs no sustituyen a las especificaciones de los contratos ni a la normativa, ni son obligatorias para los responsables de los contratos, quienes, en cualquier caso, deben ajustar su actuación a las previsiones contractuales y normas aplicables.

Como se ha indicado anteriormente, en 2018 se finalizó y se puso a disposición una primera versión de 35 ITOCs con las que se llegaba a cubrir el 75% de las operaciones que se ejecutan de forma recurrente en la DCE en Murcia.

Desde 2018 en la DCE de Murcia se han empleado de manera generalizada estas 35 instrucciones, y con el objetivo tanto de po-

der constatar el correcto uso de las ITOCs, como de detectar posibles dificultades en el empleo, bien por dudas en el contenido o en la interpretación del contenido, como por la posible carga extra de trabajo consecuencia de la aplicación de las instrucciones, se han llevado a cabo los trabajos de seguimiento y mejora necesarias.

No obstante, con el objetivo de evitar una cierta “endogamia” y de contar con otro posible enfoque diferente al que se ha venido aplicando sobre las ITOCs, se propuso a la Subdirección General de Conservación de la Dirección General de Carreteras del Mitma la licitación de un contrato menor para que las ITOC fueran revisadas por reconocidos expertos en la materia, cuyo trabajo sirve de base para este artículo.

## Alcance del contrato de revisión de las ITOCs

El trabajo realizado por el equipo externo ha consistido en:

- Analizar el listado de operaciones tipificadas que figura en el vigente PPT de los contratos de Conservación Integral.
- Valorar la necesidad de redactar nuevas ITOC.
- Revisar las ITOC ya redactadas, depurando posibles errores y faltas de homogeneidad o consistencia.
- Evaluar los procedimientos de ejecución y los puntos de inspección.
- Asesorar sobre la posible simplificación de los partes de trabajo y su integración en el Sistema de Gestión del mantenimiento.

Para el desarrollo de los trabajos el equipo revisor estableció la siguiente metodología:

En primer lugar, y tras proceder al análisis de los diferentes pliegos de prescripciones técnicas particulares (PPTP) vigentes en la actualidad y que regulan los denominados Contratos de Conservación Integral, se decidió basar el análisis del listado de operaciones tipificadas y su descripción en el PPTP a que hace referencia el pliego de cláusulas administrativas particulares (PCAP) aprobado por el Secretario de Estado De Transportes, Movilidad y Agenda Urbana el 06 de abril de 2021. La razón no es otra que tratar de trabajar con el pliego, que permanecerá vigente por un mayor tiempo, ya que a partir de su aprobación los nuevos contratos que se redacten se basarán en el mismo.

Al revisar dicho pliego, se ha podido comprobar que el listado general de operaciones tipificadas,

entendiendo como tal el que es común a todos los pliegos y no solo al de un contrato concreto, se basa en el listado general de operaciones tipificadas establecido en el documento denominado “metodología aplicada a los contratos de conservación integral de segunda generación” que figura en la instrucción de conservación y explotación denominada “Gestión Integral del Mantenimiento (GSM) de 1996”. Todas las operaciones tipificadas que figuran en el mencionado PPTP se corresponden íntegramente con las que figuran en la GSM, con la excepción de 5 de ellas que, coincidiendo en unidad de medida y descripción, difieren en su codificación.

El objeto de este análisis no es otro que el de utilizar en las ITOCs la codificación y descripción de las operaciones establecida en el PPTP más reciente.

Una vez establecido el PPTP sobre el que se va a basar el análisis y homogeneización de las ITOCs, se procedió a revisar desde un punto de vista cuantitativo y cualitativo si con las 35 ITOCs redactadas se podría cubrir de forma generalizada la mayoría de los trabajos (operaciones) de conservación que se desarrollan de manera más frecuentes en los mismos.

Para ello se procedió a analizar cuáles son las operaciones que con más frecuencia se realizan en la Demarcación de Carreteras de Murcia en unos años determinados, y cuáles consumen mayor número de recursos (gasto), y en base a esto, tratar de extrapolar los resultados al resto de la red.

Para poder analizar los datos de ejecución de operaciones en los diferentes sectores de conservación de la Demarcación se juzgó necesario proceder a una homogeneización de las operaciones que se ejecutan en cada sector ya que al

estar basadas en PPTP de diferentes épocas tanto la codificación de estas como la descripción de algunas de ellas no tenían una clara correspondencia entre los diferentes contratos.

Realizada esta laboriosa tarea de homogeneización se han ordenado las operaciones y después se ha sumado el gasto de las operaciones que son comunes a los sectores, dando lugar a una lista conjunta de operaciones con mayor gasto en el total de los sectores.

Como principal conclusión de este análisis es que, de las 68 operaciones ejecutadas en los diferentes sectores de la DCE en Murcia y en los años estudiados, 22 de ellas consumen el 70% del gasto total, y de esas 22 la primera consume el 18% del gasto total y la que ocupa el puesto 22 el 0,9% del mismo, teniendo los 46 restantes un peso muy pequeño en cuanto a gasto se refiere. Por otra parte, se observa que la mayoría de las 22 operaciones mencionadas tienen desarrollada su correspondiente ITOC. A la vista de los resultados del mencionado análisis no se juzgó en principio necesario desarrollar ninguna ITOC más.

## Revisión de las ITOCs

El objeto de la revisión ha sido detectar posibles inconsistencias, heterogeneidades, y contradicciones, y corregirlas en lo posible, a efectos de facilitar su uso por los profesionales del sector.

En el informe se resumen los criterios más importantes seguidos en la revisión y se acompaña una propuesta de ITOCs según el mejor criterio de los revisores.

El párrafo que encabeza las ITOCs a revisar indica que:

*“El objetivo de esta Instrucción Técnica Operativa de Conservación (ITOC), es identificar, difundir, y utilizar las mejores prácticas para realizar la operación que se va a describir, en el marco de los contratos de conservación integral del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.*

*Esta ITOC mantiene la codificación, y desarrolla las condiciones técnicas establecidas en el Anejo 2 del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de los citados contratos de conservación integral.*

*La Instrucción se inspira en la filosofía “lean manufacturing”, puesto que se pretende emplear la menor cantidad posible de recursos materiales y humanos, especialmente en los aspectos burocráticos y de generación de partes de control, para realizar correctamente la operación.*

*Para su elaboración, se ha trabajado con expertos en la materia, buscando identificar el mejor procedimiento de ejecución, que se detalla en el capítulo 8, y puede ser adaptado a las condiciones propias de cada contrato, o ser mejorado en su caso, a través del capítulo 12 de Mejora Continua.*

*El control de calidad es de tipo preventivo, y se basa en el cumplimiento de unos requisitos definidos en la lista de comprobación del capítulo 8, y en la firma de conformidad por los responsables de la ejecución de cada operación.*

*Consideramos que el empleo de esta ITOC debe garantizar una calidad y trazabilidad adecuada de la operación realizada, y puede ser una herramienta muy útil para tecnificar el Sector de la Conservación de carreteras; difundir las mejores prácticas, y profundizar en el conocimiento detallado del coste de las operaciones de conservación”*

Acertadamente, las ITOCs deben considerarse en el marco de los contratos de conservación integral. No podría ser de otra manera ya que los equipos que llevan a cabo los trabajos, tanto de la Administración como de las empresas, están sujetos forzosamente a llevarlos a cabo conforme a dicho marco. Por eso es importante que las ITOCs no induzcan a interpretar equivocadamente las prescripciones contractuales, ni las limiten, ni las sustituyan.

A la hora de contrastar la consistencia de las ITOCs con esta condición hay que tener en cuenta la diversidad de contratos que a lo largo de los años se han ido generando en la RCE. Si bien todos parten de un tronco común, la introducción de condiciones particulares por cada Demarcación, Unidad de Carreteras, e incluso Sector, ha implicado una cierta diversidad en la definición de las operaciones, en las formas de abono y en las especificaciones.

Se ha comprobado que la definición de las operaciones que figuran en el PPTP adaptado al último modelo aprobado el 6/4/2021, pliego que hemos considerado como de referencia para las ITOCs, no coincidía con las definiciones que se habían volcado en algunas ITOCs lo que podía introducir dudas sobre a qué operación se referían, y generar interpretaciones equivocadas. A la vista de ello se ha optado por proponer que las ITOCs se basen en el contenido de un pliego de referencia cuyo contenido básico se transcriba literalmente en el primer epígrafe de la ITOC. De esta forma el lector sabrá exactamente a qué operación se refiere y podrá comparar su descripción con la que él maneje para otras operaciones iguales o similares pero descritas de otra manera.

Aparte de establecer claramente el pliego de referencia se deja claro en el encabezamiento de cada ITOC su carácter consultivo y la prevalencia de las condiciones contractuales y de la normativa. Además, se deja claro que su contenido es fruto de la experiencia de sus autores en el contexto concreto de la red de carreteras que gestiona la Demarcación de Murcia y que, por consiguiente, puede haber otras formas de abordar las operaciones que sean más adecuadas en otros ámbitos.

El objetivo de evitar conflictos contractuales ha implicado un minucioso trabajo de análisis que ha desembocado en el diseño de un modelo de ITOC con diferencias sobre el inicial: un índice distinto y enfoques distintos en algunos apartados comunes a todas ellas. También se ha hecho un análisis exhaustivo de la repercusión de las ITOCs inicialmente consideradas en la gestión y en el gasto, llegándose a la conclusión de que este trabajo se centraría en el detalle de las doce más significativas.

Un aspecto muy relevante de las ITOCs es su codificación, ya que el disponer de un sistema de codificación coherente y consistente de las operaciones resulta imprescindible para realizar un análisis de costes real y efectivo. Así pues, del análisis de la evolución del sistema de codificación a lo largo de los distintos PPT que han regido los contratos de conservación integral, se desprende que dicha codificación es consistente y que podría seguir siendo utilizada con pequeños cambios, para adaptarse a los últimos pliegos, aprobados en 2021.

En relación con el contenido de las ITOCs se observa que en bastantes de ellas se incluyen párrafos y figuras extraídos directamente de la normativa y de la documentación técnica disponible. Es claro el es-

fuerzo de los autores por difundir y simplificar la consulta de los aspectos más esenciales de normas y documentos, pero este esfuerzo facilitador no puede ocultar la obligación profesional que tienen los responsables de conocer íntegramente la normativa, cada uno a su nivel, ya que, aunque la ITOC contenga partes esenciales de las normas no incluye su totalidad, y no se puede reducir su aplicación solo a lo que se incluye en la ITOC. En este sentido se observa una gran heterogeneidad en la utilización del recurso a transcribir normas y párrafos de otros documentos, pero se ha optado por dejarlo como está, ya que refleja la visión y experiencia del autor de la ITOC. También se observa mucha heterogeneidad en la amplitud y detalle con el que se tratan las condiciones de ejecución y los procedimientos, pero igualmente se ha considerado que en cada caso el autor ha volcado lo que ha creído oportuno para que la ITOC sea de utilidad.

No obstante, en la revisión se han retocado algunos textos cuando se ha considerado conveniente.

Así en las partes comunes se ha modificado el apartado de “Control de Calidad” y los subapartados en que se divide, unificando además todas las ITOCs, con la lógica excepción de las listas de comprobación. Otros cambios introducidos son la supresión de referencias concretas a la formación del personal COEX, que está claramente establecida en los pliegos. Por otra parte, se ha remitido el control de calidad y el plan de seguridad y salud a los planes aprobados en cada contrato. En las partes específicas de cada ITOC también se han hecho algunos retoques, aunque limitados por el enfoque que los autores han querido dar a los textos.

En lo referente a la señalización de las operaciones consideradas y

11112	Establecimiento, mantenimiento y retirada de señalización ocasional
11212	Bacheo provisional con aglomerado en frío
11555	Borrado urgente de pintadas
11772	Reposición de urgencia de barrera de seguridad
12214	Parqueo de pequeños deterioros
12217	Sellado de grietas
12435 y 12559	Limpieza de pequeñas obras de fábrica y pontones
12511	Segado de hierba y retirada de productos
12515	Tratamiento con limitadores de crecimiento y herbicidas
12613	Reparación de juntas de mortero bituminoso en puentes
12615 12618 y 12619	Repintado de barandilla, pretil y pasamanos metálicos
12838	Poda de seto

para evitar repeticiones innecesarias, se han referido todas las ITOCs a la ITOC “Establecimiento, mantenimiento y retirada de señalización ocasional”, ya que cualquier operación en la carretera empieza con la señalización y, aunque las operaciones sean programadas se ha considerado que la operación que se contempla en esta ITOC se detalla de forma muy completa y es válida tanto en el caso de operaciones ocasionales (o urgentes) y de operaciones programadas.

Como hemos comentado las 35 ITOC ya redactadas son suficientes para cubrir la mayoría de los trabajos de conservación, pero con el fin de realizar un análisis más exhaustivo en base a los criterios antes mencionados, se han seleccionado 12 de ellas atendiendo a los siguientes criterios:

1. Que se correspondan con las operaciones que representan un mayor gasto presupuestario dentro de los sectores analizados.
2. Que se realicen de forma habitual con el personal propio del centro y no por subcontratas.

3. Que dichas operaciones sean comunes a la mayoría de los sectores y no específicas de un sector concreto.
4. Que, no cumpliendo con las dos primeras premisas, se considere necesaria su inclusión por:
  - a. Ejecutarse de forma habitual en la mayoría de los contratos
  - b. Se considere que su ejecución tenga una complejidad técnica que aconseje desarrollar la correspondiente ITOC

Las ITOCs que se proponen, y que se han seleccionado de las 35 desarrolladas y cuyo listado se adjunta (Tabla 2) son el resultado de la revisión de su texto a la luz de estos criterios, que se han ido contrastando puntualmente con la Demarcación de Carreteras de Murcia en diversas reuniones y mediante informes intermedios. Como se ha dicho al principio, las ITOCs que se han propuesto representan el mejor criterio de los revisores, sin perjuicio del uso que la Demarcación de Murcia quiera hacer de ellas.

A continuación, se reproduce el procedimiento de ejecución propuesto en la ITOC 1555 para el Borrado urgente de pintadas

## RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

### A) Paramentos de hormigón:

Se considera que la actuación más eficiente (económica y eficaz) consiste en aplicar, a rodillo o con pistola tipo airless, una capa de revestimiento plástico al agua de alto poder cubriente, en color gris que, además de tapar la pintada, permite la limpieza con agua del equipo y de cualquier herramienta.

Excepcionalmente, si las pintadas son reiterativas, se puede aplicar un barniz protector de poliuretano, como el que se describe para su uso en pantallas metálicas.

### B) Pantallas acústicas:

Se aplicará a pistola (tipo Airless) una capa de revestimiento en el color existente para cubrir las pintadas usando un esmalte de poliuretano en capa gruesa satinado, que consta de dos componentes, esmalte + catalizador, mezclados en la proporción (10:1).

Posteriormente se aplicará, mediante pistola (tipo Airless) una capa de barniz de poliuretano antipintadas, aplicado preferentemente a pistola tipo airless, (para evitar la redisolución del producto aplicado en primera capa que podría producirse si se aplicara a rodillo). Esta capa de barniz protector consta de dos componentes: barniz + catalizador, mezclados en la proporción 2:1

Para las pantallas que hayan sido protegidas con el barniz anti-

pintadas, y que presenten nuevamente pintadas y grafitis, se aplicará el siguiente procedimiento:

- Aplicación con brocha o con rodillo de un gel de alta tixotropía, que permita su utilización sobre paramentos verticales sin problemas de descuelgue.
- Se dejará actuar sobre la pintada dos o tres minutos, para evitar la redisolución de las capas inferiores del sistema,
- Posteriormente se retirará el producto con un trapo o cepillo de raíces, según el paramento. Cuando el soporte sea poroso, se limpiará con chorro de agua a presión.

### C) Carteles y Señales:

Aplicación de un limpiatintas, a brocha o en spray, dejándolo actuar solo unos segundos,

A continuación se debe retirar el producto con un trapo, para evitar la redisolución de las capas inferiores del revestimiento.

Finalizado el trabajo de revisión de las ITOC se ha continuado trabajando para trasladar al resto de ITOCs los criterios establecidos para estas 12 instrucciones. Asimismo, como el propio proceso de revisión ha puesto de manifiesto, es necesario considerar estas instrucciones como documentos dinámicos que se retroalimentan de las lecciones aprendidas durante su empleo, a la vez que precisan de la incorporación de las nuevas técnicas y productos del sector que en ocasiones suponen cambios importantes en el propio procedimiento de ejecución.

Prueba de lo anterior es lo ocurrido con las ITOC de mejora de CRT, de borrado de marcas viales y de borrado urgente de pintadas (antes citada), que siendo instrucciones en uso desde 2018, han sido sometidas recientemente a una revisión completa para incorporar productos y sistemas más innovadores que permiten una mejor y más eficiente ejecución de la operación.



Figura 4. Imagen de portada de la ITOC 11555\_Borrado urgente de pintadas



Figura 5. Equipo de sistema hidro-mecánico para la mejora del CRT. (ITOC 12223 a 12224\_Mejora del CRT)



Figura 6. Marca vial eliminada mediante sistema mixto con raspado e hidrobarrido (HOG TUSK). (ITOC 12772 a 12778\_Borrado de marcas viales)



Figura 7. Código Qr para consulta y descarga de la ITOC 12223 a 12224\_Mejora del CRT



Figura 8. Código Qr para consulta y descarga de la ITOC 12772 a 12778\_Borrado de marcas viales

## Conclusiones

Tras el trabajo realizado y la perspectiva del tiempo transcurrido desde que se crease este Grupo de Trabajo, se ha constatado la rentabilidad, en términos de eficiencia y calidad, del esfuerzo que supone la implementación y la actualización periódica de las ITOC.

Consideramos que las ITOCs nunca deben contradecir las especificaciones de las correspondientes operaciones de conservación establecidas en los PPT contractuales, pero sí pueden completarlas y describir la correcta ejecución de las mismas.

Al revisar el sistema de codificación de las operaciones, se ha observado que dicha codificación es consistente y que podría seguir siendo utilizada con pequeños cambios, para adaptarse a los últimos pliegos, aprobados en 2021.

Las ITOC han de ser un documento dinámico, susceptibles de incorporar las lecciones aprendidas y las últimas tecnologías, con el objetivo de ejecutar de la mejor manera posible las operaciones de conservación.

Entre las ventajas que aporta el uso de las ITOC, destacan las siguientes:

- Son un vehículo idóneo para implementar el asesoramiento de expertos, las mejores prácticas, y la nueva normativa, en toda la Organización.
- Permiten consolidar y compartir las lecciones aprendidas
- Facilitan la transferencia de tecnología y de conocimiento entre las empresas del Sector.
- Proporcionan uniformidad “por arriba” en los contratos de conservación integral.

- Definen las funciones y responsabilidades de los intervinientes en las Operaciones, implicándolos en el Control de Calidad.
- Implantan la mejora continua, a través de las “no conformidades”, y las propuestas de mejora al Director del Contrato.
- Facilitan la trazabilidad de los materiales empleados, de las operaciones realizadas, y de los controles de calidad.
- Optimizan el diseño de equipos y el cálculo de rendimientos y precios reales.
- Facilitan el control de gasto y de certificaciones.
- En definitiva, mejoran la Eficiencia y la Calidad en cualquier contrato en el que se utilice. ❖

# Mezclas bituminosas semicalientes en la autovía A-23 (Zaragoza)



## Warm mix asphalt in the A-23 highway (Zaragoza)

**Rafael Benavente Valero**

*Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*

**Anna París Madrona**

*Parma Ingeniería*

En una obra de rehabilitación del firme de la autovía A-23, entre los PPKK 250,700 al 277,600 (Zaragoza), se han puesto en obra cerca de 30.000 t de mezclas bituminosas semicalientes, tipos AC 22 bin S 35/50 y AC 16 surf S, fabricadas a una temperatura media de 131 °C, es decir unos 30 °C por debajo de la temperatura típica de una producción convencional en caliente, gracias al uso de un espumador de betún en la central de fabricación. Según los resultados de los ensayos de control de producción y de control de puesta en obra, las mezclas semicalientes han satisfecho los requisitos volumétricos y mecánicos exigidos a las mezclas bituminosas en caliente convencionales equivalentes. En el presente artículo, además del procedimiento de reducción de temperatura utilizado y de los resultados de los ensayos, se revisan las ventajas económicas, técnicas y ambientales de la producción de mezclas bituminosas a bajas temperaturas y, más concretamente, han tratado de cuantificarse las obtenidas en este caso, concluyéndose que el análisis de ciclo de vida es la herramienta idónea para valorar adecuadamente el conjunto de mejoras encontradas. Finalmente, se efectúan algunas recomendaciones relacionadas con la densidad de referencia y la sensibilidad al agua de las mezclas bituminosas semicalientes.

During pavement rehabilitation works carried out on the A-23 highway, between PPKK 250,700 and 277,600 (Zaragoza), about 30,000 t of warm mix asphalt were laid down, AC 22 bin S 35/50 and AC 16 surf S type, produced at an average temperature of 131 °C, that is, about 30 °C below the typical temperature of conventional hot production, through the use of a foaming system retrofitted to the asphalt plant. According to the results of the quality control tests of production and paving operations, the warm mix asphalt has fulfilled the volumetric and mechanical requirements established for the equivalent hot asphalt mixes. This article, besides a description of the temperature reduction procedure used and the results of quality control tests, contains a review of the economic, technical and environmental advantages that may bring producing asphalt mixes at low temperatures and, more specifically, a quantitative analysis of those regarding this case, concluding that the life cycle analysis is the ideal tool to properly assess the set of improvements found. Finally, some recommendations related to the reference density, water sensitivity and resistance to permanent deformation of warm mix asphalt are made.

## 1. Introducción

En 1997 en Europa y 2002 en los Estados Unidos, se inició la producción de las que hoy se denominan en España *mezclas bituminosas semicalientes* (*enrobés tièdes* en Francia y *warm mix asphalt* o WMA en el mundo anglosajón). Fabricadas a temperaturas de 20 a 45 °C inferiores a las típicas de las mezclas en caliente (comprendidas habitualmente entre 150 y 165 °C) se desarrollaron con objeto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de las centrales de fabricación y para mejorar las condiciones de trabajo de los operarios ocupados de la puesta en obra, particularmente de aquellos tipos de mezcla que requieren temperaturas de aplicación más elevadas. En la actualidad, las mezclas semicalientes constituyen una proporción significativa de la producción total de mezclas bituminosas en países como Estados Unidos (46%), Noruega (27%), Francia (13%) o Dinamarca (8%) [1, 2, 3].

