



Asociación Técnica  
de Carreteras  
Comité nacional español de la  
Asociación Mundial de la Carretera



# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 167  
ABRIL - JUNIO  
2016

ISSN 1130-7102  
Revista Trimestral

Entrevista con

**Jesús Santamaría Arias**

Director Técnico.

Dirección General de Carreteras.

Ministerio de Fomento

## RUTAS TÉCNICA

Estudio y análisis de la accidentalidad  
con ciclistas en las carreteras españolas.

Metodología para el análisis de los  
ahorros de energía en el alumbrado de  
túneles de carretera.

Estado del arte del reciclado en frío de  
firmes *in situ* en España.

## NOTICIAS ATC

XIV Jornadas Conservación de  
Carreteras

La ATC convoca el IV Premio Jóvenes  
Profesionales



# SÚMATE AL PROYECTO ONGAWA

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

Tfno.: (+34) 91 590 01 90  
[info@ongawa.org](mailto:info@ongawa.org)  
[www.ongawa.org](http://www.ongawa.org)

Antes:



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



5

## Tribuna Abierta

- 3 **Sentido común en la gestión de las obras públicas**  
 Ignacio García-Arango y Cienfuegos-Jovellanos

## Entrevista

- 5 **Jesús Santamaría Arias**  
 Director Técnico. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento

## Rutas Técnica



10

- 10 **Estudio y análisis de la accidentalidad con ciclistas en las carreteras españolas**  
*Study and Analysis of Cycling Accident Rates on Spanish Roads*  
 José Vicente Pedrola Cubells, Diego Sanz Abella y Francisco Selma Mendoza

- 22 **Metodología para el análisis de los ahorros de energía en el alumbrado de túneles de carretera**  
*Energy Savings Methodology for Road Tunnel Lighting*  
 Comité de Túneles de Carretera

- 32 **Estado del arte del reciclado en frío de firmes *in situ* en España**  
*State-of-the-art of On-site Cold Recycling in Spain*  
 Jesús Díaz Minguela, Juan José Potti y Julio José Vaquero García



32

## Cultura y Carretera

- 46 **Los romanos tenían razón**  
 Norberto Díez

## Nota de Lectura

- 53 **Colaborar, integrar e innovar: las coordenadas de la movilidad**



46

## Actividades del Sector

- 56 **XVIII CILA Congreso**

## Actividad Internacional

- 60 **Autopista Panamericana Sur en Lima**

## Noticias ATC

- 72 **XIV Jornadas Conservación de Carreteras**  
 80 **La ATC convoca el IV Premio Jóvenes Profesionales**

## ATC

- 81 **Composición de la Junta Directiva y Comités Técnicos de la Asociación Técnica de Carreteras**  
 82 **Socios de la Asociación Técnica de Carreteras**



72



**Asociación Técnica de Carreteras**  
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



La revista RUTAS se encuentra incluida en la siguiente lista de bases de datos científicas:

DIALNET · ICYT ·  
LATINDEX (Catálogo y Directorio)



**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:**

Luis Alberto Solís Villa Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (España)

**Vicepresidente de estrategia:**

Sandro Rocci Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid (España)

**Vicepresidente Ejecutivo:**

Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez Dirección General de Carreteras, M. Fomento (España)

**Vocales:**

José Alba García	Presidente de Arcs Estudios y Servicios Técnicos (España)
Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior (España)
María Luisa Delgado Medina	Subdirectora General de Transferencia de Tecnología, M. Economía y Competitividad (España)
Diana María Espinosa Bula	Presidenta de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, SCI (Colombia)
Alfredo García García	Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia (España)
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS España (España)
María Martínez Nicolau	Directora Técnica de Innovia-Coptalia (España)
Carlos Oteo Mazo	Catedrático de Ingeniería del Terreno de la Universidad de la Coruña (España)
Hernán Otoniel Fernández Ordóñez	Presidente HOF Consultores (Colombia)
Félix Pérez Jiménez	Catedrático de Caminos de la Universidad Politécnica de Barcelona (España)
Clemente Poon Hung	Director General de Servicios Técnicos, Subsecretaría de Infraestructura (México)
Manuel Romana García	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (España)
Jesus J. Rubio Alférez	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)