Reducir la temperatura de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas ofrece, además, otros interesantes beneficios: limita el envejecimiento del betún a corto plazo lo que contribuye a incrementar su durabilidad, da lugar a capas bituminosas más dúctiles y resistentes a la fisuración por fatiga, a la reflexión de grietas y a la fisuración térmica, y facilita su futura reutilización. Además, las mezclas bituminosas semicalientes son trabajables durante más tiempo que las mezclas en caliente y permiten anticipar la apertura al tráfico de las capas recién extendidas puesto que se alcanza antes el umbral de temperatura a partir del cual es posible circular sobre la capa recién compactada [4].

Entre los procedimientos más utilizados para producir mezclas

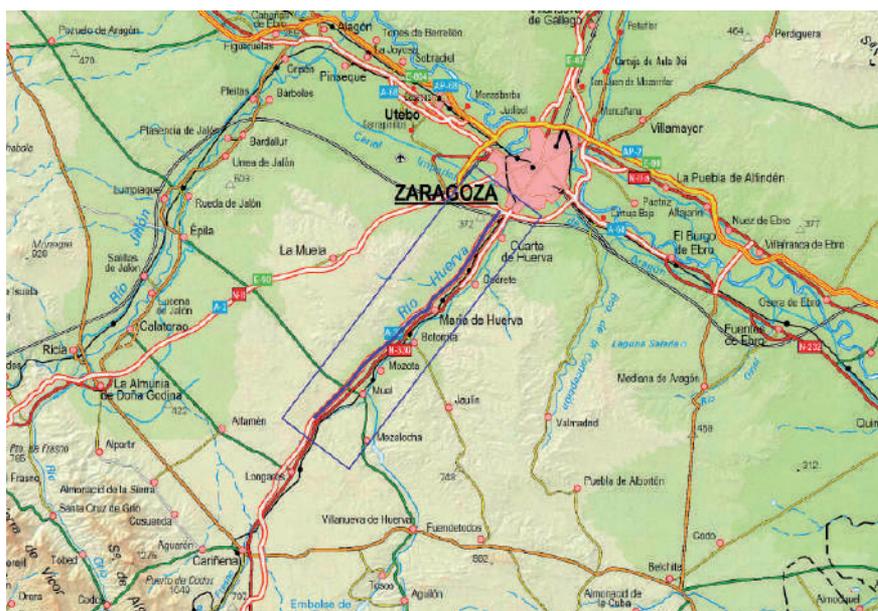


Figura 1. Localización de las obras

semicalientes se hallan los basados en el uso de aditivos surfactantes o reductores de la viscosidad de los betunes, y los que consisten en provocar la espumación del betún mediante la inyección de agua a presión o gracias a la incorporación de zeolitas u otras partículas minerales que liberan agua al ser calentadas. También se han utilizado procedimientos combinados, generalmente, cuando se persiguen las reducciones de temperatura más extremas, es decir, superiores a 40 °C [5].

La producción de mezclas bituminosas semicalientes también presenta algunas dificultades que deben resolverse adecuadamente: los ahorros de combustible no siempre bastan para compensar el coste de las tecnologías de reducción de temperatura utilizadas, suelen requerir adaptaciones en la central de fabricación que pueden afectar a su capacidad de producción, el menor envejecimiento a corto plazo de su betún puede llevar a obtener capas bituminosas con una resistencia a las deformaciones permanentes insuficiente, y la eventual presencia de humedad residual puede perjudicar su resistencia a la acción del

agua y, por tanto, requerir la dosificación de activantes de la adhesividad.

En España, donde las primeras experiencias tuvieron lugar en el año 2000, las mezclas semicalientes han sido incluidas en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3, pero su uso sigue siendo excepcional. Según las estadísticas de ASEFMA, en 2020 apenas supusieron un 3% de la producción total de mezclas bituminosas y las realizaciones más significativas aún son consideradas como tramos experimentales 3. Las obras descritas en el presente texto constituyen una de las realizaciones más importantes llevadas a cabo hasta hoy, teniendo en cuenta el tipo de vía (autovía A-23), la categoría de tráfico (T1) y la cantidad de mezcla bituminosa semicaliente puesta en obra (aproximadamente 30.000 t). Con la divulgación de los resultados obtenidos se espera contribuir a anticipar la generalización de la producción de mezclas semicalientes en España y a superar la excepcionalidad que aún suele atribuirse a este tipo de realizaciones.

## 2. Descripción general de la actuación

La actuación descrita en el presente texto se enmarcó en el proyecto *Rehabilitación superficial y puntualmente estructural del firme de la autovía A-23, entre los PPKK 250,700 al 277,600*, correspondiente al tramo comprendido la localidad de Muel y el enlace de la autovía A-23 con la carretera Z-40 en Zaragoza, abarcando cuatro tipos de actuaciones sobre el firme:

- Actuación 1: fresado y reposición de 10 cm de mezcla AC 32 base 35/50 S en el carril de vehículos lentos,
- Actuación 2: fresado y reposición de 6 cm de mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente en el carril de vehículos lentos,
- Actuación 3: recrecimiento de 3 cm con mezcla bituminosa tipo BBTM 11B PMB 45/85-60 como nueva capa de rodadura,
- Actuación 4: fresado y reposición de 5 cm con mezcla bituminosa tipo AC 16 surf 35/50 S semicaliente como nueva capa de rodadura en enlaces.

La ejecución del proyecto ha supuesto la rehabilitación de 53,8 km de calzada de dos carriles de circulación. De ellos, 16 km del carril derecho han sido rehabilitados estructuralmente mediante fresado y reposición en una profundidad de 16 cm, afectando a las capas de rodadura, base e intermedia existentes. En 19,2 km del carril derecho se ha efectuado una rehabilitación superficial consistente en el fresado y reposición de 6 cm del pavimento existente, y en toda la longitud, se ha extendido de una nueva capa de rodadura de mezcla discontinua tipo BBTM 11 B. Además, se han rehabilitado 2,95 km de calzada de un carril en enlaces, con la puesta en

obra de una nueva capa de rodadura tipo AC16 S surf 35/50.

En total, se han puesto en obra 30.000 t de mezclas bituminosas semicalientes (28.000 t de AC 22 BIN S 35/50 y 2.000 t de AC 16 SURF S 35/50).

En todas las actuaciones el riego de adherencia ha sido protegido mediante la aplicación de una lechada de cal, diluida y estabilizada, con el fin de asegurar el mantenimiento de la integridad de la película de ligante residual y la ausencia de contaminaciones en la zona de actuación y en el entorno de las obras. Con este tratamiento han sido protegidos efectivamente más de 800.000 m<sup>2</sup> de superficie.

## 3. Producción de mezclas bituminosas semicalientes

En la redacción del proyecto de rehabilitación se previó el uso de mezclas tipo AC 22 bin 35/50 S semicaliente en las capas intermedias y tipo AC 16 surf 35/50 S semicaliente en las capas de rodadura de los enlaces, estableciéndose como objetivo las temperaturas de fabricación y puesta

en obra indicadas en la tabla 1. Comparadas con las temperaturas habitualmente empleadas en las mezclas bituminosas en caliente equivalentes (indicadas en la tabla 2), suponen reducir en 20 °C a 30 °C la temperatura de fabricación típica de una producción convencional.

La tecnología de reducción de temperatura para la producción de las mezclas bituminosas semicalientes se ha basado en la espumación directa del betún en la central de fabricación.

### 3.1. Instalaciones y equipos

La espumación del betún se consigue inyectándole una pequeña cantidad de agua (0,2% a 2% de la masa del betún) mediante un dispositivo denominado espumador instalado entre la báscula del betún y la amasadora de la central de fabricación. La evaporación del agua dispersada en el betún caliente provoca su expansión, aumentando de cinco a diez veces el volumen de ligante disponible para envolver la mezcla de áridos. Así se obtiene una película de ligante más homogénea y una mezcla más trabajable, lo que permi-

Tabla 1. Requisitos de temperaturas para las mezclas semicalientes establecidos en le PPT del proyecto.

Fase de fabricación y puesta en obra	Temperatura
Almacenamiento del betún	160 °C
Mezclado y fabricación	130 °C - 140 °C
Comienzo de extendido y compactación	Mínimo 120 °C
Finalización de la compactación	Mínimo 100 °C

Tabla 2. Requisitos de temperaturas típicos para una mezcla en caliente AC 22 bin S 30/45 convencional

Fase de fabricación y puesta en obra	Temperatura
Almacenamiento del betún	160 °C
Mezclado y fabricación	155 °C - 165 °C
Comienzo de extendido y compactación	Mínimo 130 °C
Finalización de la compactación	Mínimo 110 °C



Figura 2. Central de fabricación de mezclas bituminosas en caliente, marca INTRAME, modelo UM-200, instalada en el T.M. de Botorrita (Zaragoza)

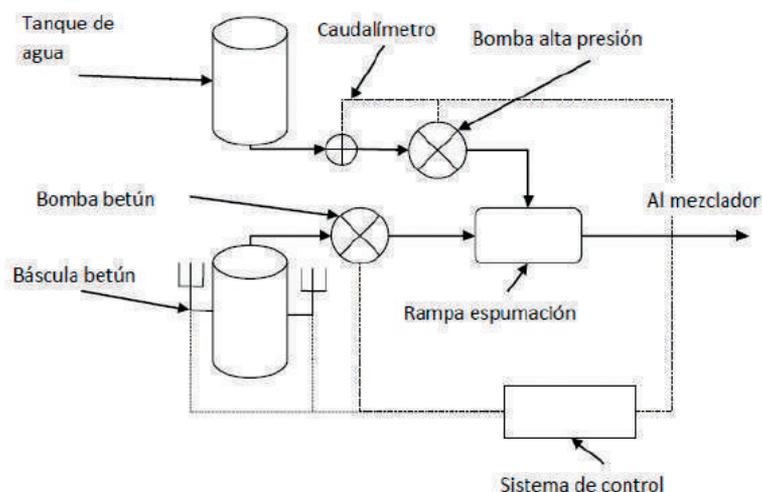


Figura 3. Esquema del equipo de espumación de betún utilizado en las obras

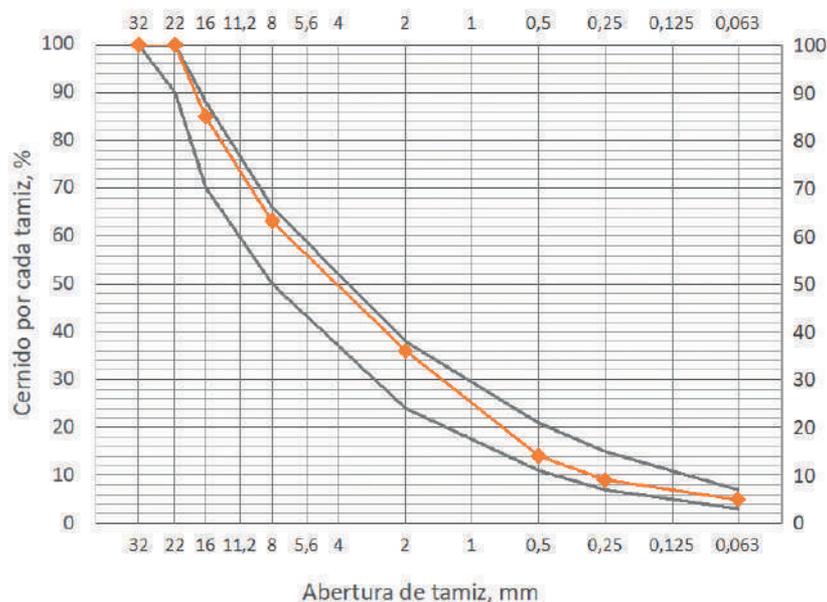


Figura 4. Curva granulométrica de la fórmula de trabajo de la mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente

te reducir la temperatura de fabricación de 20 °C a 30 °C, sin afectar a la calidad de la mezcla bituminosa ni dificultar su compactación [6, 7 y 8].

### 3.2. Fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo de la mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente se elaboró empleando los mismos criterios utilizados para el diseño de la mezcla bituminosa convencional equivalente, cuya curva granulométrica puede observarse en la figura 4. En la tabla 3 se presentan las propiedades volumétricas y mecánicas correspondientes, medidas sobre probetas de mezcla semicaliente de central, compactadas a las temperaturas y con las energías de compactación normalizadas. De acuerdo con la experiencia del fabricante, en la espumación de betún se utilizó un 1,50,2% de agua sobre el peso del betún.

### 3.3. Tramo de prueba y ejecución de las obras

El 30 de septiembre de 2020 se construyó un tramo de prueba para la mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente en un área de descanso de la N-330. La mezcla se fabricó a 125 °C y se puso en obra en las mismas condiciones y con los mismos equipos previstos para la ejecución de las obras. Se tomaron muestras para analizar las propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla semicaliente, así como el funcionamiento de los equipos de compactación.

Los resultados obtenidos se han recopilado en la tabla 4, donde pueden compararse con los correspondientes a la fórmula de trabajo. La relación filler/betún resultó más elevada de lo previsto, y los huecos en mezcla y en áridos inferiores. En cualquier caso, en las propiedades

de la mezcla que pueden verse más afectadas por inyección de agua en el betún y la reducción de temperatura de fabricación no se apreciaron efectos desfavorables: el ensayo de sensibilidad al agua proporcionó mayor resistencia conservada y también mejoró la resistencia a la deformación permanente medida en probetas de 60 mm de espesor. Se consideró que, en conjunto, los resultados fueron suficientemente próximos a los previstos para dar por aprobado el tramo de prueba e iniciar las obras.

La totalidad de la mezcla bituminosa AC 22 bin 35/50 S fue fabricada a temperaturas comprendidas entre 120 °C y 147 °C, con una temperatura promedio de 131 °C que supone reducción de 29 °C respecto a la temperatura de 160 °C típica de la producción convencional. La capa de rodadura que se extendió a continuación, tipo BBTM 11B PMB 45/80-65 se completó el 6 de septiembre de 2021.

## 4. Resultados y análisis de los resultados de los ensayos

### 4.1. Resultados de los ensayos de control de producción

En la tabla 5 se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de control de fabricación de la mezcla bituminosa AC 22 bin 35/50 S semicaliente. Corresponden a muestras tomadas diariamente en la central, con las que se elaboraron probetas compactadas en condiciones estándar (compactador de impactos, 75 golpes por cara y una temperatura de 160° C). Los valores medios obtenidos satisficieron los requisitos del PPT del proyecto y las dispersiones fueron moderadas.

Tabla 3. Características de la fórmula de trabajo

PROPIEDAD	Norma UNE EN	VALOR	Unidad
Contenido de betún	12.697-6	4,30	% s.m.
Relación filler/betún	12.697-5	1,1	-
Densidad aparente	12.697-8	2,353	g/cm <sup>3</sup>
Densidad máxima	12.697-8	2,493	g/cm <sup>3</sup>
Huecos en mezcla	12.697-8	5,6	%
Huecos en áridos	12.697-8	15,4	%
Huecos rellenos	12.697-8	63,4	%
Sensibilidad al agua	12.697-12	86	%
Ensayo de rodadura WTS <sub>aire</sub>	12.697-22	0,067	mm/1000 c
Ensayo de rodadura PRD <sub>aire</sub>	12.697-22	6,1	%

Tabla 4. Propiedades de la mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente puesta en obra en el tramo de prueba

PROPIEDAD	F. TRABAJO	T. PRUEBA	Unidad
Contenido de betún	4,30	4,22	% s. m.
Densidad aparente	2,353	2,393	g/cm <sup>3</sup>
Densidad máxima	2,493	2,506	g/cm <sup>3</sup>
Huecos en mezcla	5,6	4,4	%
Huecos en áridos	15,4	14,0	%
Huecos rellenos	63,4	68,9	%
Sensibilidad al agua	86	91,9	%
Ensayo de rodadura WTS <sub>aire</sub>	0,067	0,063	mm/1000 c
Ensayo de rodadura PRD <sub>aire</sub>	6,1	5,6	%

Tabla 5. Resultados de los ensayos de control de producción de la mezcla AC 16 bin 35/50 S semicaliente

PROPIEDAD	MEDIA	DESV. TÍPICA	Unidad
Temperatura de fabricación	131	7	°C
Contenido de betún	4,21	0,17	% s. m.
Densidad aparente	2,354	0,023	g/cm <sup>3</sup>
Densidad máxima	2,508	0,011	g/cm <sup>3</sup>
Huecos en mezcla	6,1	0,9	%
Huecos en áridos	15,5	2,0	%
Huecos rellenos	63,4	68,9	%
Sensibilidad al agua	87,4	2,7	%

El control de puesta en obra se basó en la extracción de un total de 90 testigos de las capas de mezcla AC 22 bin S 35/50 semicaliente, obteniéndose los espesores, densidades y grados de compactación medios mostrados en la Tabla 6, donde también se indican las respectivas desviaciones típicas. Como puede observarse, no pudo alcanzarse el grado de compactación del 98% especificado para capas de espesor igual o superior a 60 mm, si se adopta como densidad de referencia la obtenida en probetas de laboratorio compactadas a 160 °C.

## 4.2. Análisis de los resultados

Los resultados presentados en la tabla 5 guardan buena correspondencia con los previstos en la fórmula de trabajo y obtenidos en el tramo de prueba, excepto por los huecos en mezcla que, si bien se encuentran dentro del intervalo especificado, son significativamente más elevados que estos. A pesar de ello, los resultados de sensibilidad al agua son buenos, es decir, no se aprecia efecto alguno de la eventual presencia de humedad residual en la mezcla bituminosa semicaliente, ni se ha precisado incorporar activantes de adhesividad. Aunque en países como Estados Unidos o Francia es muy frecuente recurrir a la adición de hidróxido cálcico para mejorar la resistencia a la acción del agua de las mezclas bituminosas, particularmente de las mezclas semicalientes, en este caso el uso de áridos calizos debe de haber servido para obtener una adhesividad suficiente [5, 7].

La reducción de temperatura sí ha podido afectar a la compactabilidad de la mezcla, pues el grado de compactación no ha alcanzado el 98% especificado para las capas de más de 6 cm de espesor. A este respecto, debe tenerse en cuenta que la densidad de referencia se ha obtenido

Tabla 6. Resultados de los ensayos realizados sobre testigos de la capa intermedia

PROPIEDAD	MEDIA	DESV. TÍPICA	Unidad
Espesor	73	19	mm
Densidad aparente SSS	2,293	0,039	g/cm <sup>3</sup>
Densidad de referencia	2,352	0,015	g/cm <sup>3</sup>
Grado de compactación	97,3	1,6	%

de probetas compactadas en laboratorio a la temperatura estándar (155-160 °C) que, por tanto, no simulan correctamente las condiciones reales de la compactación en obra. Por otra parte, la reducción de temperatura alcanzada, próxima a 30 °C puede hallarse cerca de los umbrales accesibles a las tecnologías basadas en la espumación del betún, con las que es habitual proponerse objetivos más modestos (15 °C a 20 °C).

## 5. Valoración ambiental de la mezcla semicaliente producida

Con la reducción de la temperatura de fabricación se han obtenido, y se espera seguir obteniendo, diversas mejoras técnicas y ambientales, entre las que se encuentran las que son objeto de análisis en el presente apartado.

### 5.1. Demanda energética y emisiones de GEI en la central de fabricación

La demanda energética de una central de fabricación, expresada como consumo de fuel, crece a razón de 0,30 a 0,40 kg/t por cada 10 °C que se incrementa la temperatura de fabricación, dependiendo de diversos factores, entre los cuales deben citarse en primer lugar, la humedad de los áridos y el régimen de funcionamiento de la central 9 y 10. Aunque puede calcularse mediante mediciones directas, cuando se trata de

analizar el efecto de la temperatura o de cualquier otro factor aislado, es conveniente apoyarse en modelos teóricos. En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos recurriendo al modelo ECCO2. Como puede observarse, gracias a la reducción de temperatura alcanzada, se ha estimado que la demanda energética en el quemador del tambor secador ha pasado de 214 a 170 MJ/t, es decir, ha disminuido en un 20,3%. Esta reducción equivale a un 7,9% de la demanda energética del conjunto de las operaciones involucradas en la construcción de la capa bituminosa: aprovisionamiento de materias primas, fabricación, y transporte y puesta en obra.

A partir de los consumos de combustible y mediante los oportunos factores de emisión, pueden calcularse las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes a ambas situaciones. En la tabla 8 se muestran las emisiones unitarias calculadas con el mismo modelo de cálculo y distinguiendo las mismas actividades. Las emisiones de GEI causadas por el quemador del tambor secador de la central han pasado de 17,4 a 13,9 kg de CO<sub>2</sub> eq./t, con una la reducción de emisiones que, obviamente, supone de nuevo un 20,3%. Las emisiones de GEI correspondientes al conjunto de operaciones involucradas en la construcción de la capa bituminosa: aprovisionamiento de materias primas, fabricación, y transporte y puesta en obra, por su parte, se han visto reducidas en un 9,0%.

Tabla 7. Demanda energética de las diversas operaciones de producción y puesta en obra en función de la temperatura de fabricación

DEMANDA ENERGÉTICA (MJ/t)	160 °C	131 °C	Reducción
En la combustión en el tambor secador	213,66	170,36	20,3%
Resto de actividades de fabricación	14,47	14,47	0,0%
FABRICACIÓN	228,12	184,83	19,0%
MATERIAS PRIMAS	257,33	257,33	0,0%
PUESTA EN OBRA	61,41	61,41	0,0%
<b>TOTAL</b>	<b>546,86</b>	<b>503,56</b>	<b>7,9%</b>

Tabla 8. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las diversas operaciones de producción y puesta en obra en función de la temperatura de fabricación.

EMISIONES DE GEI (kg de CO <sub>2</sub> eq./t)	160 °C	131 °C	Reducción
En la combustión en el tambor secador	17,43	13,90	20,3%
Resto de actividades de fabricación	2,01	2,01	0,0%
FABRICACIÓN	19,44	15,91	18,2%
MATERIAS PRIMAS	15,64	15,64	0,0%
PUESTA EN OBRA	4,26	4,26	0,0%
<b>TOTAL</b>	<b>39,34</b>	<b>35,81</b>	<b>9,0%</b>

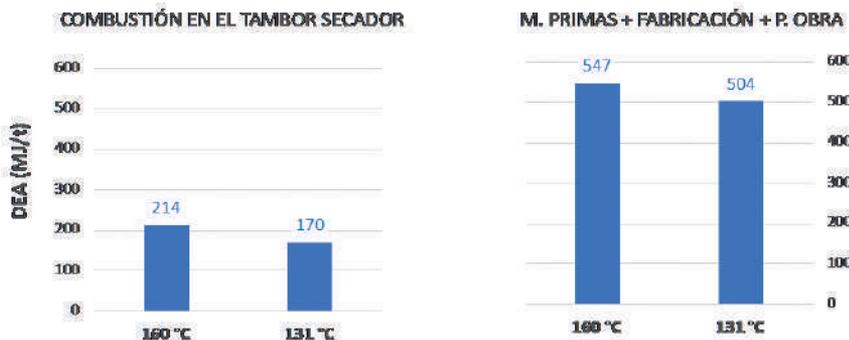


Figura 5. Demanda energética (DEA) de la combustión en el tambor secador de la central de fabricación y del conjunto de operaciones de suministro materias primas, fabricación y puesta en obra



Figura 6. Indicador de cambio climático (ICC) de la combustión en el tambor secador de la central de fabricación y del conjunto de operaciones de suministro materias primas, fabricación y puesta en obra

Las figuras 5 y 6 contienen una representación gráfica de una parte de los resultados presentados en las tablas 7 y 8 anteriores.

### 5.2. Emisiones de humos y olores

Reducir la temperatura de las mezclas bituminosas en caliente también contribuye a hacer el trabajo de los operarios empleados en la puesta en obra más seguro y confortable, pues además de manipular un material más frío, se ven menos afectados por las emisiones de humos y olores del betún. Los humos de betún, término habitualmente utilizado para referirse a las emisiones totales del betún caliente y de los productos que contienen betún caliente, sólo alcanzan límites de exposición establecidos en las diversas legislaciones europeas después de superar los 180 °C, son apenas significativas por debajo de 150 °C y, virtualmente, desaparecen a temperaturas inferiores a 80 °C; sin embargo, cualquier reducción de emisiones mejora las condiciones de trabajo en la obra [11].

Para estimar las emisiones de humos de betún de la mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente extendida en la presente obra se ha recurrido a la relación, obtenida por Martin et al. (2019) mediante mediciones reales realizadas en un tramo experimental y representada en la figura 7 [12].

Los resultados de los cálculos efectuados con esta aproximación indican que, gracias a la tecnología de fabricación utilizada, las emisiones de componentes orgánicos volátiles totales (COVT) durante la puesta en obra de la mezcla semicaliente fueron de 44 g/min. Frente a los 119 g/min correspondientes a un extendido convencional (≈150 °C), supuso una reducción de emisiones superior al 63%.

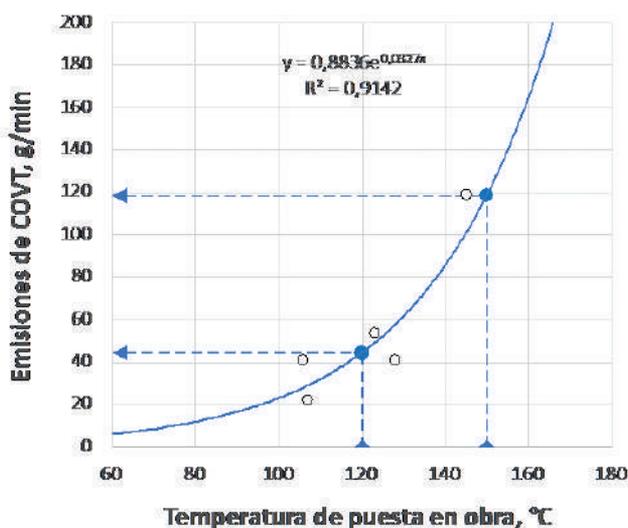


Figura 7. Emisión de componentes orgánicos volátiles totales (COVT) a temperaturas de extendido de 160 °C (mezcla AC 22 bin S 35/50 convencional) y 120 °C (mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente)

### 5.3. Envejecimiento del betún y durabilidad de la mezcla

El endurecimiento acelerado del betún asfáltico que tiene lugar durante la fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas se conoce como envejecimiento a corto plazo, para distinguirlo del envejecimiento a largo plazo que se producirá a lo largo de toda la vida útil del firme, a velocidades muy inferiores. El primero guarda relación, principalmente, con la oxidación y pérdida de componentes volátiles mientras que el segundo involucra fenómenos adicionales como polimerización, tixotropía, sinéresis o separación.

La cinética de las reacciones de oxidación, como la pérdida de componentes volátiles depende de la temperatura del betún y, por tanto, reducir la temperatura de fabricación es útil para limitar el envejecimiento a corto plazo del betún e incrementar la durabilidad de las mezclas bituminosas. Sería preciso contar con modelos de envejecimientos adecuados para estimar cuantitativamente los efectos de la reducción de temperatura alcanzada en la durabilidad de la capa construida; sin embargo, es

indudable que siempre que el fallo del firme guarde relación con el endurecimiento del betún de la capa intermedia, es obvio que con la mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente se obtendrá una capa más duradera que con la alternativa convencional.

### 5.4. Otras mejoras

La mezcla AC22 bin 35/50 S semicaliente también aportará ventajas desde el punto de vista de su futura reciclabilidad, pues las mezclas menos envejecidas pueden reutilizarse más fácilmente y con menores costes: se reduce o elimina la necesidad de incorporar agentes rejuvenecedores, y la reutilización puede efectuarse a temperaturas más bajas, en mayores tasas, o dosificando menores proporciones de betún nuevo.

Con las mezclas bituminosas semicalientes también se reducen las afecciones al tráfico pues las capas recién terminadas alcanzan antes la temperatura a la que puede permitirse la circulación de los vehículos. Además, las diversas tecnologías de producción a baja temperatura pueden usarse para incrementar

los tiempos de trabajabilidad de las mezclas bituminosas en caliente y para alcanzar mayores distancias de transporte, si bien estas ventajas no han sido explotadas en la presente obra.

El análisis de ciclo de vida es, sin duda, una herramienta de gran interés para valorar el conjunto de ventajas indicadas, pues ayuda a evitar comparaciones de alternativas basadas en contabilidades incompletas y permite tomar en cuenta las ventajas potenciales futuras.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

En las obras de rehabilitación del firme de la autovía A-23, entre los PPKK 250,700 al 277,600 (Zaragoza), ejecutadas entre 2020 y 2021, se han puesto en obra unas 30.000 t de mezcla AC 22 bin 35/50 S semicaliente, fabricadas exitosamente mediante la tecnología de espumación directa del betún, a una temperatura media de 131 °C, es decir unos 30 °C por debajo de la temperatura típica de una producción convencional en caliente. A la luz de la presente experiencia, no parece necesario introducir ensayos distintos de los empleados con las mezclas bituminosas en caliente convencionales para el diseño o en el control de las mezclas bituminosas semicalientes, una vez comprobado que con estas mezclas pueden cumplirse los requisitos de sensibilidad al agua, donde podría manifestarse el efecto de la presencia de humedad residual, y de resistencia a la deformación permanente, que es la propiedad que más puede verse afectada por un menor envejecimiento a corto plazo del betún de las mezclas semicalientes.

Durante el control de puesta en obra se ha medido un grado de compactación promedio de 97,3 %,

inferior al 98 % especificado. Es una diferencia que podría atribuirse a las distintas temperaturas de compactación empleadas en obra y en laboratorio, aunque tampoco puede descartarse que reduciendo en más de 30 °C la temperatura de fabricación se haya sobrepasado el límite al alcance de la tecnología de espumación utilizada, pues se trata de una reducción que supera ampliamente los 15 °C a 20 °C mucho más habituales.

De acuerdo con los análisis expuestos, las mezclas bituminosas producidas a bajas temperatura ofrecen interesantes ventajas técnicas, económicas y ambientales, algunas de las cuales deben valorarse mediante Análisis de Ciclo de Vida y que guardan relación con la durabilidad de las capas construidas y con su reciclabilidad futura.

Como es natural, reducir la temperatura de fabricación también presenta algunos inconvenientes. La opción más frecuentemente utilizada internacionalmente y, sin duda, la más recomendable para reducir lo eliminar los derivados de la presencia de humedad residual o del menor endurecimiento de su betún, consiste en incorporar una cierta proporción de hidróxido cálcico (1 a 2% de la masa de la mezcla de áridos) que, además de actuar como rigidizador de la mezcla bituminosa, mejora su resistencia a la acción del agua.

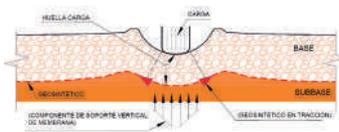
En futuras actuaciones se recomienda analizar si modificando las temperaturas estándar de compactación de probetas laboratorio, para aproximarlas mejor a las temperaturas empleadas en condiciones reales, se obtendrían densidades de referencia distintas y resultados más coherentes con el grado de compactación obtenido en obra. Para no perder representatividad, las probetas de laboratorio deberían confeccionarse in situ, al menos, mientras no

se disponga de correlaciones entre los resultados de estas probetas y las elaboradas en laboratorio recalentando mezcla bituminosa semicaliente. También sería interesante analizar en qué aspectos y en qué medida, en su caso, modificar la temperatura de compactación de las probetas afecta al diseño de mezclas.

## Referencias

1. Croteau, J. Tessier, B. (2008): Warm mix asphalt paving technologies: a Road Builder's perspective. Warm Asphalt Technology as a Sustainable Strategy for Pavements" Session of the 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada
2. Reinhold Ruhl, R. and Musanke, U. (2006): The German Bitumen Forum. Cooperation in partnership. Annals of Occupational Hygiene, Vol. 50, No. 5.
3. EAPA (2021). Asphalt in figures 2020. European Asphalt Pavement Association, Brussels.
4. D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowser, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W., Newcomb, D., Prowell, B., Sines, R. and Yeaton, B. (2008): Warm-Mix Asphalt: European Practice. International Technology Scanning Program, FHWA-AASTHO, February 2008.
5. Ortiz Ripoll, J.; Crisén, X. y Giralt, Julia (2022): Mezclas bituminosas semicalientes producidas a temperaturas inferiores a 120 °C. Proyecto ASFALTMIN. Revista RUTAS de la Asociación Técnica de Carreteras. Número 190, enero-marzo de 2022.
6. Prowell, B. D.; Hurley, G. y Frank, B. (2012): Warm Mix Asphalt. Best Practices. Quality Improvement Publication 125, 3rd Edition. National Asphalt Pavement Association.
7. Veá, F.; Payán, J.; Sedeño, J.; García Serrada, C.; Hidalgo, E.; Loma, J.; Simón, J.; Orozco, R.; Álvarez, P.; Berbis, J. y Moreno, E. (2022): Experiencia espuma betún. Revista RUTAS de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), número 191, abril-junio de 2022.
8. López Marco, J. R.; Berbis, J.; Albert, J. R. Felipo, J. y Moral, A. (2016): Mezclas bituminosas recicladas semicalientes con espuma de betún. Revista Asfalto y Pavimentación, número 21, volumen VI, segundo trimestre de 2016.
9. Kennedy, T. y Huber, G. (1984): The effect of mixing temperature and stockpile moisture on asphalt mixtures. Center for Transportation Research. The University of Texas at Austin. Research report 358-1.1984.
10. Bueche, N. (2013) : Évaluation des performances et des impacts des enrobés tièdes. Thèse nom. 5169. École Polytechnique Fédérale de Lausanne 2013.
11. NC (2015): The bitumen industry. A global perspective. Production, use, specification, and occupational exposure Third edition. IS-230. Asphalt Institute Inc. and European Bitumen Association-Eurobitume.
12. Martin, H., Kerstin, Z., & Joachim, M. (2019). Reduced emissions of warm mix asphalt during construction. Road Materials and Pavement Design. Vol. 20. ❖

# Refuerzo de bases y mejora de explanadas con geosintéticos



Base reinforcement and improvement of subgrades with geosynthetics

## GT-5 Geosintéticos del Comité Técnico de Firmes

Asociación Técnica de Carreteras

Si siguiendo con el objetivo del grupo de trabajo, este artículo pretende llenar las lagunas existentes en estos momentos en la utilización de geosintéticos en el refuerzo de bases y la mejora de explanadas, poniendo de manifiesto su aplicación desde hace muchos años, indicando la necesidad de un adecuado conocimiento de ciertas propiedades del suelo y del geosintético y mencionando aquellas más importantes en la interacción suelo-geosintético y presentando diferentes métodos de cálculo que actualmente se utilizan por todo el mundo. Lo que puede ayudar al proyectista a elegir la mejor solución para su problema y a comprender de una forma sencilla y didáctica cuando es o no posible plantearse el empleo de un geosintético para este uso.

Los geosintéticos representan una solución real para la construcción de firmes y explanadas. Además de su alta resistencia a cargas mecánicas, los geosintéticos también ofrecen numerosos beneficios fundamentales, especialmente en términos de ahorro de costes y eficiencia medio-ambiental.

Following the objective of the working group, this article aims to fill the gaps that currently exist in the use of geosynthetics in base course reinforcement, highlighting their application for many years, indicating the need for an adequate knowledge of certain soil and geosynthetic properties and mentioning those most important in the soil-geosynthetic interaction and presenting different design methods that are currently in use all over the world. This can help the designer to choose the best solution for his problem and to understand in a simple and didactic way when it is or is not possible to consider the use of a geosynthetic for this application.

Geosynthetics represent a real solution for base course reinforcement. Quite apart from their extremely high resistance to mechanical loads, they offer a number of key benefits, particularly in terms of cost-effectiveness and eco-efficiency.

## 1. Introducción

El refuerzo de suelos con materiales tejidos no es una técnica novedosa. Así en el Ziggurat Aqar Quf, 1400 a.C, Figura 1, se emplearon esteras de caña en muros y cimentaciones con el fin de mejorar la resistencia a tracción del suelo. (Ziegler, 2017) (Palmeira, 1987). Lo que ha evolucionado son, principalmente, los materiales empleados y la técnica, pasando de materiales de origen natural a materiales metálicos y finalmente a materiales poliméricos. Estos últimos ofrecen propiedades mecánicas, hidráulicas y de durabilidad, así como una puesta en obra muy adecuada, lo que ha llevado a que su uso sea el más extendido, especialmente en el campo del refuerzo de firmes.

Este artículo pretende mostrar el papel que desempeña el geosintético en el refuerzo de bases y en la mejora de explanadas, indicando la necesidad de un adecuado conocimiento de ciertas propiedades del suelo y del geosintético y mencionando aquellas más importantes en la interacción suelo-geosintético. Ésta es la base fundamental para dar una eficaz respuesta del conjunto a las acciones externas. Por otro lado, se describen los métodos de cálculo más extendidos para el diseño con geosintéticos en esta aplicación. En resumen, con este artículo se pretenden exponer los puntos más relevantes del uso de estos materiales en el refuerzo de bases y mejora de explanadas, intentando mostrar que desde el diseño hasta la puesta en obra el conjunto debe “visualizarse” como un material compuesto y no como dos materiales individuales.

## 2. Estado del arte.

En el diseño para la construcción de firmes y explanadas, se requieren materiales de alta calidad con el fin

de cumplir con las normas e instrucciones. Sin embargo, en diferentes zonas del mundo, los materiales de calidad no están disponibles o escasean. Estas limitaciones llevaron a buscar diseños alternativos, utilizando suelos o materiales granulares de calidad inferior, consiguiendo así una optimización de los recursos naturales y una solución sostenible, incluyendo el uso de técnicas novedosas que permitieran un comportamiento idóneo del conjunto. Una de estas técnicas innovadoras era el uso de los geosintéticos (USACE, 2003).

Hoy en día y desde hace tiempo, además del aprovechamiento de los materiales propios, se suma la optimización del diseño. Esto es debido a la aplicación de una de las funciones más reconocidas de los geosintéticos, el refuerzo, que permite mejorar las fuerzas de cohesión del conjunto suelo-geosintético.

A principios de la década de los 80 Jewell y otros autores (Jewell, 1980); (McGown & et al., 1981) estudiaron que el refuerzo con geosintéticos, en ciertos tipos de suelos, ayuda a reducir tensiones de tracción dentro de los mismos, aumentando así la resistencia global del material compuesto. Posteriormente, Palmeira (Palmeira, 1987) llevó a cabo estudios en laboratorio con los diferentes tipos de geosintéticos y otros tipos de refuerzos, analizando su grado de eficacia a través de ensayos de corte directo y pull-out test. Se evaluó cada familia de geosintéticos según su mecanismo de fricción, soporte o fricción y soporte. Así los geotextiles tienen eficacia a nivel de mecanismos de fricción, mientras que las geomallas se basan en mecanismos de soporte, por ser éstas un conjunto paralelo de nervios que trabajan a tracción o en red abierta, con la apertura suficiente como para permitir el paso del suelo o material granular circundante (Koerner, 1998).



Figura.1 Refuerzo de suelo en el Ziggurat Aqar Quf 1400 a.C (Ziegler, 2017)

Por lo tanto, para un diseño adecuado se deben tener en cuenta tres factores importantes: naturaleza y características mecánicas del suelo, las propias del geosintético e interacción suelo-geosintético (Palmeira, 1987). En cuanto a la naturaleza de los suelos y, en el caso que nos ocupa, los suelos mayormente empleados en el refuerzo de bases son los materiales granulares. Hay que tener en cuenta que la respuesta tensión-deformación de los suelos obedece a factores como la estructura del grano, densidad, grado de saturación, presión intersticial o historial de cargas, además de existir una relación entre las tensiones cortantes a la rotura o desviadoras  $q$  y las tensiones principales  $p$ . Los puntos de fluencia del suelo, en esta relación de tensiones, dibujan la recta con pendiente  $M$  indicada en la ecuación (1). Dicha recta establece la línea de estados críticos (LEC o CSL) para los cuales la deformación continúa de forma irreversible, no existiendo estados posibles por encima de esta línea (Cuenca Payá). El valor de  $M$  está relacionado con el ángulo de rozamiento interno del suelo según (2), aumentando con la pendiente  $M$ . Suelos con mayor ángulo de fricción soportarán estados de tensión supe-

riores. Por tanto, el suelo debe estar sometido a tensiones que no permitan alcanzar los estados de fluencia definidos por las líneas límite LEC o CSL (en tracción y compresión). Así uno de los objetivos principales del geosintético es reducir la facilidad para que el suelo, sometido a tensiones, alcance la línea LEC o CSL, creando una respuesta de conjunto con menor deformación y mayor resistencia (Ziegler, 2017). Esta mayor resistencia y menor deformabilidad permitirá efectuar diseños más optimizados.

$$q = M \cdot p \quad (1)$$

$$\sin \phi = \frac{3 \cdot M}{6 + M} \quad (2)$$

Para el caso concreto del refuerzo de bases y explanadas y teniendo en cuenta las condiciones de contorno, se pueden indicar tres mejoras principales en el uso del geosintético (Haliburton & et al., 1981) :

- 1) Restricción lateral entre base y subbase: Reducción de las deformaciones laterales por efecto del geosintético, mediante fricción (geotextiles) o soporte interlock (geomallas) Figura 3. Por su parte, en la Figura 4 se pueden observar las tensiones producidas en el contacto entre suelos con y sin geosintético ( $\sigma_r$ ,  $\sigma_{nr}$ ) siendo superiores las tensiones soportadas con el refuerzo  $\sigma_r$  (3). Suelos con explanadas muy deformables ofrecen una baja restricción lateral, por ello el uso del geosintético conlleva el aumento de dicha restricción. Esta función es la principal en esta aplicación.

$$\sigma_r > \sigma_{nr} \quad (3)$$

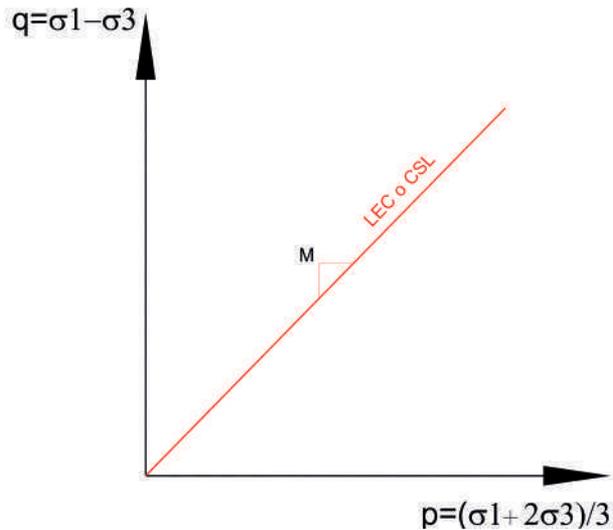


Figura 2. Gráfica que relaciona las tensiones cortantes a la rotura o desviadoras  $q$  y las tensiones principales  $p$

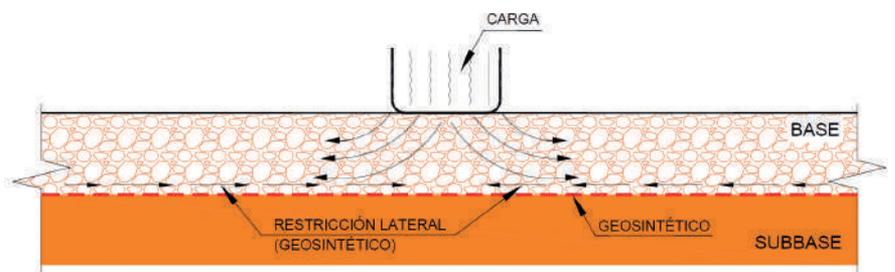


Figura 3. Restricción lateral por efecto de geosintético.

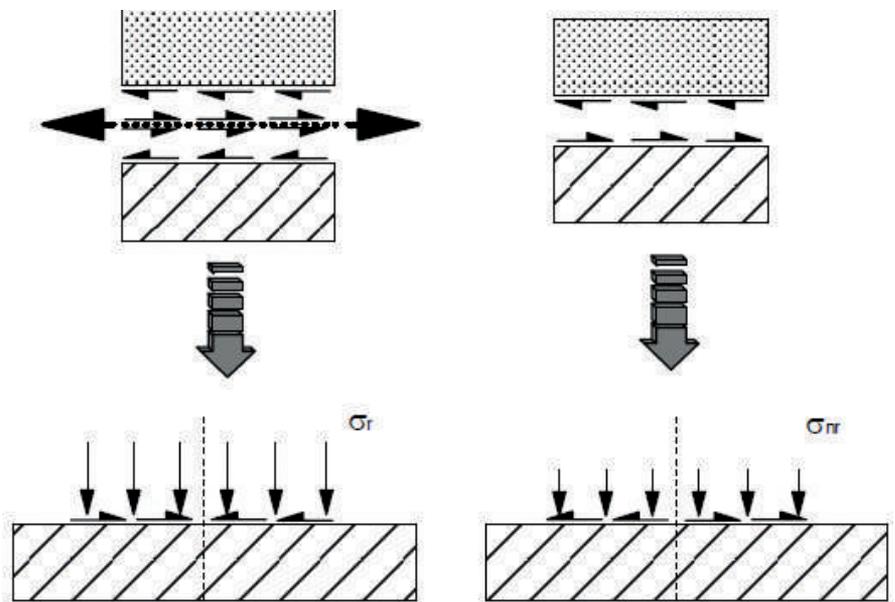


Figura 4. Superficie de contacto de suelo reforzado (izda); no reforzado (dcha)

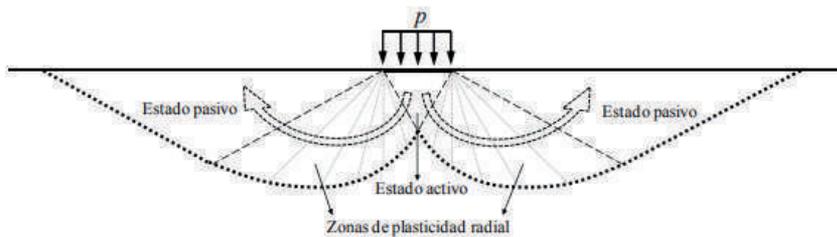


Figura 5. Mecanismo de rotura general Terzaghi.

2) Aumento de la capacidad portante del conjunto: Analizando el mecanismo de rotura de un suelo mediante carga distribuida vertical se pueden establecer las zonas de mayor cortante dentro de los materiales, Figura 5. Así, en una situación sin geosintético, la línea de rotura conformada por los tramos rectos (estados activos y pasivos) y la espiral logarítmica (zona de plasticidad radial) dependerá de la carga y de las propiedades del suelo, cohesión y ángulo de rozamiento interno,  $c$  y  $\phi$ . La inclusión del geosintético hará que la línea de rotura se vea modificada, reduciendo la zona plástica. Figura 6.

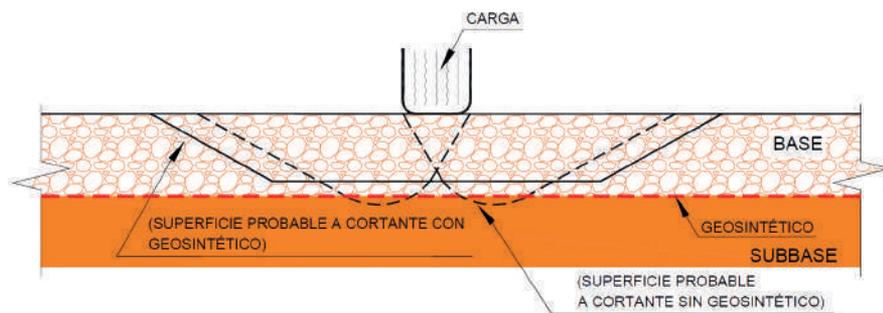


Figura 6. Distribución de la superficie a cortante con y sin geosintético.

3) Efecto membrana: Establece una separación entre los materiales y mejora la capacidad de distribución del esfuerzo vertical (Figura 7). Analizando el sistema de fuerzas, (4); (5), del trapecio de las Figuras 7 y 8 puede deducirse la influencia de las propiedades del geosintético, deformación en tracción  $\epsilon$ , y rigidez del mismo  $J$ , así como las del suelo, a través de su ángulo  $\theta$  en la capacidad de soporte. Para que se produzca este efecto debe existir una deformación plástica en la base; es decir, roderas con espesores cercanos a los 100 mm. (Barry R. , 2010). Esta función en capas de base no será la que predomine, pero sí lo hará entre subbase y explanada.

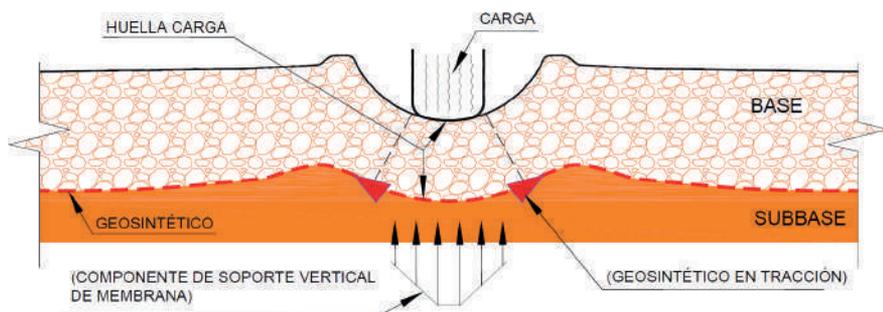


Figura 7. Efecto membrana debido al geosintético.

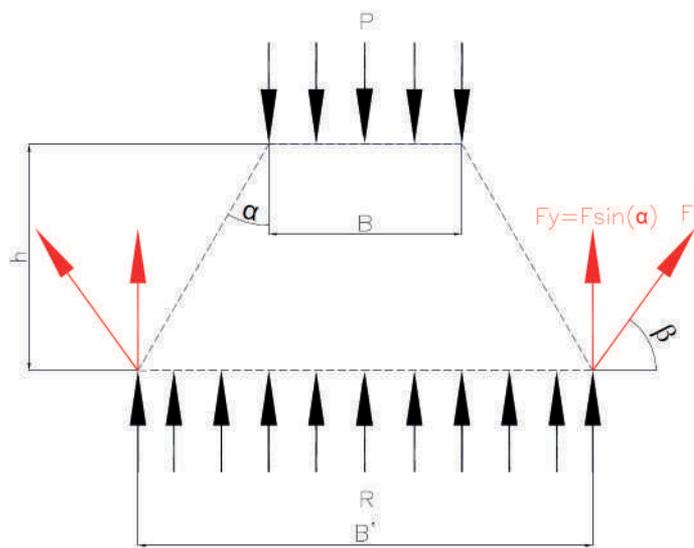


Figura 8. Sistema de fuerzas en la interacción suelo-geosintético.

$$P = \frac{B'R + 2F \sin \beta}{B}; \quad F = f(\epsilon, J) \tag{4}$$

$$B' = B + 2h \tan \alpha \tag{5}$$

Las diferentes investigaciones han ido derivando, a la par, en diversos métodos de cálculo de carácter más tecnológico. También algunas instrucciones o guías han incorporado su uso. Dentro de los métodos más extendidos están el de Giroud y Noiray, (Giroud & et al., 1981), éste con limitaciones en cuanto a ciertas propiedades de la explanada y Giroud y Han (Giroud & et al., 2004), más apropiado para el refuerzo de bases granulares y mejora de explanadas (NDOT, 2016). Guías como la AASTHO indican los beneficios del uso de geosintéticos pudiéndose efectuar cálculos indirectos a través de la guía (AASTHO, Guide for Design of Pavement Structures, 1993) incluyendo los beneficios del geosintético, con la inclusión del TBR (Traffic Benefit Ratio) y BCR (Base Course Reduction) mencionándose también otro parámetro como el PBR (Pressure Benefit Ratio) (NDOT, 2016), método también mencionado en el manual de geosintéticos de la FHWA (FHWA, 2008). También contempla estos cálculos la normativa del USACE (USACE, 2003), así como la normativa rusa (Росавтодор, 2003) y francesa (GTR, 2000), ésta limitada al uso de geotextiles sobre explanadas.

El refuerzo con geosintéticos se utiliza en carreteras pavimentadas permanentes en dos áreas de aplicación principales: el refuerzo de la base y la mejora de la explanada. En las aplicaciones de refuerzo de la base, los geosintéticos se colocan dentro o en la parte inferior de las capas no tratadas de un sistema de pavimento flexible y mejoran la capacidad de carga del pavimento bajo tráfico. En las aplicaciones de mejora de explanadas, los geosintéticos se utilizan para construir una plataforma de construcción sobre explanadas débiles ( $CBR \leq 3$ ) para permitir la circulación de los equipos y facilitar la

construcción del sistema de pavimento sin deformaciones excesivas de la explanada (FHWA, 2008).

## 3. Métodos de cálculo.

### 3.1. Método de Giroud y Noiray (1981)

Este método supone que la presión del neumático se aplica sobre un área rectangular en la superficie y se distribuye de manera uniforme sobre áreas rectangulares progresivamente mayores con la profundidad. Las áreas de distribución están definidas por líneas que descienden alejándose de los cuatro bordes de la carga superficial. La pendiente de estas líneas, desde la posición vertical, se denomina ángulo de distribución de esfuerzos.

El diseño de este método se basa en el efecto de membrana del geosintético. El espesor requerido de la capa no reforzada se determina primero en función de la capacidad portante prevista del suelo bajo una carga dada (rango típico de aplicación para este método de diseño  $30 \text{ kN/m}^2 < c_u < 90 \text{ kN/m}^2$ ). El método asume que:

- El material de la sub-base corresponde a un suelo homogéneo, al

menos a una profundidad  $H_{\min}$ , suficiente para el desarrollo de una zona plástica.

- La carga corresponde a un eje simple equivalente.
- El material de relleno tiene las propiedades necesarias para asegurar una distribución adecuada de la carga aplicada, lo que quiere decir un valor de CBR mayor a 80.
- La sub-base está saturada y tiene baja permeabilidad (prácticamente incompresible, y ángulo de fricción nulo).
- Las propiedades mecánicas del geosintético se describen por el comportamiento de este a la tensión-deformación.

La distribución de la carga se considera con una distribución piramidal, que es similar al método 2:1, cuando  $\alpha = 26.6^\circ$  (recomendado a utilizar por Giroud y Noiray).

Cuando la sección está reforzada, se considera la reducción del espesor y se modifica el ángulo de distribución piramidal con respecto a la profundidad de la presión  $p_{ec}$  (ver Figura 9), aplicada en su superficie para las condiciones con y sin refuerzo geosintético, ecuaciones 6 y 7.

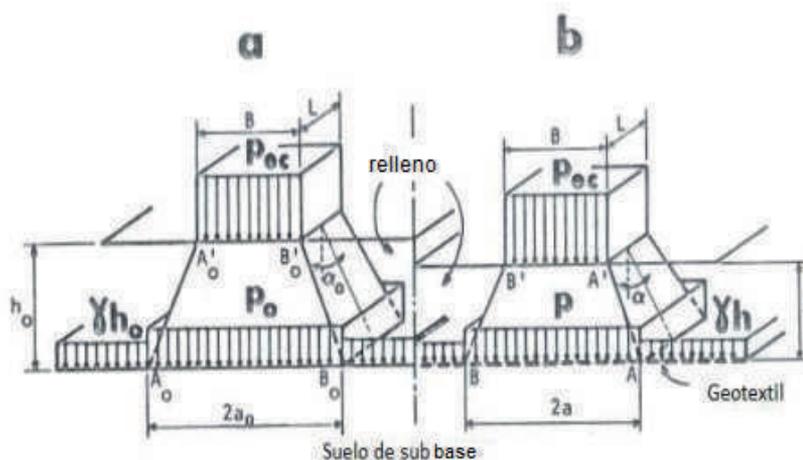


Figura 9. Distribución de la carga en la capa de base: (a) caso sin geosintético, (b) caso con geosintético

- Sin geosintético:

$$p_{ec} * L * B = (B + 2 * h_o * \tan\alpha_o)(L + 2 * h_o * \tan\alpha_o)(p_o - \gamma * h_o) \quad (6)$$

- Con geosintético:

$$p_{ec} * L * B = (B + 2 * h * \tan\alpha)(L + 2 * h * \tan\alpha)(p - \gamma * h) \quad (7)$$

Donde, haciendo referencia a la Figura 8:

**B y L:** dimensiones del área de carga (m).

**$\gamma$ :** peso volumétrico del material granular ( $N/m^3$ ).

**$h_o, h$ :** espesor de la capa granular sin refuerzo geosintético y con refuerzo geosintético, respectivamente (m).

**$\alpha_o, \alpha$ :** ángulo de distribución piramidal de carga sin y con refuerzo geosintético (en grados).

**$p_o, p$ :** presión en la capa granular para la estructura sin y con refuerzo geosintético (Pa).

Para la condición sin refuerzo, la máxima capacidad de soporte  $q_e$  (8), correspondiente al límite elástico de la sub-base se puede determinar también como:

$$q_e = \pi c_u + \gamma h_o \quad (8)$$

Donde la capacidad de soporte aumenta hasta la capacidad última  $q^*$  en la condición reforzada es (ecuación 9):

$$q^* = (\pi + 2) * c_u + \gamma h \quad (9)$$

**$c_u$ :** cohesión no drenada del suelo sin fricción (Pa).

Los autores también desarrollaron sus propios gráficos para facilitar el cálculo usando las ecuaciones anteriores; en los gráficos se recogen curvas para cada valor de resistencia superior ( $Ev_{2_{sup}}$  o CBR) requerido de la plataforma, en abscisas el módulo de compresibilidad inferior ( $Ev_{2_{inf}}$ ), y/o CBR y en ordenadas el espesor del relleno necesario para alcanzar la resistencia superior requerida.

Para las soluciones reforzadas, para cada tipo de geomalla, se basan en ensayos realizados con la utilización de geosintéticos que presentan una tensión máxima al 2 % de deformación de 8 KN/m para determinar el espesor de la capa de relleno para estructuras reforzadas (para profundidades de huella de 7,5 cm a 10,0 cm).

### 3.2.Método de Giroud y Han (2004)

El método de Giroud y Han supone un área de contacto circular equivalente de la rueda y un área de presión circular en la sub-base. Por lo tanto, la superficie de distribución de esfuerzos forma un cono en lugar del trapecoide supuesto por el método G&N.

Este método establece el cálculo del espesor de pavimento necesario para que la carga aplicada no provoque el fallo de la subbase (10). Este método fue desarrollado a partir de un análisis semi-empírico, considerando la capacidad de

carga de la subbase y mediante la adopción de factores de corrección obtenidos de ensayos realizados en modelos de gran escala desarrollados en la Universidad de Carolina del Norte (EE.UU.). El método considera como parámetros de cálculo el Índice CBR de la base y de la subbase, el radio del área cargada, la deformación vertical admisible, el número de ciclos para el vehículo de diseño y la carga aplicada en la superficie.

El efecto dinámico de las cargas del tráfico es considerado mediante la determinación del ángulo de distribución de esfuerzos en la capa de base, adoptando una expresión empírica obtenida a partir del análisis de los resultados de ensayos cíclicos, en función del espesor de base, del radio del área solicitada, de la rigidez del refuerzo geosintético y de la relación entre los CBR's de los suelos de base y sub-base.

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006 \cdot J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{1 + 0.204(R_E - 1)} \times \left[ \frac{\frac{P}{\pi \cdot r^2}}{\sqrt{\left(\frac{s}{f_s}\right) \cdot \left\{1 - 0.9 \cdot \exp\left[-\left(\frac{r}{h}\right)^2\right]\right\}} \cdot N_c \cdot f_c \cdot CBR_{SL}} - 1 \right] \cdot r \quad (10)$$

Donde:

- h** Espesor requerido (m).
- J** Módulo de estabilidad de la abertura del refuerzo (mN/°).
- N** Número de repeticiones por eje.
- P** Carga aplicada por rueda individual (kN).
- r** Radio equivalente del área de contacto neumático/pavimento (m) calculado por la expresión:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot p}}$$

**CBR<sub>B</sub>** CBR de la base.

**CBR<sub>SL</sub>** CBR de la sub-base.

- p** Presión de inflado del neumático de diseño.
- s** Deformación vertical permitida en el camino preferencial de rueda (mm).
- P** Presión de contacto del neumático (equivale a la presión de inflado aproximado).
- R<sub>E</sub>** Relación entre módulo de la base y el de la sub-base:

$$R_E = \min\left(\frac{3.48 \cdot CBR_{base}^{0.3}}{CBR_{SL}}, 5.0\right)$$

el valor máximo de R<sub>E</sub> corresponde al menor valor entre la relación de los CBRs de la base y la sub-base y 5.0.

Esta relación debe ser verificada para posibilitar la compacta-

ción del material de la base de forma eficaz sobre suelos con baja capacidad de soporte.

- N<sub>c</sub>** Factor de capacidad de carga variable en función de la presencia o no del refuerzo (US. Army Corps of Engineers, 2003).  
 N<sub>c</sub> = 3,14 para estructuras no reforzadas  
 N<sub>c</sub> = 5,71 para geomallas  
 N<sub>c</sub> = 5,14 para geotextiles de refuerzo

### 3.3. Método AASHTO 1993

En el proceso de diseño de pavimentos flexibles AASHTO 93 (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, 1993), las cargas de tráfico, frecuencia, dirección, factores de carga de camiones, capacidad portante de la explanada, nivel de confianza, deterioro del pavimento, sistema de materiales en pavimento, espesor del material, capacidad de drenaje y la contribución estructural son todos considerados en el análisis. El objetivo del análisis es determinar el valor del número estructural requerido (SN) para el proyecto de apoyo al nivel previsto de tráfico. El SN se calcula multiplicando el espesor de capa individual (D), por los coeficientes estructurales (A), y coeficientes de drenaje (m) para cada capa de material. Luego se suma el valor de cada capa para conseguir un SN total para el pavimento flexible en su sección transversal.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + \dots + a_n \times D_n \times m_n$$

El beneficio que proporcionará un geosintético se explica fácilmente en el cálculo de SN, incorporando un Coeficiente Estructural del Geosintético (GSC, Geosynthetic Structural Coefficient) en los cálculos. En EE.UU., un geosintético es usualmente colocado en la superficie de la explanada, por tanto, la ventaja estructural es típicamente aplicada a las capas base o sub-base colocadas y compactadas junto con el geosintético. Sin embargo, estudios recientes han mostrado que este sistema se beneficia de la incorporación de los geosintéticos en la sección transversal. Otras capas de pavimento (es decir, la superficie de asfalto y capas de base) reciben un beneficio similar a la capa construida directamente sobre el geosintético. El cálculo de SN para un pavimento flexible de dos capas que se construirá sobre un geosintético utilizando una base granular y una capa superficial bituminosa es el siguiente:

$$SNG = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 \times GSC$$

El Coeficiente Estructural del Geosintético (GSC, Geosynthetic Structural Coefficient) es el factor de corrección usado en el diseño de pavimentos flexibles. Tiene en cuenta la contribución estructural de un geosintético específico en función de la resistencia del subsuelo, la carga de tráfico y otras variables específicas del proyecto. No es un valor constante y es diferente para cada geosintético calibrado según el método de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO 1993. El valor GSC se aplica a la capa del sistema de pavimento directamente por encima

del geosintético para los cálculos del número estructural (SN).

El estado de la práctica para el diseño de las capas de base reforzadas con geosintéticos en los pavimentos flexibles se ajusta a la Guía de la AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento (1993) y a la Norma AASHTO R 50-09 (2018) (AASHTO, Standard Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures, 2009), antes denominada AASHTO PP 46-01 (2001). Tiene una base empírica y modela el pavimento flexible como una serie de capas que tienen una capacidad estructural combinada para soportar un cierto número de cargas de tráfico (ESAL's) con niveles mínimos predeterminados de serviciabilidad y confianza estadística. Basado en la guía de diseño de la AASHTO, 1993, la contribución estructural global del refuerzo geosintético se considera en el diseño a través de cualquiera de los siguientes factores que se derivan de datos empíricos específicos del producto:

- Ratio de Beneficio de Tráfico (TBR, Traffic Benefit Ratio): es la relación entre el número de aplicaciones de carga necesarias para alcanzar un estado de fallo específico en un pavimento reforzado con geosintéticos y el número de aplicaciones de carga necesarias para alcanzar el mismo estado de fallo en una sección no reforzada (es decir, la misma sección de pavimento, pero sin refuerzo).
- Factor de reducción de la capa de base (BCR, Base Course Re-

duction factor): reducción porcentual del espesor del material de la base o subbase en un pavimento reforzado en comparación con uno no reforzado, dado que la capacidad de tráfico para un estado de fallo definido sigue siendo la misma.

La norma AASHTO R 50-09 (2018) proporciona directrices para el diseño de capas base reforzadas con geosintéticos en pavimentos flexibles. Las directrices son de naturaleza empírica y los pasos de diseño siguen un procedimiento que fue reportado inicialmente por Berg et al. (2000).

En la Guía de la AASHTO de 1993, el diseño del pavimento se basa en una referencia a la capacidad de servicio del sistema de pavimento expresada a través de mediciones de rugosidad y diferentes tipos de deterioro (agrietamiento, ahuellamiento, etc.). La capacidad de carga de un pavimento se expresa con el número de cargas axiales estándares equivalentes (ESAL) a las que la deformación permanente en la superficie alcanza un valor específico (profundidad de rodera permitida). El número de cargas axiales estándares equivalentes (ESALs) se calcula utilizando la ecuación de la AASHTO, 1993, que se muestra a continuación.

Usando la ecuación 11, la Relación de Beneficio de Tráfico (TBR) puede ser aplicada directamente al número calculado de ESALs o puede ser usada para ajustar el número estructural. El Factor de Reducción de la Capa Base (BCR) se utiliza para reducir directamente el espesor requerido de la capa base no reforzada.

W18 = Tráfico admisible (ESAL's)

ZR = Desviación normal estándar; basada en la Tabla 4.1 de la parte I de las directrices de la AASHTO (1993), para una fiabilidad del 95%, la desviación normal estándar,

ZR = -1,282.

So = Desviación estándar = 0,49

SN = Número estructural

ΔPSI = Cambio en el índice de servicio actual

MR = Módulo resiliente de la subbase o base considerada (psi)

### 3.4. Método Empírico-Mecanicista (AASHTO, 2020)

Una iniciativa importante en el ámbito del diseño de firmes fue la decisión de la AASHTO de desarrollar y, posteriormente, adoptar un método empírico-mecanicista para el diseño de sistemas de firmes. La iniciativa fue concebida a principios de los años 90 y dirigida por los comités de la AASHTO con la ayuda de instituciones de investigación. La AASHTO publicó en 2008 la primera edición de la Guía de Diseño Empírico Mecanicista de Firmes (MEPDG, del inglés Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide). El método empírico-mecanicista para el diseño de sistemas de firmes ha ido ganando impulso en las últimas décadas, y el concepto fue incluido en la Guía de Diseño de Firmes de la AASHTO 1993, publicándose la tercera edición en 2020 (AASHTO, Mechanistic-Empirical Pavement Design

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07 \tag{11}$$

Guide-A Manual of Practice-, 2020) junto con el software AASHTOWare Pavement ME Design.

Los principales pasos del MEPDG son:

- Selección de la estructura del pavimento (capas, tipo de materiales, espesores).
- Caracterización del clima, el tráfico y los materiales para la ubicación específica del proyecto.
- Análisis del modelo mecánico de la estructura del pavimento.
- Cálculo de las respuestas críticas (tensiones, deformaciones).
- Evaluación de los daños acumulados y de las dificultades asociadas con referencia a los criterios preestablecidos.
- El diseño puede requerir varias iteraciones considerando diferentes estructuras de pavimento

El diseño se completa cuando, para una sección específica, los niveles de deterioro no superan los niveles aceptables para la vida útil de la estructura.

Los componentes importantes del método MEPDG son: (1) un modelo mecánico para calcular las respuestas críticas del sistema, y (2) modelos empíricos de comportamiento o de daños que relacionan las respuestas críticas con los niveles de daños y de fatiga acumulados.

Los modelos de deterioro son el otro componente principal de la solución basada en la M-E y relacionan las respuestas críticas con los niveles de daño y avería acumulados. El desarrollo de los modelos de deterioro requiere secciones instrumentadas a escala real que sean transitadas hasta el fallo.

En concreto una serie de investigadores, patrocinados por la

AASHTO, están realizando ensayos sobre probetas a gran escala, con amplia instrumentación, en pavimentos flexibles y rígidos, para poder evaluar características distintivas del geosintético que consideran esenciales para la modelización adecuada del material y, en última instancia, para mejorar las predicciones del comportamiento de los pavimentos con capas base reforzadas. Hasta el momento, los resultados son para una serie de materiales geosintéticos muy concretos y tan solo reseñables los resultados para pavimentos flexibles.

## 4. Conclusiones

Este artículo expone los puntos más relevantes del uso de los materiales geosintéticos en el refuerzo de bases y mejora de explanadas, intentando mostrar que desde el diseño hasta la puesta en obra debe “visualizarse” el conjunto geosintético - suelo como un material compuesto y no como dos materiales individuales.

Para un diseño adecuado, se deben tener en cuenta tres factores importantes: naturaleza y características mecánicas del suelo, naturaleza y características mecánicas del geosintético e interacción suelo-geosintético.

El uso de los geosintéticos para el refuerzo de bases y mejora de explanadas es una técnica sostenible que permite diseños alternativos, utilizando suelos o materiales granulares de calidad inferior, consiguiendo así una optimización de los recursos naturales que permitieran un comportamiento idóneo del conjunto.

Para el caso concreto del refuerzo de bases y mejora de explanadas y teniendo en cuenta las condiciones de contorno, se pueden

indicar tres mejoras principales con el uso del geosintéticos:

- Restricción lateral entre base y subbase: reducción de las deformaciones laterales por efecto del geosintético, mediante fricción (geotextiles) o soporte interlock (geomallas). Esta función es la principal en esta aplicación.
- Aumento de la capacidad portante del conjunto: analizando el mecanismo de rotura de un suelo mediante carga distribuida vertical se pueden establecer las zonas de mayor cortante dentro de los materiales. Así en una situación sin geosintético la línea rotura conformada por los tramos rectos (estados activos y pasivos) y la espiral logarítmica (zona de plasticidad radial) dependerá de la carga, y propiedades del suelo, cohesión y ángulo de rozamiento interno,  $c$  y  $\phi$ . La inclusión del geosintético hará que la línea de rotura se vea modificada, reduciendo la zona plástica.
- Efecto membrana: establece una separación entre los materiales y mejora la capacidad de distribución del esfuerzo vertical.

## 5. Bibliografía

1. AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. AASHTO. (2009). Standard Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures. Association of State Highway and Transportation Officials.
3. AASHTO. (2020). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide-A Manual of Practice-. AASHTO.
4. Barry R. , C. (2010). Geogrids in roadway and pavement systems.
5. Cuelho, E., Perkins,S. and Morris,Z. (2014). FHWA/MT-14-002/7712-251, Relative Operational Performance of Geosynthetics Used as Subgrade Stabilization. MDT Montana Dept of Transportation.
6. Cuenca Payá, A. (s.f.). APLICACIONES DEL ENSAYO TRIAXIAL. Departamento de Ingeniería de la Construcción.Universidad de Alicante.
7. FHWA. (2008). FHWA NHI-07-092: Geosynthetic Design & Construction Guidelines. FHWA.
8. Giroud , J., & et al. (2004). Design method for geogrid-reinforced unpaved roads. I: Development of design method. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
9. Giroud, J., & et al. (1981). Geotextile Reinforced Unpaved Road Design. ASCE Journal Geotechnical Journal.
- 10.GTR. (2000). Guide Technique Réalisation des remblais et couches de forme. LCPC.
- 11.Haliburton, T., & et al. (1981). The Use of Engineering Fabrics in Transportation Related Applications. Final Report under Contract No. DTFH-80-C0094. Federal Highway Administration.
- 12.Jewell, R. (1980). Some effects of reinforcement on soils. PhD. Thesis, University of Cambridge.
- 13.Koerner, R. (1998). Designing With Geosynthetics. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs.
14. Little, P. (1992). TD: The design of unsurfaced roads using geosynthetics. University of Nottingham.
- 15.McGown, A., & et al. (1981). Strain behaviour of soil-fabric model embankment. 10 th Int. Conference Soil Mech. Fdn. Engng., (págs. 739-744 vol.3). Stockholm.
- 16.NDOT. (2016). Use of GEOGRID for Strengthening and Reducing the Roadway Structural Sections. Nevada Department of Transportation.
- 17.Palmeira, E. (1987). The study of soil-reinforcement interaction by means of large scale laboratory tests. PhD. University of Oxford.
- 18.Росавтодор. (2003). Recomendaciones de uso materiales geosintéticos en construcción y reparación carreteras. Moscú.
- 19.USACE. (2003). Use of Geogrids in Pavement Construction. U.S Army Corps of Engineers. Department of Army.
- 20.Ziegler, M. (2017). Application of geogrid reinforced constructions: history, recent and future developments. Precedia Engineering, 42-51. ❖

# El patrimonio de las obras públicas, ese tesoro oculto



**Juan Antonio Mesones**

*Ingeniero de caminos, canales y puertos*

A lo largo de su historia, el ser humano ha dejado una huella indeleble sobre el medio que habita. Primero fueron las manifestaciones más primarias, en forma de rudimentarios útiles y herramientas vinculadas a su afán de supervivencia, después vinieron las expresiones artísticas, pinturas rupestres, monumentos megalíticos y otros elementos ornamentales que reflejaban también emociones y sentimientos y más adelante, con el desarrollo de la inteligencia fue aprendiendo a coexistir con el entorno hostil que le rodeaba y percibió la posibilidad de modelarlo poco a poco a su conveniencia, al menos a nivel local, cuando se hizo sedentario.

Surgieron así, sin duda, las primeras obras de ingeniería rústica, materializadas en maderas, piedras y/o tierras sueltas, y construidas a imagen y semejanza de los que la propia naturaleza sugería como fruto de la acción natural de los agentes atmosféricos y sus consecuencias sobre el propio terreno.

El descubrimiento del fuego dio lugar a la entrada en liza de los materiales cerámicos y más tarde a la transición a la edad de los metales, con lo cual se pudieron materializar las primeras conducciones y canalizaciones de origen artificial que fueron precursoras de las infraestructuras de abastecimiento y saneamiento actuales en los núcleos de población. Todo ello se fue perfeccionando progresivamente con el paso de los años, y el descubrimiento de nuevos elementos, como la rueda, que permitieron mejorar considerablemente tanto las técnicas constructivas como los propios artificios diseñados para el transporte y la elevación de grandes pesos o fluidos como el agua, indispensables para el sustento vital de los seres humanos, animales y plantas.

Las grandes civilizaciones de la edad antigua alcanzaron así un notable nivel de desarrollo, y dejaron también su huella en forma de grandes construcciones y obras hidráulicas y viarias, tanto en Europa, como en Oriente medio y otros continentes. Y

así fue como año a año, lustro a lustro, década a década, y siglo a siglo, la humanidad fue construyendo un legado inigualable de construcciones varias, de índole ornamental, funcional y en muchos casos mixto, que ha perdurado hasta nuestros días, hasta el punto en que, imbuidas en el paisaje, se han mimetizado en su entorno hasta pasar inadvertidas, cayendo en muchos casos en el más profundo olvido, con la salvedad de las grandes obras que sobrevivieron a la destrucción de las guerras, el expolio continuado, o a la demolición indiscriminada o incluso selectiva, todo un despropósito cultural, impropio de una sociedad evolucionada y civilizada.

Todavía hoy se mantienen estas prácticas, y no solo en los países o regiones menos desarrollados del planeta, pero lo que más preocupa quizá no es eso, con lo grave que es sí mismo, sino la escasa concienciación que subyace tras ello, y la exasperante lentitud con que se acometen las escasas actuaciones de rehabilitación que se han puesto en

marcha, y no digamos nada ya de la ausencia de emprendimiento a nivel de actuaciones preventivas.

Los ingenieros de nuestra era hemos tenido la suerte de vivir una época de cierto esplendor constructivo, pero a la vez estamos siendo testigos del escaso empeño que se pone en la conservación de las infraestructuras recientemente creadas. Es más, los ciudadanos que las utilizamos caemos muchas veces en el error de pensar que siempre han estado ahí, y dejándonos llevar por la pulsión política y mediática, solo nos preocupa el siguiente hito a batir, bien sea un nuevo tramo de autovía, una nueva línea férrea de alta velocidad, o un moderno hospital de zona cercano a nuestro lugar de residencia...

Con las obras pretéritas ocurrió en su día, y sigue ocurriendo hoy lo mismo, y si nadie lo remedia acabarán desapareciendo de la faz de la tierra sin que las generaciones futuras puedan admirar su elegancia y su funcionalidad a escala real, contemplando su verdadera dimensión espacial y/o temporal, y la riqueza social que atesoran, puesto que tras cada una de ellas hay sin duda multitud de historias humanas que cristalizaron en su concepción, diseño y posterior construcción.

Castilla La Mancha y Madrid albergarán el próximo mes de septiembre el primer congreso internacional sobre patrimonio de las obras públicas. Entre otras muchas cosas, el congreso pretende ser un toque de atención para revertir esta triste situación, y hacernos pensar que, siendo un patrimonio de todos, la conservación, el mantenimiento y su puesta en valor, es también tarea de todos, sin excepción. La elección de la región castellanomanchega no ha sido casual, ya que de entrada posee dos capitales de provincia, Cuenca y Toledo, declaradas como ciudades patrimonio de la humanidad, que ten-



Puente sobre el Río Cabriel, en el puerto de Contreras (Antigua N-III)

drán un importante protagonismo en el congreso.

Pero es que además, la geografía de la región, que jalona la transición entre la submeseta sur y el valle del Guadalquivir y las llanuras costeras de la comunidad valenciana y Murcia, está salpicada de obras emblemáticas desde el punto de vista patrimonial, y no solo en el apartado de las infraestructuras viarias, que históricamente comunicaban la corte de Madrid con las regiones costeras y/o periféricas, en el que su situación estratégica ha hecho que todos los corredores viarios tradicionales, excepto el del noroeste, discurran en alguno de sus tramos por el territorio de la cuna del Quijote.

Toledo es el conjunto histórico más amplio de España, donde quedan vestigios de civilizaciones desaparecidas, como son la romana, visigótica, civilización judía, Edad Media Cristiana, Califato de Córdoba (aunque Toledo fue Taifa, es decir, independiente del califato). Todo esto hace que Toledo haya sido desde sus inicios una ciudad con gran influencia en la cultura de la humanidad. Tuvo una gran importancia y fue ejemplo de convivencia durante la Edad Media de las culturas judía,

musulmana y cristiana, de ahí la denominación de «Ciudad de las tres culturas».

Por su parte, la ciudad de Cuenca, cuyos orígenes se remontan hasta el paleolítico superior, se consolidó pronto gracias a su singular ubicación topográfica, pero no fue hasta la conquista musulmana, momento en el que se construyó la fortaleza de Qũnka, cuando tuvo su origen la ciudad actual. El rey cristiano Alfonso VIII la conquistó en 1177 y le otorgó el Fuero de Cuenca, uno de los más prestigiosos de la historia de Castilla.

Cuenca conserva un importante patrimonio histórico y arquitectónico en toda la ciudad antigua, donde destacan edificios como la Catedral o las Casas Colgadas, que se han convertido en el icono de la ciudad. Asimismo, la provincia posee obras públicas de notable valor patrimonial, como el conjunto del puerto de Contreras, las famosas “Emes” de Belinchón o el adoquinado de la travesía de Saelices.

Las vías de comunicación han sido desde tiempos inmemoriales las que han posibilitado el contacto entre los pueblos. Así, el primer trazado del corredor actual desde Madrid a

Valencia nace del concepto territorial del brillante Ingeniero Lucio del Valle, el cual diseñó un nuevo paso a través del puerto de Contreras, entre el centro y el este de España, ya en siglo XIX y completamente vigente en la época actual.

Tras acabar la carrera de Ingeniería de Caminos en 1839, Lucio del Valle tuvo su primer destino profesional en Valencia. Bajo su dirección se finalizó la denominada carretera de Las Cabrillas entre Saelices y Requena, dónde está incluido el paso del puerto de Contreras con el puente sobre el río Cabriel.

Siguiendo en la misma línea, cabe citar la mejora y adaptación de los caminos reales, como el puente de La Venta de la Vega cerca de Almansa, que aún se mantiene en servicio actualmente dentro de un tramo de la autovía A-31. Está situado en otro de los itinerarios pensados en el siglo XIX para la conexión entre Madrid y Valencia que, pasando por Albacete, también se bifurcaba hacia Alicante y Cartagena. A su paso por Almansa se ejecutó el citado puente de la Venta de la Vega, también denominado del Charco o del Pantano, dado que se ubica aguas arriba del embalse de Almansa.

Por otra parte, dentro de la región surgieron en su momento nuevas necesidades sociales en el entorno de las vías pecuarias, como la cañada real segoviana en Alcolea de Calatrava con su famoso puente de las Ovejas; las comunicaciones urbanas simbolizadas por el puente árabe sobre el río Henares en Guadalajara, o la pavimentación de los caminos, que tiene uno de sus máximos exponentes en el adoquinado ancestral de la calzada en Saelices. Todos ellos, junto con la monumentalidad de los puentes sobre el Tajo en Toledo, dan fe del enorme patrimonio histórico de las obras públicas lineales en Castilla La Mancha.



Puente de la Venta de la Vega, en la A-31 a su paso por Almansa.



Puente de las Ovejas, también llamado de las Merinas, en el río Guadiana, en Alcolea de Calatrava (Ciudad Real)



Puente árabe sobre el río Henares en Guadalajara. © Ayuntamiento de Guadalajara



Adoquinado de la travesía de Saelices, en la provincia de Cuenca.

El puente de las ovejas o puente de las merinas, como es llamado por los lugareños, es un puente sobre el río Guadiana en Alcolea de Calatrava (Ciudad Real) que se construyó para el recuento de las ovejas que venían del norte por la Cañada Real Soriana hasta el Valle de Alcudía, donde los pastores pagaban el tributo del "Portazgo". Todavía hoy, dicho valle, ubicado al sur de la provincia mantiene intacto el hábito de la trashumancia del ganado lanar.

Tres grandes ojos, mas uno pequeño inicial conforman una sólida estructura pétreo que presenta un singular estrechamiento de la sección transversal en su zona central,

a modo de embudo, cuyo propósito aparente era el de poder contar las ovejas que trasegaban entre las márgenes del río.

El puente sobre el río Henares se considera la construcción más antigua de la ciudad de Guadalajara. Aunque se podría considerar sustentado sobre un cimiento de la época romana, parece que su construcción se debe a los planes de obras andalusíes llevados a cabo durante la conquista de España por Abderramán III.

Muy similar en su estructura al tramo de la carretera de las "Emes" en Belinchón, se encuentra el tramo

adoquinado que también se conserva en Saelices, situado 30 kilómetros más hacia el este, en sentido Valencia, y con notables similitudes con la propia travesía antigua de Requena. Junto con los restos de carretera en los alrededores del puente de Arganda, constituye sin duda una interesante muestra de la ingeniería de caminos del siglo XIX y es casi milagroso que se haya conservado prácticamente intacto hasta nuestros días.

Del mismo modo que el patrimonio heredado de las vías de comunicación, la defensa del legado hidráulico pasa por la preservación de las obras que constituyen hitos significativos de la intervención de los ingenieros hidráulicos a lo largo de la historia, con un criterio de sostenibilidad del medio aunado al aprovechamiento de los distintos usos del agua.

Es el caso del conjunto hidráulico de la ciudad de Toledo, datado entre el S. I y II d. C., el cual constaba de la Presa de Alcantarilla en el río Guajaraz en Mazarambroz, del canal o specum de 38 kilómetros que incluía el acueducto-sifón de 50 metros de altura, permitiendo salvar el enorme desnivel del río Tajo, hasta llegar a los depósitos de almacenamiento (castellum aquae) en la conocida como Cueva de Hércules.



Vista Norte de los Restos del Acueducto sobre el Río Tajo © Viceconsejería de Cultura, y Deportes JCCM. [www.cultura.castillalamancha.es](http://www.cultura.castillalamancha.es).

La zona más compleja del abastecimiento romano a Toledo estaba en las proximidades de la ciudad, debido a las acusadas pendientes para salvar la depresión del Tajo. Los ingenieros romanos lo solucionaron empleando las denominadas torres "acuarias" (había 4 torres acuarias cerca de Toledo). Estas torres están aún en pie en el paraje de La Sisle, probablemente palabra derivada del latín silva que significa zona boscosa. En la vista norte de la foto se marca la ubicación que ocupaba el acueducto del conjunto hidráulico de abastecimiento de agua al Toledo romano.

Actualmente se puede visualizar, en la conocida carretera del Valle, el arranque del estribo izquierdo del acueducto romano del sistema hidráulico de abastecimiento de aguas a la ciudad en aquella época, que se componía de un tramo descendente, un tramo horizontal (vientre de sifón) y un tramo ascendente.

La presa romana de Alcantarilla, localizada en el término municipal de Mazarambroz, presenta una tipología de presa de gravedad de 21 metros de altura, formada por un gran caballón de tierras protegido aguas arriba por una pantalla de diversas fábricas pétreas, que se prolongaba a ambos lados del terraplén.

La denominada Cueva de Hércules, no es sino un recinto de época romana conectado con el conjunto de cisternas o depósitos de agua, que facilitaba el abastecimiento a la ciudad de Toledo. Rodeada de mitos y múltiples leyendas a lo largo de la historia, es un exponente destacado de la Ingeniería romana en Toledo.

Una de las primeras referencias históricas sobre el palacio o cueva de Hércules data del poeta romano Marcial donde hace referencia a la misma en uno de sus poemas, conocido como "Epigramas" (Libro IV, Epigrama 55). En el poema, Marcial



Restos del arranque del Acueducto en margen izquierdo del Tajo.



Presa Romana de Alcantarilla en Mazarambroz (Toledo) © Viceconsejería de Cultura, y Deportes JCCM. [www.cultura.castillalamancha.es](http://www.cultura.castillalamancha.es).

elogia a un amigo suyo que vive en Toledo, y menciona la cueva de Hércules como uno de los atractivos ingenieriles de la ciudad. En particular, Marcial describe la cueva como un lugar donde Hércules descansó después de realizar una de sus tareas, y se refiere a la misma como una “santa gruta”.

También de época romana es el sistema de abastecimiento a la seca llanura manchega con la presa de Consuegra en cabecera, la más larga de la Hispania romana con sus más de 600 metros. Está situada a 5,3 km al suroeste del municipio de Consuegra, entre los parajes de La Alcantarilla al norte y la Vega de la Magdalena al sur, en el margen derecho del cauce del río Amarguillo. Este río es afluente del río Cigüela, gregario a su vez del río Guadiana y recoge las aguas procedentes de las Sierras de la Calderina y del Reventón, formaciones orográficas situadas en las estribaciones orientales de los Montes de Toledo.

Los restos más significativos que se pueden apreciar hoy corresponden al eje de presa (parte frontal) dispuestos en dirección noroeste-sureste, entre un meandro formado por el río y el camino de Urda.

Otros sistemas de abastecimientos urbanos han sido las fuentes, como la monumental Fuente Grande de Ocaña (Toledo) construida en el siglo XVI, y declarada monumento nacional.

Formada por fuente, lavadero y abrevadero, rematado por una espectacular arquería, fue construida entre 1573 y 1578 para abastecer a una población de 3.000 habitantes y 15.000 caballerías. La captación de agua subterránea se realizó mediante la técnica árabe de los “qanats”.

De las grandes obras de regulación destacamos el canal de María Cristina en Albacete. Con una longi-



Cueva de Hércules en Toledo Capital. © Autor: José Mº Moreno Santiago / Consorcio Toledo



Presa Romana de Consuegra, en la provincia de Toledo



Fuente Grande Ocaña, en la provincia de Toledo. © Viceconsejería de Cultura, y Deportes JCCM. [www.cultura.castillalamancha.es](http://www.cultura.castillalamancha.es).



Canal de María Cristina en Albacete. © URVIAL. Ayuntamiento de Albacete



Molino de Molemocho en el cauce del Guadiana en las Tablas de Daimiel (Ciudad Real).

tud de 32 kilómetros, inició su construcción en el arranque del siglo XIX con el objetivo de la desecación de la cuenca endorreica de los Llanos de Albacete.

El canal de María Cristina se empezó a construir en 1804, bajo el reinado de Carlos IV, para desaguar hacia el Júcar las aguas encharcadas que rodeaban Albacete. Gracias a este drenaje se habilitaron para uso

agrícola numerosas tierras antes baldías y se mejoraron las condiciones sanitarias para la población. En la actualidad sigue funcionando como colector urbano.

Y para cerrar el reportaje no podemos dejar sin mencionar el destacado nivel alcanzado por la ingeniería hidráulica en el dominio del caudal de agua de los ríos durante el paso de los siglos con la construcción de molinos y batanes hidráulicos, como el que se muestra en la imagen del molino de Molemocho en Daimiel (Ciudad Real).

Situado a la entrada del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, el Molino de Molemocho es un antiguo molino hidráulico, como tantos otros que en su día sirvieron, aprovechando el abundante caudal de agua, para moler el grano. Este molino es mencionado en las Relaciones Topográficas de Felipe II, en el año 1575.

El molino de Molemocho es uno de los muchos molinos harineros y bataneros que se construyeron en las orillas del río Guadiana, algunos se remontan a la época romana, otros fueron edificados durante el periodo musulmán, y los más modernos se construyeron tras la conquista cristiana de la región en el siglo XIII.

Entre ellos cabe citar, en la provincia de Ciudad Real, los Molinos de La Máquina, Nuevo de Curenga, Griñón, La Quebrada ó Gaspar, Flor de Ribera, Calatrava y el de Puente Navarro, que da nombre a la presa del mismo nombre, que remansa las aguas de las tablas de Daimiel.

Cita: *“En el legado de la obra pública, por tanto, confluyen un pasado y un presente excepcionales, así como un futuro que también podría serlo”* Crespo, Daniel (2019) “La enjundia de los patrimonios de las Obras Públicas”. *Libro de Actas del I Foro Patrimonio Cultural de la Obra Pública*. CICCIP: Madrid, p. 37. ❖

# 23º Congreso Español y 5º Iberoamericano sobre Sistemas Inteligentes de Transporte

**Los sistemas ITS están colaborando activamente para conseguir una movilidad más sostenible.**

Durante los pasados 28 al 30 de marzo tuvo lugar en Sevilla una nueva edición del Congreso Español ITS que esta ocasión era la edición 23ª y se hacía coincidir con la 5ª edición del correspondiente Congreso Iberoamericano sobre Sistemas Inteligentes de Transporte. Conviene recordar que las 5 primeras ediciones del Congreso Español fueron promovidas desde el Comité ITS de la ATC y luego se pasó el testigo a ITS España cuando la nueva Asociación comenzó a tener vida propia.

El transporte sostenible es una prioridad global y así cada vez son más las ciudades, regiones y países que apuestan por sistemas de transporte inteligentes (ITS) para lograr una movilidad más sostenible. La aplicación de estas tecnologías ha permitido reducir la congestión del tráfico, minimizar las emisiones nocivas para las personas y para el planeta y mejorar la seguridad en la movilidad para todos los ciudadanos. En este contexto, se han centrado los trabajos del Congreso en reflexionar sobre el futuro de la movilidad sostenible



nible y la transformación que los sistemas ITS están generando en dicho objetivo. En este artículo, se recogen las principales aportaciones realizadas en el reciente congreso ITS celebrado en Sevilla del 28 al 30 de marzo de 2023.

Durante los días de congreso, más de 300 congresistas se reunieron en 21 sesiones técnicas para

discutir el papel transformador de los sistemas inteligentes de transporte en la movilidad sostenible en España e Iberoamérica. La calidad de los debates y la diversidad de las perspectivas compartidas son un testimonio del compromiso de la comunidad ITS en el impulso de soluciones innovadoras para el transporte sostenible.

### Sesión de APERTURA

La ceremonia de Apertura estuvo presidida por D. Mario Muñoz-Atanet Sánchez, Viceconsejero de Fomento, Articulación del Territorio y Vivienda en la Junta de Andalucía y contó con las intervenciones de Doña Rosario Cornejo Directora Técnica de la Dirección General de Carreteras del MITMA, Doña Ana Luz Jiménez Ortega, Coordinadora de la Dirección General de Tráfico en Andalucía, D. Javier Fernández, Director General de Movilidad del Ayuntamiento de Sevilla y D. Sebastián de la Rica Castedo, Presidente de ITS España.

Durante la misma, además de las presentaciones institucionales, se desarrolló un emotivo homenaje en recuerdo a D. José Ramón Pérez de Lama que tuvo un papel importante en el impulso de los ITS en Andalucía y España. También se contó con saludos on line por parte de la Presidenta de ITS Iberoamérica Claudia Franchesca de los Santos Tavárez así como del Director de ITS Europa-ERTICO Joost Vantomme.

### Sesión S11: INFRAESTRUCTURA INTELIGENTE I

Presidida por Dña. Rosario Cornejo, Directora Técnica de la Dirección General de Carreteras del MITMA, contó con las ponencias: Proyectos ITS singulares en Madrid en desarrollo, presentada por Dña. Lola Ortiz, Directora General de Planificación e Infraestructuras de Movilidad del Ayuntamiento de Madrid; Modelos de Gestión de la Red de Autopistas Concesionadas a Banobras, de D. Diego Flores Sánchez, Director de Gestión de Recursos y Operación de Bienes Concesionados, Dirección General Adjunta Fiduciaria Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. (México). Piloto de protección de ciclistas en el Gipuzkoa Living Lab, a



cargo de Dña. Silvia Pérez Directora General de Carreteras, Diputación Foral de Gipuzkoa.

### Sesión 12: INFRAESTRUCTURA INTELIGENTE II

Bajo la presidencia de D. Juan Carlos García Argente, Director Gerente en Consorcio de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla. Contó con las ponencias: Los ITS y la Explotación de Carreteras por Dña. Rosario Cornejo Directora Técnica de la Dirección General de Carreteras del MITMA; Uso de datos de vehículos conectados para el mantenimiento de infraestructuras y para mejorar la seguridad vial por Dña. Katja Héctor desarrolladora comercial de Mercedes-Benz AG. Además de la comunicación libre: Proyecto Túnel Internacional de Femern entre Dinamarca y Alemania: el proyecto de infraestructura más grande de Dinamarca por D. Samuel Mansilla Pablos de SICE.

### Sesión 13: ITS PARA EL PAGO POR USO EN CARRETERAS

Presidida por D. Julio García Ramón Vicepresidente de ITS ESPAÑA Contó con la ponencia:

Pago Por Uso en el Territorio Histórico de Bizkaia por D. Imanol Pradales Gil, Diputado Foral de Infraestructuras y Desarrollo Territorial de la Diputación Foral de Bizkaia. Y las comunicaciones libres siguientes: Transición a FreeFlow y nuevos retos por D. Ramón Fuentes de Kaspch; Ventajas de los nuevos sistemas de detección y clasificación de vehículos basados en la fusión de IA y LIDAR 3D por D. Javier Rojo Fernández de Indra Sistemas; Solución de pago online en el peaje de Ruta 27 Costa Rica por Dña. Ruth Gomar de Globalvia; Sistemas de pago de peaje interoperables por D. Francisco Medina de Tecsidel ITS (Grupo EYSA).

### Sesión 14: SISTEMAS COOPERATIVOS I

Presidida por D. Ramiro Martínez, Director del Centro de Gestión del Noroeste. Dirección general de Tráfico. Contó con la ponencia: Estructuración del flujo de vehículos conectados y autónomos mediante un esquema distribuido de decisión, por D. Felipe Jiménez Alonso Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid. Y las comunicaciones libres siguientes: Proyecto Steroid para vehículos autónomos por Dña. Ángeles Echevarría



de Openvia; Movilidad automatizada en el interior del puerto mediante vehículo articulado por D. Jesús Murgoitio Larrauri de Tecnalia Research & Innovation; Gestión y Evolución de los servicios de vehículo conectado. Interfaces de usuarios. Por D. José Manuel Martínez del Grupo Etra.

### Sesión 15: ARQUITECTURA DE DATOS Y MODELOS PARA LA MOVILIDAD

Presidido por D. Jaime Huerta Secretario de ITS ESPAÑA, contó con las ponencias: Hub de Datos y Modelos: Comentarios, Ideas y Sugerencias por D. Jaume Barceló. Catedrático Emérito de Universidad UPC; Hub de Datos y Modelos. Plan de Trabajo por D. Enrique Villalonga, Director del Departamento de Transportes y Movilidad CPS. Y las posteriores intervenciones en el coloquio de: D. José Lozano. EYSA y D. Josep Maria Aymami. AIM-SUN

### Sesión 16: SISTEMAS COOPERATIVOS II

Bajo la presidencia de D. Ramiro Martínez Director del Centro de Gestión del Noroeste. Dirección general

de Tráfico Contó con las ponencias: Tendencias actuales a nivel global en la conducción autónoma y conectada por D. Francisco Sánchez Pons Director en CTAG; DGT 3.0 y los Sistemas ITS que lo hacen posible por D. Antonio Granado Director del Centro de Gestión de Tráfico de Sevilla de la DGT. Y las comunicaciones libres siguientes: ¿Cómo usar los datos recogidos por los vehículos conectados para impulsar una movilidad segura y sostenible? Por D. Javier Burrieza de la empresa Nommon Solutions and Technologies; Bizkaia Connected Corridor por Dña. Olga Alonso de la Fundación Tecnalia R&I; Gestión de tráfico y vehículos conectados a Sistemas Cooperativos y Movilidad Autónoma por D. José Luis Guerrero Rosado de Indra Sistemas; Vehículo conectado. DGT 3.0 y otros casos de éxito por D. Ignacio Bahamonde de Kapsch.

### Sesión 20: ITS PARA LA GESTIÓN DE LA MOVILIDAD

Presidida por D. Felipe Arias Director General de Movilidad Junta de Andalucía, contó con la ponencia: Modernización y Automatización de un Sistema de Peaje de alta afluencia en un entorno urbano por D. Daniel Moffa Director de Tecnología e Inno-

vación de los Corredores Viales SA (Argentina). También con las comunicaciones libres siguientes: Los drones y sus contras medidas como una herramienta más para la gestión de la movilidad por D. Jorge Martos del GRUPO ETRA; Proyecto Smartworker Innovar para salvar vidas por Dña. M<sup>o</sup> Luisa García de Globalvia y Dña. Ángela Montánchez de Openvia.

### Sesión 21: ITS PARA LA GESTIÓN DEL TRÁFICO INTERURBANO

Sesión presidida por D. Vicente Gallego Muñoz Vicepresidente de la Federación Iberoamericana de Ingenieros de Tránsito donde se expuso la ponencia: Plan ITS del SCT por Dña. Lourdes Puigbarraca Subdirectora General Servei Catalá de Trànsit. De la Generalitat de Catalunya a quien acompañó José Carlos García López también del Servei. Posteriormente se presentaron las comunicaciones libres siguientes: Diseño e implantación de un sistema de ámbito nacional y normalizado para la gestión ITS en Polonia. Retos y soluciones por D. Gustavo Molina Méndez de Aluvisa; Definición y desarrollo de protocolos de gestión de la movilidad basados en sistemas ITS por D. Jose Luis Faubel Cava CPS Infraestructura Movilidad y Medio Ambiente; ITS en la implantación y explotación de carriles BUS VAO no segregados por Dña. Rocío López de la Vara de Tekia Ingenieros; Gestión de eventos en plataforma ITS por D. Francisco Córdoba de Tecsidel; Proyecto Galileo Solidarity Lanes por D. Pablo Rivas Salmón de GMV.

### Sesión 22: ZONA DE BAJAS EMISIONES I

Presidida por D. Antonio Alfeirán, Director de Movilidad del Concello de A Coruña. Contó con la ponencia: Lecciones aprendidas y Recomen-

daciones en el despliegue de ZBEs presentada por Dña. Marta Alonso Anchuelo, Directora General de Gestión y Vigilancia de la Circulación del Ayuntamiento de Madrid. También las comunicaciones libres siguientes: Experiencias concretas en el despliegue de ZBE por D. Juan Francisco Monzón del Grupo Etra; Casos de éxito y aspectos prácticos para cumplir la nueva regulación de Zonas de Bajas Emisiones en España RD 1052/2022 de calidad del aire por Dña. Almudena Justo de la empresa Suez; Tecnología de última generación para mejorar la sostenibilidad ambiental y uso de las carreteras por D. César Mateos Santiago de Indra Sistemas.

### **Sesión 23: RED INTEGRADA: MOVILIDAD AUTÓNOMA Y CONECTADA**

Presidida por Dña. Rosa Blanco, Responsable de ADAS, Automated Driving & Smart Mobility de CTAG. Contó con las intervenciones de: Irene Saco López de CTAG, Iván Huerta de I2cat, Marta Ingelmo Gómez de CI-DAUT y Laura Esteban de ITENE.

### **Sesión 24: ZONA DE BAJAS EMISIONES II**

Presidida por D. Antonio Alfeirán Director de Movilidad del Concello de A Coruña. Contó con la ponencia: Gestión de la ZBE en función de modelos de emisiones por D. Juan Luis Beresaluze Pastor, Jefe de Servicio de Medioambiente del Ayuntamiento de Alicante. Posteriormente se presentaron las comunicaciones libres siguientes: Despliegue de gemelos digitales para la gestión inteligente de la movilidad por D. Josep M. Aymamí Alcarraz de Aimsun; Modelos de explotación de las Zonas de Bajas Emisiones, una visión de ingeniería por Dña. Raquel Genicio Ponce de Tekia Ingenieros; Zonas de Bajas Emisiones: Tecnología

para cumplir con los estudios pre y post implantación, por D. Raúl López de Neural Labs.

### **Sesión 25: CROADS SPAIN 2025**

Presidida por D. Ramiro Martínez Director del Centro de Gestión del Noroeste y Cantábrico de la DGT. Contó con la intervención de: D. Francisco Sánchez Pons Director de Electrónica e ITS de CTAG, D. Gustavo Molina Consultor ITS e I+D de ALUVISA, D. José Lozano Gerente Comercial División Tráfico de EYSA. Se presentó el plan de trabajo para seguir impulsando la iniciativa CROADS en España en los próximos años.

### **Sesión 26: ITS MEDIO AMBIENTE Y ZBE**

Presidida por D. Juan José Muñoz Alfonso, Jefe del Servicio Técnico de Movilidad. Se presentaron las comunicaciones libres siguientes: Nuevas tendencias en los sistemas de bicicleta pública europeos por D. Artur Munne Biosca de Fifteen; Gestión de la distribución urbana de mercancía en el ámbito de la ZBE en el ámbito de Benidorm por D. Manuel Climent Poveda del Ayuntamiento de Benidorm; ¿Y después qué? Claves para el futuro de las ZBE. Por D. Carlos Del Brío del grupo TEVA; Visión artificial aplicada a la monitorización del cambio modal en las ZBE por D. Alejandro García Martín de Bosch Service Solutions.

### **Sesión 27: ITS & SMART CITIES**

Presidida por Dña. Marta Alonso Anchuelo Directora General de Gestión y Vigilancia de la Circulación del Ayuntamiento de Madrid. Comenzó con la ponencia: Sistema de Información Geográfico con Despacho

Asistido por Computadora (CAD GIS) orientado a la Movilidad basado en BIG DATA. Aplicado a Lima y Callao por D. Juan Huertas Angulo, Especialista en Obras x Impuestos y Sistemas Inteligentes de Transporte con la Colaboración en Perú. Posteriormente las comunicaciones libres siguientes: Diseño de ZBE para Smart Cities Los sistemas LPR como elemento clave de diseño por D. Nuno Pereira de Lector Vision; Soluciones eficientes para la movilidad en el despliegue de Smart Cities en ciudades de tamaño medio por D. Jesus Alba de PMUS; Soluciones integrales de movilidad por D. Alberto Solís del grupo EYSA.

### **Sesión 28: DATOS Y MODELOS PARA LA GESTIÓN DE LA MOVILIDAD**

Presidida por D. Jaume Barceló, Catedrático Emérito de Universidad UPC, contó con la ponencia: Monitorización de la movilidad en la Comunidad de Madrid mediante datos de telefonía móvil y validaciones en el sistema de transporte público por D. Francisco Javier Gómez López Director de Planificación Estratégica y Explotación del Consorcio Regional de Transportes de Madrid. También las comunicaciones libres siguientes: Herramientas para el análisis de Datos por Dña. Nerea Rojas de Clúster de Movilidad y Logística de Euskadi; Visiones para una plataforma de información de la movilidad regional por D. Ignacio Galindo Pinto de PTV Group Iberia; Gestión de datos de tráfico interurbano por la Dirección General de Tráfico por D. Manuel Ocaña de TEKIA Ingenieros; Desarrollo de un modelo de predicción de tráfico en situaciones complejas y eventos especiales, y su aplicación como herramienta para la toma de decisiones de movilidad viaria por D. Cayetano Ruiz de Alarcón de CPS; Big data e inteligencia artificial para la gestión del transporte público por D. Rubén Arti-



me Torres de Nommon Solutions and Technologies.

### **Sesión 29: DEFINICIÓN DE UN SISTEMA NACIONAL DE TICKETING**

Con la presidencia de D. José Manuel Mayo. Director de Tecnología del Consorcio de Transportes de la Bahía de Cádiz, y las intervenciones de D. Jaime Huerta Gómez de Mero-dio de ITS España; D. Arturo Corbí . NTT Data; D. Juan Huertas Angulo. ITS Perú.

### **Sesión 30: ITS PARA LA GESTIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO**

Presidida por Eluska Renedo Illa-regi, Directora Ejecutiva Autoridad del transporte de Gipuzkoa. Contó con la ponencia: Mejorando el transporte público en el área metropolitana de Barcelona por Dña. Carme Fábregas Directora de Sistemas e Innovación de ATM Barcelona. Además de las comunicaciones libres siguientes: Sistema de priorización semafórica para la metroguagua de Las Palmas de Gran Canaria por D. Fernando Lopez Santos de SINCOSUR Ingeniería Sostenible; Brisbane Metro Management

System: Plataforma integral para la gestión del servicio de transporte público por Dña. María Ángeles García Sanz de Indra Sistemas; Innovación y mejora en los datos para la gestión del transporte de pasajeros por carretera por D. Aleix Anducas Caus de Nexus Geographics.

### **Sesión 31: TENDENCIAS EN EL TICKETING PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO I**

Presidida por D. Gregorio Haro Javaloyes, Jefe del Área de Sistemas, Red de Ventas y Atención al Cliente ATMV. Generalitat Valenciana. Contó con la ponencia de D. José Manuel Mayo, Retos y Soluciones de Ticketing en Andalucía responsable de Sistemas del Consorcio de Transporte de la Bahía de Cádiz y Red de Consorcios de Andalucía. Las comunicaciones libres presentadas fueron: Soluciones de Ticketing para BRTs por D. Gonzalo Sánchez Arias de Arce Mobility Solutions (Kontron Transportation); Sistema de control de accesos de los buses interurbanos del Consorcio de Transportes de Andalucía por Dña. Marta Jambrina de SICE; La llegada de la digitalización al Transporte Público en España por D. Javier Saralegui Sánchez de NTT DATA.

### **Sesión 32: TENDENCIAS EN EL TICKETING PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO II**

Presidida por D. Manuel Moreno Piquero Coordinador en la Red de Consorcios de Andalucía. Contó con la ponencias: Mugi Virtual: la visión de Gipuzkoa para 2023 por Dña. Rafaela Romero Pozo Diputada de Movilidad y Ordenación del Territorio de la Diputación Foral de Gipuzkoa; Evolución del sistema de validación EMV en Metro de Sevilla por D. Luis Coronil responsable de mantenimiento del Metro de Sevilla. Y las comunicaciones libres siguientes: Ticketing como Servicio en Transporte Público por D. Alberto Rodríguez de Masabi; Validación de QR online en el Barcelona Bus Turistic por D. Jaime Sanz Herrero de GMV.

### **Sesión 33: TENDENCIAS EN EL TICKETING BASADO EN CUENTA. ABT**

Presidida por D. Antonio Babío Corporates & CIB Team Getnet Europe (Grupo Santander). Se expusieron las comunicaciones libres siguientes: Implementación de pago EMV Multi-pasarela Multi Adquiriencia en Santiago de Chile por D. José Ignacio Magro Gutiérrez de Indra Sistemas; Evolución del pago EMV en el trans-

porte público por D. Tomás García Zaragoza de Worldline Iberia; EMV sin ataduras. Por D. Antonio Carmona de Sfey; Cómo aplicar reglas en pago EMV más allá del billete sencillo. Por D. Antonio Pizzano de Inetum.

### Sesión 34: DEL ABT AL MOBILITY AS A SERVICE

Moderada por D. José Martín CEO BUSMATICK

Contó con las ponencias: Plataforma abierta MaaS por D. Carlos Alocén, responsable del área de Ciudadanía y Digitalización de Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza;

Sistema para la digitalización del Ticketing Informal en el Transporte por D. Jhon Ramos Malpica, Vicepresidente de ITS Perú. Las comunicaciones libres presentadas fueron las siguientes: El Ticketing basado en Cuenta (ABT) y la interoperabilidad como estrategias claves para la Digitalización del Transporte Público hacia la Movilidad como Servicio en España por D. Arturo Corbí de NTT DATA; Casuística de la implantación de los sistemas ABT a partir de varias experiencias de la ingeniería de proyecto. El caso de Ciudades Conectadas por D. Eliseo Álvarez de Tekia Ingenieros; Plataforma de Mobility as a Service Multiciudad por D. Miguel Angel Montes de Indra Sistemas; Tendencias del MaaS y un caso de uso aplicado a Sevilla por D. Armando Heras de MeeP.

### Sesión final: Premios ITS y Clausura del Congreso.

Previamente a la Clausura del Congreso, se entregaron como cada año los Premios ITS 2023, otorgados a las Personas, Proyectos e Instituciones seleccionadas por la Asociación ITS España a propuesta de sus Consejeros.

Los premiados en 2023 han sido:

Entidades: TUSSAM (Empresa Municipal de Transportes de Sevilla); Por ser una empresa líder en la aplicación de los ITS en España. TEKIA, Ingeniería ITS que cumple 25 años.

Proyectos: Proyecto de implantación de un sistema de peaje en un tiempo récord, 16 plazas con 189 vías en 90 días (bajo restricciones pandémicas). Concesionaria de Rodovias S.A. (Brasil). Sistemas de Información Geográfico con Despacho Asistido por Computadora (CAD-GIS) orientado a la Movilidad basado en BIG-DATA COLABORACION SAC. (Perú). Proyecto CROADS CORUÑA. Concello de A Coruña proyecto más completo en Europa en Sistemas Cooperativos en entorno Urbano. Proyecto de digitalización del Ticketing informal. ITS Perú simplificación máxima del ABT de forma accesible a todo tipo de servicios. Automatización de un sistema de peaje de alta afluencia en un entorno urbano. Corredores Viales S.A. (Argentina)

Personas: Ramiro Martínez (DGT), Ignacio Gonzalez Posadas (Mastercard), Ana Paúl Tomillo (Centro Tecnológico de Automoción de Galicia), Manuel Moreno (Red de Consorcios de Transporte de Andalucía).

Finalmente, el Vicepresidente de ITS España, Julio García Ramón, acompañado de las autoridades de la DGT, Junta de Andalucía y Ayuntamiento de Sevilla, sintetizó en pocas frases los retos del sector ITS que pueden servir como resumen del contenido del Congreso: 1.- Necesidad de avanzar en la Digitalización de nuestras carreteras y en utilizar en su Explotación la gran cantidad de información generada en su uso. 2.- Las tecnologías para el pago por uso de las carreteras han demostrado estar más que maduras. Corresponde a los responsables en la Gestión acertar en su aplicación en el probable despliegue en los próximos años. 3.- Los

Sistemas Cooperativos ya han madurado en España. Corresponde entrar en una fase de coordinación entre responsables de aplicación para proceder a su despliegue en la próxima década. 4.- Comienza a identificarse nichos de mercado reales en lo relativo a la conducción automatizada. En España se dispone de numerosas capacidades tecnológicas que sin duda sabrán aprovecharlo. 5.- La Gestión de la Movilidad Urbana e Interurbana responde a las premisas de Seguridad y Respeto al Medio Ambiente, y los ITS han demostrado ser una herramienta indispensable. Las Zonas de Bajas Emisiones van a transformar la Gestión de la Movilidad en nuestras ciudades y nos encontramos en pleno proceso de definición. 6.- Tras la gran penetración del pago EMV en el Transporte Público, el siguiente objetivo para facilitar el servicio a los ciudadanos es el ABT (Pago basado en Cuenta). 7.- La Digitalización del Transporte Público Metropolitano en España está muy madura. Los pasos importantes a dar para la impulsar la Movilidad como Servicio MaaS son de carácter institucional y organizativo y ya empezamos a tener buenas experiencias públicas y privadas en España.

Por último es importante destacar que durante los tres días del Congreso, ha funcionado de forma permanente el Shuttle sin conductor de CTAG realizando un circuito dentro de FIBES para los asistentes. La consolidación de experiencias como ésta y de la tecnología que las facilitan, muestran que los vehículos sin conductor empezarán a ser partes de nuestras vidas diarias más pronto que tarde.

“EL SABER NUNCA HA ESTADO TAN CERCA”



Descubre más en

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

# Estado del arte en estándares de diseño viarios.

## Grupo de estudio 4.1. PIARC

Durante los días 14, 15 y 16 de marzo se han celebrado en el Auditorio Ciudad de León, las “XI Jornadas Nacionales de Vialidad Invernal”.

La Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) creó hace algo más de tres años nuevos grupos de estudio y de trabajo de temáticas diversas con el fin de conocer mejor el funcionamiento de las Administraciones nacionales de carreteras, sus sistemas organizativos y procedimientos, sus criterios de diseño y la manera de enfocar problemas concretos. El propósito último es que los países miembros puedan ofrecer a la ciudadanía un mejor servicio apoyado en el acervo técnico de un conjunto de Administraciones de carreteras con larga trayectoria en el diseño de carreteras. El conocimiento de las prácticas y de los estándares técnicos se vuelve así más transparente y abre sus ventanas al exterior. Esto no es más que un paso en un proceso imparable de acercamiento entre países y culturas que, durante siglos, han ido por caminos diversos, si bien la influencia de unos sobre otros se deja ver en determinados aspectos normativos y prácticos.

El grupo de estudio denominado Task Force 4.1 comprende profesionales de cinco continentes y de paí-

ses como Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chequia, Chile, China, España, Francia, Italia, Japón, México, Polonia, Portugal y Sudáfrica. Cabe reseñar que las referencias de diseño de estos y otros países no profundizan por igual en el estudio y la definición de los distintos parámetros, y, además, el límite entre lo que se considera cómodo y seguro y lo que no obviamente varía de un país a otro. Por otra parte, la barrera lingüística en determinados casos es significativa, como es el caso de la impenetrable norma de trazado china. Es como sentar juntas a comer criaturas procedentes de distintos ecosistemas. La experiencia es al tiempo sorprendente y enriquecedora.

El estudio del estado del arte en los estándares de diseño se ha estructurado en dos etapas:

1. Revisión de la literatura. Esta primera etapa, ya completada, ha consistido en la recopilación de información y de referencias bibliográficas oficiales nacionales, ya sean normativas o recomendaciones, directamente relacionadas con los ámbitos que son objeto de estudio. En concreto, se trata de saber a qué se llama carretera en los distintos países, sus categorías, las velocidades con las que circulan los vehí-

culos que las usan, los tipos de vehículos que encontramos en ellas y los parámetros principales que inciden en su diseño, sin entrar aún en fórmulas ni valores geométricos. Esta primera etapa ha dado lugar a un documento denominado Estado del arte de las normas de diseño de carreteras. Revisión de la AIPCR, publicado a finales de 2022. El documento, de libre acceso, se encuentra disponible en la siguiente página web de la AIPCR:

<https://www.piarc.org/es/pedido-de-publicacion/38657-es-Estado%20del%20arte%20de%20las%20normas%20de%20dise%C3%B1o%20de%20carreteras>

2. Informe completo. Esta segunda etapa se encuentra actualmente en avanzado proceso de redacción, y tendrá como propósito analizar con detalle los parámetros que adoptan las normativas nacionales de la muestra en los principales elementos de diseño. Habrá un capítulo general donde se expongan los criterios seguidos en la elaboración de sus respectivos modelos de diseño, y otro capítulo más específico donde se realizará de manera pormenorizada la com-

parativa y el análisis entre los modelos, identificando analogías y diferencias entre países. Si bien esto ya es adelantar acontecimientos, este capítulo de contenido comparativo se ha dividido en los siguientes subcapítulos:

- o Distancia de visibilidad de parada
- o Distancia de adelantamiento
- o Distancia de decisión
- o Visibilidad en intersecciones y glorietas
- o Radios mínimos en curvas horizontales
- o Rampas y pendientes máximas y mínimas

El informe completo tiene prevista su publicación para este otoño de 2023.

En cuanto al documento de revisión de la literatura, ya publicado, cabe señalar los siguientes apartados importantes:

1. Introducción – presenta los motivos y el propósito del trabajo acometido, así como la estructura general en la que se vertebra el documento.
2. Metodología – explica cuál ha sido el material considerado, así como las ideas generales expuestas en el documento. Para la recogida de información se ha utilizado un cuestionario con preguntas relativas a los factores que influyen en los parámetros de diseño de carreteras, incluyendo no solo aspectos geométricos, sino también tecnológicos y humanos.
3. Investigación sobre los estándares de diseño en carreteras. Incluye una breve descripción del material existente por países, que engloba tanto normas y re-

comendaciones como informes y artículos. Adicionalmente, señala cuáles son las referencias más conocidas a nivel mundial y enumera algunas publicaciones de la AIPCR que tratan cuestiones específicas como son los factores humanos, el uso del territorio y la seguridad, el diseño de túneles, los límites de velocidad y los big data. Aparecen, asimismo, entre publicaciones de la Conferencia de Directores de Carreteras temas muy sustanciosos, como son las distancias de seguridad o las carreteras que perdonan.

4. Revisión general de los estándares de diseño de carreteras, que constituye el capítulo principal del documento e incluye además notas relativas a las normas y recomendaciones. La información viene presentada separadamente por países. La comparativa que aparece se realiza a nivel muy elemental. Expone los aspectos que influyen en el diseño de las carreteras, así como los parámetros ligados al funcionamiento del vehículo y factores humanos. Cabe considerar que en el diseño de carreteras vienen implicados aspectos geográficos, jerárquico-funcionales, técnicos y también los constitutivos de componentes complementarios, como son vías laterales, intersecciones, enlaces y glorietas.
5. Nuevas tecnologías en los estándares de diseño de carreteras. Consiste en una descripción del desarrollo de los sistemas de transportes viarios, nuevas tecnologías para vehículos autónomos, además de cambios en la movilidad y adaptación de la infraestructura existente, así como sus futuras posibilidades y la manera de abordarlas en los estándares de diseño de carre-

teras. Presenta criterios elementales relativos a los componentes y clases que constituyen los vehículos autónomos conectados, así como el impacto general de los big data en el diseño de carreteras.

6. Conclusiones y siguientes pasos. Se exponen aspectos como la antigüedad de la documentación de referencia, la frecuencia de actualización, su disposición en uno o varios documentos, así como los aspectos que suelen estar tratados con mayor y menor profundidad. Entre los últimos, se encuentran aquellos relacionados con las nuevas tecnologías.

Como apéndice se incluyen, por una parte, el cuestionario utilizado para la recopilación de datos procedentes de normas nacionales (Anexo A), y por otra, la comparación de la información detallada procedente de la revisión de las normas nacionales de diseño (Anexo B).

El propósito más inmediato de estos documentos es proporcionar información útil en general a profesionales que trabajen en el ámbito del diseño de carreteras. En caso de que una Administración de carreteras decida actualizar o simplemente revisar sus estándares de diseño en carreteras, los documentos producidos por este grupo de estudio sin duda serán una referencia fundamental y redundarán finalmente en una mejora de la calidad de muchas infraestructuras nuevas y modernizadas. ❖



XXVII<sup>TH</sup> WORLD  
ROAD CONGRESS  
PRAGUE 2023



**750**

COMPENDIOS

**3 000 m<sup>2</sup>**

DE EXHIBICIÓN

**35+**

PABELLONES NACIONALES

**500+**

ESTUDIANTES INVITADOS

**600+**

DELEGADOS CHECOS  
Y ESLOVACOS

**5**

DÍAS DE PROGRAMA TÉCNICO  
EN 5 DÍAS DE SESIONES  
PARALELAS

**4 000+**

DELEGADOS

**300+**

COMPAÑÍAS

**15+**

VISITAS TÉCNICAS



*NOS vemos en Praga !*

# XXVII Congreso Mundial de la Carretera de PIARC

“Juntos de nuevo en la carretera”

Praga, 2-6 de octubre de 2023

Desde su creación, PIARC ha tomado la iniciativa de reunir a la comunidad mundial de la carretera en sus congresos para compartir conocimientos y experiencias y estrechar lazos entre su variado grupo de miembros. Aunque el Plan Estratégico dirige y orienta las actividades de PIARC durante un ciclo determinado, su principal objetivo de la cooperación internacional y la transferencia de tecnología se ha mantenido siempre.

Durante este ciclo, el Plan Estratégico ha comprendido, entre otros, cuatro temas, en concreto:

- Administración de carreteras;
- Movilidad;
- Resiliencia de la infraestructura y ARROW- RIGHT
- Seguridad y sostenibilidad.

El programa del Congreso incluye la presentación de los resultados del trabajo realizado por los 24 comités y grupos de trabajo de PIARC, así como varias sesiones y talleres especializados sobre temas de interés actuales y en el futuro y una gran exposición en la que las administraciones de carreteras, proveedores de equipos y servicios, consultores y organizaciones relacionadas con la carretera estarán presentes para compartir sus opiniones sobre la situación y el futuro de las carreteras y el del transporte por carretera.

Están invitados expertos del mundo entero, investigadores y profesionales, a presentar artículos en respuesta a nuestra convocatoria y presentar sus puntos de vista sobre las mejores prácticas en el sector de la carretera sobre los aspectos sociales, técnicos y económicos.



El Congreso Mundial de la Carretera verá el retorno a los eventos presenciales y a nosotros, los profesionales del sector de la carretera nos proporcionará una oportunidad única de debatir la información sobre las tendencias actuales y desafíos en las carreteras y los transportistas de carreteras del mundo entero.

El evento presentará las tendencias y tecnologías más modernas del transporte en carretera y contará con la participación de 3 000 a 5 000 delegados, principalmente del extranjero. Durante la reunión de Praga, a su vez, tendrá lugar la llamada reunión ministerial de todos países miembros de la Asociación, es decir, casi 130 países y compartirán sus observaciones y desafíos en la modernización de su estructura nacional de carreteras.

[www.wrc2023prague.org/es/](http://www.wrc2023prague.org/es/)

# Simposio Nacional de Firmes SNF2023



Valencia, 18 al 20 de abril de 2023

Del 18 al 20 de abril de 2023, organizado por la Asociación Técnica de Carreteras, se desarrolló el II SIMPOSIO NACIONAL DE FIRMES.

Este II Simposio Nacional de Firmes es la continuación del que se celebró en el año 2018 en Madrid. Aunque previsto para 2022 las circunstancias por todos conocidas hicieron que se retrasase no más de seis meses, si bien el momento

de celebración es anterior al XXVII Congreso Mundial de la Carretera de PIARC, permitiendo así ser la antesala preparatoria de éste para el Comité Español.

Bajo el lema “La respuesta de los firmes al Nuevo Enfoque: SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA”, durante dos días y medio se presentaron los últimos avances y conocimientos sobre el diseño y

construcción de firmes, haciendo hincapié en los desarrollos sostenibles y en la innovación.

El congreso se desarrolló a través de una conferencia inaugural, tres conferencias invitadas, siete sesiones técnicas y tres mesas redondas. Además, se habilitó un espacio en el hall del auditorio para la exposición de posters sobre temas de investigación facilitando a



Sesión inaugural, de izquierda a derecha, Alberto Bardesi, Juan José Potti, Javier Piedra, Roser Obrer, Álvaro Navareño, M<sup>a</sup> Rosario Cornejo y Javier Payán.

sus autores la comunicación con los asistentes. Por último, se habilitó espacio para la colocación de stands por parte de las empresas.

La sesión inaugural corrió a cargo de la Directora General de Obras Públicas, Transportes y Movilidad de la Generalitat Valenciana, D<sup>a</sup> Roser Obrer, a la que acompañaron D. Javier Piedra Director General de Carreteras de la Diputación de Valencia, D. Alvaro Navareño, Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del MITMA, D<sup>a</sup> María del Rosario Cornejo, presidenta de la ATC, D. Juan José Potti, presidente de ASEFMA, D. Francisco Javier Payán de Tejada, presidente del Comité de Firmes.

A continuación, la Conferencia Inaugural corrió a cargo de D<sup>a</sup> Roser Obrer que expuso "La red de carreteras de la Generalitat Valenciana y sus firmes" en la que presentó las políticas que se están desarrollando desde la Generalitat en materia de conservación de carreteras y especialmente también de firmes, así

como los pasos dados en materia de digitalización de carreteras.

La primera mesa redonda sobre "Conservación y Sostenibilidad" fue dirigida por D<sup>a</sup> María del Rosario Cornejo, presidenta de la ATC, y en ella participaron Juan José Potti, presidente de ASEFMA, Jose Manuel Blanco, de la DG Carreteras del MITMA, D. Manuel Romana, de la Universidad Politécnica de Madrid y D. Vicente José Collado de la Generalitat valenciana.

La mesa comenzó con la emisión del video "Importance of Road Maintenance for the Decarbonisation of Road Transport" de gran interés y actualidad en los momentos actuales que sirvió de introducción del debate posterior. La mesa transcurrió teniendo como tema principal la importancia de una buena conservación para reducir la huella de carbono debida al transporte.

A continuación la Conferencia Invitada I estuvo dedicada a las actividades de PIARC. Ante las dificultades de Agenda de las personas

invitadas, tanto el Presidente del Comité Internacional de Firmes, Mr. Margo Briessinck, como los miembros, Mrs Gina Ahlstrom, secretaria de habla inglesa del comité y D. Mario Jair, representante argentino, nos hicieron el honor de remitirnos sus conferencias grabadas en sendos videos que se emitieron para su visionado por todos los asistentes. Margo expuso las actividades del comité internacional durante el ciclo que ahora termina y los documentos emitidos como resultado de éstas. Mario Jair expuso su visión sobre el tema de los reciclados en el campo de las mezclas asfálticas, presentando la situación en Europa, estados Unidos y Argentina, la posición de PIARC al respecto y las tendencias de futuro. Por último, Gina habló sobre el Uso responsable de mezclas asfálticas con alto contenido de RAP (de hasta el 50%) en los USA.

Como colofón hubo un pequeño debate sobre la importancia de pertenecer a PIARC por parte de Fco. José Lucas, secretario del comité nacional y miembro del comité



Coloquio con los miembros del Comité Internacional de PIARC: Fco. José Lucas, Javier Payán y José del Cerro

internacional, José del Cerro, secretario de habla hispana del comité internacional y Javier Payán de Tejada, presidente del comité español y miembro del comité internacional, que desembocó en un pequeño homenaje a una figura de referencia en el sector de los firmes que se acaba de jubilar y que durante muchos años ha participado activamente en el comité nacional. D. Jesús Díaz Minguela, amigo por encima de todo, nos ha ofrecido siempre que se lo pedimos su cariño y su ayuda. Por todo ello el comité nacional le hizo un pequeño homenaje por sorpresa, con la entrega de una placa que quiere testimoniar nuestro afecto incondicional a su persona, el reconocimiento de su apoyo en todas circunstancias y nuestra admiración por toda una brillante carrera dedicada al sector.

Tras este acto, se suspendió la sesión de la mañana dando un tiempo antes de comer para que los asistentes pudieran conocer los proyectos de investigación cuyos

poster estaban expuestos en el hall de la sala.

Se presentaron 15 proyectos de investigación, 2 de Eiffage Infraestructuras, 3 de Becsa, 1 de Eurovía, 2 de Sorigué, 1 de Bertolín, 1 de Campezo y 5 de Pavasal que fueron explicados a las personas interesadas por sus autores.

Las sesiones técnicas estaban estructuradas en la lectura de una o dos ponencias que reflejaban el estado actual del tema considerado, la lectura de las comunicaciones presentadas y un tiempo para el coloquio. Debido al excesivo número de comunicaciones presentadas, se seleccionaron cuatro cinco para su presentación por los autores, mientras que del resto se hizo una presentación resumen por un miembro del comité científico del Simposio.

El total de comunicaciones presentadas fue de 75.

La sesión I se dedicó al tema de “Sostenibilidad y Resiliencia”. El coordinador de la sesión fue D. Francisco José Lucas, secretario del comité nacional de firmes de la ATC. El ponente fue D. Ángel Sampedro, coordinador del grupo de trabajo GT-8 del comité nacional de firmes. El resumen de las comunicaciones que no se presentaban por sus autores lo hizo D<sup>a</sup> Marisol Barral, miembro del GT-8 y se presentaron cuatro comunicaciones libres por sus autores.

La última actividad de este primer día fue la II Mesa Redonda cuyo tema fue “El Enfoque actual y futuro de los proyectos de firmes”. El coordinador de la Mesa fue D. Alvaro Navareño, Director Técnico de la Dirección general de Carreteras y los integrantes de la mesa fueron D. Pablo Boix de la Diputación Provincial de Valencia, D. Rafael Eguigaray de la SG de Conservación del MITMA, D<sup>a</sup> Elena Hidalgo de la empresa EIFFAGE y D. David Almazán consultor de la empresa EPTISA.

El segundo día, 19 de abril, se inició con la sesión II enfocada al tema de “Durabilidad y Funcionalidad”. El coordinador de la sesión fue D. Guillermo Llopis, jefe de la Demarcación de Valencia de la Dirección General de Carreteras. El ponente general fue D. Jesús Felipe, coordinador del Grupo de Trabajo GT-9 del comité nacional de firmes. El resumen de las comunicaciones fue D<sup>a</sup> Patricia Amo, coordinadora del grupo de trabajo GT-5 del comité de firmes de la ATC. Por último, se leyeron cinco comunicaciones por sus autores.

D. Miguel Ángel del Val, catedrático de la UPM, leyó la II Conferencia Invitada sobre el tema “Sostenibilidad de los firmes de carreteras”. Expuso las bases para la evaluación de la sostenibilidad de los firmes y los múltiples aspectos que la

afectan, indicando aquellas acciones que deberían llevarse a cabo para mejorarla. La última parte de su conferencia la dedicó a los peligros derivados de la incorporación de residuos.

La III sesión se dedicó a la “Reutilización y Reciclado”. El coordinador de la sesión fue D. Jose Manuel Blanco del MITMA. En esta sesión hubo dos ponentes, D<sup>a</sup> Anna Paris, coordinadora del grupo de trabajo GT-2 del comité de firmas de la ATC y D<sup>a</sup> Mar Subarroca, secretaria del mismo GT-2. El resumen de las comunicaciones lo presentó D<sup>a</sup> Paula Pastor, miembro del mismo GT-2. Se presentaron cinco comunicaciones por sus autores.

Después del almuerzo, se inició la IV sesión dedicada a las “Mezclas bituminosas a baja temperatura”. El coordinador fue D. José del Cerro, secretario de habla hispana del Comité Internacional de Firms de PIARC. El ponente fue D. Francisco J. Vea, coordinador del grupo de trabajo GT-7 del comité de firmas de la ATC y el resumen de las comunicaciones lo hizo Nuria Uguet, miembro del grupo de trabajo GT-6.

Se leyeron por sus autores cinco comunicaciones libres.

La sesión V estuvo dedicada a las “Soluciones Hidráulicas para firmas”. La coordinadora fue D<sup>a</sup> Rosalía Bravo, Subdirectora General de Planificación y Explotación del MITMA. El ponente general fue D. Rafael Rueda, miembro del grupo de trabajo GT-3 del comité de firmas de la ATC. En este caso se leyeron las siete comunicaciones presentadas por sus autores.

El último día de sesiones, 20 de abril, se inició con la sesión VI sobre “Normativa y compra pública verde e innovadora”. El coordinador fue D. Antonio Muruais, Subdirector General de innovación del MITMA.



Homenaje a Jesús Díaz Minguela, acompañado por M<sup>a</sup> Rosario Cornejo, y Javier Payán.

Hubo dos ponentes, D<sup>a</sup> Valverde Jiménez, secretaria adjunta del comité de firmas y Marcos Perelli, coordinador del grupo de trabajo GT-1 del comité de firmas de la ATC. El resumen de las comunicaciones no presentadas lo hizo D. Fernando Sánchez, coordinador del grupo de trabajo GT-4 el comité de firmas de la ATC. Se presentaron cuatro comunicaciones libres por sus autores.

La última conferencia invitada “Problemas actuales en los firms y posibles líneas de I+D+i” la impartió D. Alberto Bardesi, director de la ATC. En su exposición habló de los problemas que afectan a los firms aunque no formen parte de ellos como son la geotecnia y el drenaje, de los problemas de diseño y construcción y de algunos otros problemas como los firms fisurados con capacidad portante suficiente, para terminar hablando sobre los firms de larga duración.

La sesión VII se dedicó a la “Digitalización”. El coordinador de la sesión fue D. Javier Piedra, Director de Carreteras de la Diputación de Valencia. El ponente general fue D. Javier Loma, miembro del GT-9 del comité de firmas de la ATC, mientras que D. Jose Luis Peña, de Asefma, hizo el resumen de comunicaciones.

La última actividad del SIMPOSIO fue una Mesa Redonda sobre “Los firms del futuro”. La coordinadora de la mesa fue D<sup>a</sup> María del Rosario Cornejo, presidenta de la ATC. Los intervinientes fueron D. Alvaro Navareño, Director Técnico de la ATC, D. Juan José Potti, presidente de Asefma, D. Cesar Bartolomé, director técnico de IECA y D. Jose Carlos Valdecantos, de la empresa Xouba. Esta mesa redonda fue tan intensa y generó tal debate que, dada la hora, se tuvo que clausurar sin dar tiempo a la lectura de las conclusiones que incluyo en esta breve reseña.

Las conclusiones del II Simposio Nacional de Firmes fueron:

1. Asumida la SOSTENIBILIDAD como una necesidad social aceptada mundialmente, el sector de los firmes debe también incorporar la SOSTENIBILIDAD como criterio fundamental en su diseño y construcción.
2. La SOSTENIBILIDAD se debe incorporar en todas las fases del diseño y construcción de firmes, empezando por el desarrollo de la imprescindible I+D+i, siguiendo
  - a. por el proyecto, incorporando los métodos de análisis de ciclo de vida y considerando las condiciones de entorno en las que se desarrolla
  - b. por la aplicación de tecnologías de construcción menos agresivas con el medioambiente
  - c. por la consideración de las necesidades de mantenimiento
  - d. por su reutilización o reciclado al final de su vida útil, lo que permitirá la reducción de emisiones y su incorporación a la economía circular
3. Hay que revisar el modelo de rotura de los firmes que sirve de base para su diseño. Actualmente, este modelo es el de rotura a fatiga, pero es ya muy evidente que la mayor parte de los pavimentos dimensionados a fatiga se rompen antes debido a otros fenómenos como el envejecimiento de los ligantes o la retracción térmica. Es pues necesario seguir investigando sobre la evolución del comportamiento de los betunes en el tiempo debido a su innegable importancia en la durabilidad de los firmes.



Miguel Ángel del Val durante su intervención "Sostenibilidad de los Firmes de Carreteras"

4. La fisuración de los firmes facilita la entrada de agua y ésta, debido al efecto de las cargas o de las bajas temperaturas, acaba produciendo la disgregación de las mezclas y la separación de las capas. Es pues importante establecer un sistema de mantenimiento a tiempo que evite estos fenómenos.
5. Existen actualmente numerosas soluciones de pavimentación que unidas a las diferentes tecnologías de fabricación suponen un gran abanico de oportunidades para el proyectista.
6. De entre todas las posibilidades, el proyectista debe elegir aquella que cumpliendo las condiciones establecidas en la normativa actual, proporcione una mayor sostenibilidad, resiliencia y conectividad de acuerdo con los requisitos del Nuevo Enfoque, incluyendo también la consideración económica.
7. Para ello es necesario que se estandarice un procedimiento de

ACV que sea común para todas las soluciones y que se apoye en una base de datos única, de forma que las diferentes soluciones puedan ser comparables.

8. El reciclado se presenta actualmente como una tecnología factible, que ya se ha incorporado a la normativa del MITMA a través de la OC 2/2023. En ella, se establece como preceptivo tener en cuenta y priorizar las técnicas de reutilización.
9. En relación con las tecnologías de reciclado, es preciso profundizar en la utilización de altas tasas de RA, tecnología que, a pesar de las experiencias existentes, se encuentra aún poco desarrollada.
10. Las tecnologías de fabricación a baja temperatura se encuentran también en un punto de desarrollo muy avanzado y las experiencias realizadas indican un comportamiento equivalente al de las mezclas convencionales en caliente. Además, estas



El último día, Alberto Bardesi expuso "Problemas Actuales en los Firmes y Posibles Líneas de I+D+i"

mezclas se pueden combinar con las de reutilización del RA obteniéndose ventajas en cuanto a la reducción de emisiones y la reducción del empleo de materiales vírgenes entre otras.

11. Es preciso profundizar en las afecciones a los pavimentos por parte de los fenómenos adversos, para así producir firmes más resilientes. Actualmente, se consideran los fenómenos relacionados con la temperatura y la lluvia como los que más afectan a los pavimentos.
12. La utilización de geocompuestos en los firmes puede ser una medida que aumente la resiliencia de los firmes, si bien es preciso profundizar en la justificación teórica de la contribución de estos elementos al aumento de la resistencia a la propagación de fisuras y de la capacidad estructural del firme.
13. El diseño de mezclas ad hoc es una tecnología que viene imponiéndose. Consiste en

la fabricación de mezclas que combinan diferentes tecnologías como el reciclado de residuos, la fabricación a bajas temperaturas y la incorporación de aditivos para producir mezclas sostenibles y resilientes que se estudian específicamente para cada caso. Aunque se debe seguir analizando el comportamiento de este tipo de mezclas a largo plazo para confirmar su buen comportamiento, parece una línea de futuro con grandes posibilidades.

14. Los ligantes están siempre en continuo desarrollo y es necesario producir ligantes específicos para aplicaciones específicas y, especialmente, mejorar su durabilidad y su resistencia al envejecimiento.
15. Es necesario aumentar la capacidad tecnológica puesta a disposición del diseño y el control de las obras, con la incorporación de una mayor oferta de laboratorios y la mejora de sus

capacidades. Habrá que repensarse cuál debe ser el gasto idóneo en ensayos de diseño y control de las obras.

16. Por último, la digitalización es la herramienta con la que actualmente contamos para conseguir optimizar la fabricación y puesta en obra de las capas de firme.

Como prolongación del congreso, se organizó una visita a la obra de construcción de la autovía A-33 de Jumilla a Yecla en la provincia de Murcia. Una interesante obra donde se está construyendo un pavimento de hormigón con tecnología bicapa y denudado superficial para dejar vistos los áridos y así conseguir una rodadura similar a la que se consigue con los pavimentos bituminosos. Esta visita se realizó el viernes 21 de abril.

Expresar el agradecimiento a las administraciones que nos acogieron, Generalitat Valenciana y Diputación de Valencia, a los patrocinadores, REPSOL y COLLOSA como patrocinadores Premium y a BECSA, CHM, CEPESA, ELSAN, EIFFAGE, HERGONSA, HUESKER, SORIGUÉ, PADECASA, PAVASAL, RETTENMAIER IBERICA, CONSTRUCCIONES SAN GREGORIO, PROBISA, RMI, y TORRESCAMARA como patrocinadores.

Las empresas expositoras fueron RENEAL, SACYR GREEN, TENCATE Y TRS.

Como actividades sociales y culturales se organizó una visita a la iglesia de San Nicolás el día 19 y una cena oficial el día 20.

Toda la información del II SIMPOSIO NACIONAL DE FIRMES, incluyendo los videos, estará disponible en la página web de la ATC. ❖

# En la carretera: ¡Entre todos el mejor!

(Yo tenía un camarada)

Por **Ignacio Garcia-Arango Cienfuegos-Jovellanos**

Ha muerto don Ángel Mario Suárez Fernández compañero mío desde que llegué a la Unidad de Construcción de Serín hasta que ambos nos jubilamos. Él empezó a trabajar mucho antes, lo hizo como conductor en la Segunda Jefatura Regional de Carreteras las obras de la N-VI en San Román de Bembibre.

Serín era el núcleo de las obras de la Y Asturiana gestionada por personas del Ministerio de Obras Públicas. Era como un gigantesco campamento desde el cual se diseñaba en detalle y se controlaba todo. Quizá el estar cerca todo el día, comer en una aldea y ver todos juntos a la obra crecer nos hacía sentirla como a una hija por la que nos implicábamos todos. Quizá por eso la obra tuvo calidad y precio, dado que todos arriesgábamos por el buen fin de una autopista que tenía carne y sangre: no era un papel. Eso puede parecer inverosímil en un entorno en el que las obras son un expediente en el que se trabaja probamente, pero sin tomar riesgo alguno por el bien público: quizá de ahí ha nacido el interés por las organizaciones donde se mantiene ese espíritu.

Todo eso creaba un ambiente especial. Como en todos los frentes de batalla la organización era fruto de un sistema en el que los procedimientos se siguieron escrupulosamente, con disciplina y obediencia. A la vez sufríamos y disfrutábamos en las obras porque ellas son acto que se vive, que cuando se vuelve objeto se olvida y que no tienen autor porque se hacen entre muchos.

Eso nos convertía en un equipo de camaradas que fuera del trabajo no tenían categorías sino solo amistad, comían juntos, hacían corderos a la estaca juntos y tomaban copas juntos.

Serín fue un semillero de personas que después construyeron todas las obras de Asturias permaneciendo amigos. De entre ellas yo, de aquella inge-

niero subalterno, hice en Serín dos casi hermanos que compartieron después conmigo muchas horas durante toda la vida. Uno fue Manuel Fernández (para mí siempre Manolón) que hoy mira a mis nietos desde las nevadas montañas del Cielo y el otro, hasta hoy en que abril se viste de noviembre, Ángel Mario Suárez (Angelín) de quien disfruté hasta ahora mismo.

Ángel pasó por muchas obras entre ellas por el Puente de los Santos en cuya construcción fue una parte esencial pues su claridad de ideas, su capacidad de observación, su intuición y su conocimiento del ser humano acumularon a su trabajo el de encargado conocedor de obras, del territorio y del paisanaje: en Tapia de Casariego, que hoy lo llora, se hizo un vecino más.

A finales de los ochenta pasamos de recorrer juntos los caminos de la Y a recorrer los de toda Asturias y también los de Madrid allí era donde se resolvían los dineros de los problemas de Asturias. Él, además de llevarme y traerme, era un asesor, un compañero y un consejero que siempre que se lo pedí (oía todo lo que yo hablaba en el coche) me daba clases con su sentido común, su prudencia, su olfato, su dignidad, su bondad, su honradez, su fidelidad y su valentía: pues cuando lo creía me sugería dar los mandobles pertinentes.

Viajamos a todas horas. Recuerdo desayunar juntos, camino de Madrid, churros, a las 7 de la mañana en Medina del Campo, o de cenar paletilla, de vuelta a las 12 de la noche, en Benavente. Tuvimos muchas charlas, muchas comidas, solos o acompañados pues, salvo en las ocasiones estrictamente protocolarias, siempre mantuvimos la costumbre de que las comidas eran como el tercer tiempo del Rugby

Era tan inteligente que se desenvolvía perfectamente entre los protocolos

más complicados. Recuerdo dos anécdotas. Una fue en un partido del Bernabéu en el que casualmente el Sporting ganó al Madrid: gritó gol. Después se dio cuenta de que en el palco no era correcto y se disculpó con tal gracia que hasta Florentino se consoló de la derrota. La otra fue en una comida con gente importantísima, a la que acudimos varios ingenieros y él. Fue tan sensato y agudo que al cabo de varios días uno de los asistentes me dijo: ese ingeniero, Ángel, es mucho más listo que los otros.

En síntesis, fue un servidor del Estado bueno, fiel, y valiente que nunca volvió la cara ante los problemas. Gentes como él son los que crearon el prestigio social y técnico de la Dirección General de Carreteras, un ejemplo para todos los funcionarios y empleados públicos de ayer, de hoy y de siempre.

Vivió conmigo todos los avatares: las alegrías y las penas, la salud y la enfermedad: fuimos una especie de matrimonio. Pero como ambos somos guerreros lo veo como a un hermano de sangre cuyo vínculo nada ni nadie puede, ni podrá, borrar. Por eso termino con otras estrofas de esta vieja canción que llegó a España con los soldados voluntarios austriacos que vinieron para luchar al lado de los carlistas:

Los dos, muchas veces oímos el silbido de las balas: ahora la de la enfermedad le dio a él por eso digo:

*Una bala viene volando.  
¿Va por ti o por mí?  
A mis pies cayó herido  
El amigo más querido  
y en su faz la muerte vi.*

Después el me dio su mano y yo le di la mía:

Ángel permanecerá para siempre en el sentimiento de todos los que fuimos sus compañeros.

# Composición de la Junta Directiva de la ATC

<b>PRESIDENTE:</b>	- D. Álvaro Navareño Rojo
<b>CO-PRESIDENTES DE HONOR:</b>	- D. Juan Pedro Fernández Palomino - D. Pere Navarro Olivella
<b>VICEPRESIDENTES:</b>	- D.ª Paula Pérez López - D.ª M.ª del Carmen Picón Cabrera - D. Jorge Enrique Lucas Herranz - D. Pedro Gómez González
<b>TESORERO:</b>	- D. Pablo Sáez Villar
<b>SECRETARIO:</b>	- D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría
<b>DIRECTOR:</b>	- D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría
<b>VOCALES:</b>	



- Designados por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana:
  - D. Miguel Ángel Bermúdez Odrizola
  - D. Javier de las Heras Molina
  - D. Antonio Muruais Rodríguez
  - D. Álvaro Navareño Rojo
  - D.ª Paula Pérez López
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
  - D.ª Ana Isabel Blanco Bergareche
  - D.ª Sonia Díaz de Corcuera Ruiz de Oña
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
  - D. Felipe Cobo Sánchez
  - D. Ramón Colom Gorgues
  - 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 Ana de Diego Villalón
  - D.ª Laura Parra Ruiz
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
  - D. Rodrigo Miró Recasens
  - D. Manuel Romana García
- Representantes de las sociedades concesionarias de carreteras:
  - D. Antonio Belmonte Sánchez
  - D. Bruno de la Fuente Bitaine
- Representantes de las empresas de consultoría:
  - D. Alfonso Alba Ripoll
  - D. José Luis Mangas Panero
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
  - D. Cesar Bartolomé Muñoz
  - D. Sebastián de la Rica Castedo
  - D. Javier Monje Norte
  - D. Juan José Potti Cuervo
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
  - D. Camilo José Alcalá Sánchez
  - D. Jorge Enrique Lucas Herranz
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
  - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados
  -
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
  - D. Alfredo García García
  - D.ª Anna París Madrona
  - D. Rafael Ángel Pérez Arenas
  - D. Enrique Soler Salcedo
- Entre los Socios de Honor:
  - D. Francisco Javier Criado Ballesteros
  - D. Pedro Gómez González
  - D.ª M.ª del Carmen Picón Cabrera
- 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

### PLANIFICACIÓN, DISEÑO Y TRÁFICO

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

### TÚNELES DE CARRETERAS

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

### CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidente	D. Vicente Vilanova Martínez-Falero
- Presidente Adjunto	D.ª Paula Pérez López
- Secretario	D. Pablo Sáez Villar

### FIRMES DE CARRETERAS

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

### DOTACIONES VIALES

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

### PUENTES DE CARRETERAS

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

### GEOTECNIA VIAL

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

### SEGURIDAD VIAL

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

### CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE

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

### CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

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

## Socios de la ATC

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

- **Socios de número:**
  - Socios de Honor
  - Socios de Mérito
  - Socios Protectores
- **Otros Socios:**
  - Socios Colectivos
  - 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

2013 - D. RAFAEL LÓPEZ GUARGA  
 2013 - D. ÁLVARO NAVAREÑO ROJO  
 2013 - D.ª MERCEDES AVIÑO BOLINCHES  
 2014 - D. FEDERICO FERNANDEZ ALONSO  
 2014 - D. JUSTO BORRAJO SEBASTIÁN  
 2014 - D. JESÚS RUBIO ALFÉREZ  
 2014 - D. JESÚS SANTAMARÍA ARIAS  
 2015 - D. ENRIQUE DAPENA GARCÍA  
 2015 - D. ROBERTO LLAMAS RUBIO  
 2015 - D. FÉLIX EDMUNDO PÉREZ JIMÉNEZ  
 2017 - D. VICENTE VILANOVA MARTÍNEZ-FALERO  
 2017 - D. ÁNGEL GARCÍA GARAY  
 2018 - D. LUIS AZCUE RODRÍGUEZ  
 2018 - D. FERNANDO PEDRAZO MAJÁRREZ  
 2019 - D. ÓSCAR GUTIÉRREZ-BOLIÍVAR ÁLVAREZ  
 2019 - D. ALFREDO GARCÍA GARCÍA  
 2020 - D. CARLOS CASAS NAGORE  
 2020 - D. ANDRÉS COSTA HERNANDEZ  
 2021 - D. ANTONIO SÁNCHEZ TRUJILLANO  
 2021 - D. JESÚS DÍAZ MINGUELA  
 2022 - D. JORGE ENRIQUE LUCAS HERRANZ  
 2022 - D. ÁLVARO PARRILLA ALCAIDE

### 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

### Socios Protectores y Socios Colectivos

#### Administración General del Estado

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

#### Comunidades Autónomas

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

#### Ayuntamientos

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

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

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

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

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

## Asociaciones

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

## Sociedades Concesionarias

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

## Empresas

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

## Socios Individuales, Senior y Junior

Personas físicas (92) técnicos especialistas de las administraciones públicas; del ámbito universitario; de empresas de ingeniería, construcción, conservación, de suministros y de servicios; de centros de investigación; usuarios de la carretera y de otros campos relacionados con la carretera. Todos ellos actuando en su propio nombre y derecho.

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



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

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



Revista RUTAS / Revista RUTAS



[www.atc-piarc.com/rutas](http://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](mailto:info@atc-piarc.org)

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

## PORTADA RUTAS:

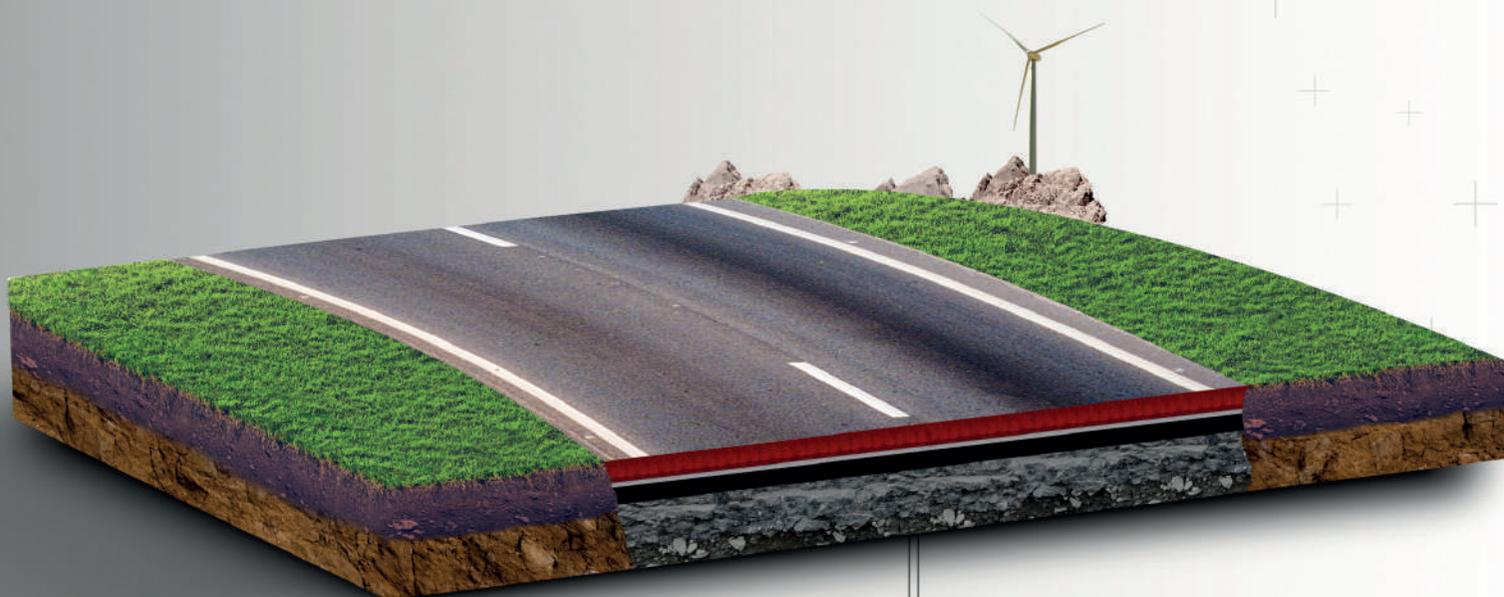
Si quiere que una imagen o fotografía aparezca como portada de la revista **RUTAS**, consultar en [info@atc-piarc.com](mailto:info@atc-piarc.com)



# DESCUBRE LA GAMA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

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

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



Riegos de adherencia  
Otros riegos auxiliares  
Microaglomerados y Lechadas  
Mezclas templadas

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

**CEPSA**

*Tu mundo, más eficiente.*



# Asfaltos Repsol, abriendo el camino a la eficiencia y a la innovación

En Repsol innovamos cada día para adaptarnos a las nuevas necesidades en pavimentación. Por eso, ahora te ofrecemos **5 gamas de asfaltos de alto nivel** para crear carreteras y pavimentos más seguros, eficientes y sostenibles:

**PAVE, PERFORM, COLOR, ADVANCE e ISOLATE.**

- **Altas prestaciones:** asfaltos de calidad y garantía certificada con nuestra asistencia técnica y desarrollo.
- **Más eficientes:** soluciones eficientes y comprometidas con el medioambiente desarrolladas en el Repsol Technology Lab.
- **A tu medida:** elige el que mejor se adapte a ti entre más de 120 referencias, con diversidad de formatos.



*Inventemos el futuro*



Repsol Compromiso  
Cero Emisiones Netas  
2050



Descubre más  
aquí