**Comité de Revisores Técnico-Científicos. Presidentes de Comités Técnicos de la ATC:**

Rafael López Guarga	Túneles de Carreteras
Julio José Vaquero García	Firmas de Carreteras
Fernando Pedraza Majarrez	Carreteras Interurbanas y Transporte Integrado Interurbano
Álvaro Parrilla Alcaide	Geotecnia Vial
Vicente Vilanova Martínez-Falero	Conservación y Gestión
Luis Azcue Rodríguez	Vialidad Invernal
Gerardo Gavilanes Ginerés	Financiación
Álvaro Navareño Rojo	Puentes de Carreteras
Roberto Llamas Rubio	Seguridad Vial
Antonio Sánchez Trujillano	Carreteras y Medio Ambiente
Andrés Costa Hernández	Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico

**Redacción:**

Asociación Técnica de Carreteras

**Publicidad:**

Ediciones Técnicas PAUTA  
Tel.: 915 537 220 ♦ publicidad@edicionespauta.com

**Diseño, Maquetación, Producción, Gestión Publicitaria y Distribución:**

Ediciones Técnicas PAUTA  
direccion@edicionespauta.com

**Arte Final e Impresión:**

Gráficas ARIES

Fotografía de portada: Diseñado por Pressfoto - Freepik.com

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 Asociación Técnica de Carreteras (Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera) edita la revista Rutas desde el año de su creación (1986).

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 167 ABRIL - JUNIO 2016

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

# Sentido común en la gestión de las obras públicas\*

Tribuna  
abierta



Ignacio García-Arango y Cienfuegos-Jovellanos  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Ex-Jefe de la Demarcación de Carreteras  
del Estado en Asturias

La epidemia de abandonos de obras y la oleada de muertes de empresas que vivimos me traen a la mente estos versos: «Oigo, patria, tu aflicción, / y escucho el triste concierto, / que forman, tocando a muerto, / las víctimas de la falta de gestión». La víctimas somos todos, humanos y tierras, los que sufrimos la esterilidad de la inversión pública. La gestión es la del Estado e implica a los tres poderes: Ejecutivo, Legislativo y Judicial. Desde hace un tiempo, los contratos de las administraciones se adjudican, dada la precaria situación económica y los continuados años de escasa licitación pública, con precios cada vez más bajos e irreales. En consecuencia, cada día se paralizan más obras y se produce más ruina. La causa es que no se legisla para que los contratos cumplan su fin, sino para mayor gloria de la burocracia y de la imagen de los políticos. Ello es fruto de otra irracionalidad estratégica: reducir la inversión pública en vez de eliminar el despilfarrero y la mala organización administrativa. Ese desastre no es normal, ni pasa en la empresa, ni en otros países.

La empresa busca lo mejor, que no coincide con lo más barato, y sobre esa base desarrolla todo el proceso. En su plantilla tiene a los mejores profesionales, no a amigos. Si aborda una obra, emplea tiempo y dinero para tener lo más económico, no lo aparentemente más barato, pues no pretende engañar a nadie. Obviamente, siempre actúa con control económico y de acuerdo a derecho. En resumen, actúa en el libre mercado de la manera más eficaz.

Los Estados, por defender el interés público, deben acentuar las precauciones. Además, han de velar por la transparencia, la libertad, la igualdad en el mercado y la vida sana de las empresas, que son de sus ciudadanos. Muchos países lo han entendido así y tienen un sistema competitivo, transparente y ágil. Por ello, hacen buenos proyectos y los construyen bien, lo que exige profesionales capacitados; nunca contratan la obra sin valorar adecuadamente las ofertas recibidas, lo que significa adjudicar a lo mejor, no a lo irrealizable; durante la construcción, se aplica un sistema riguroso –técnica, jurídica y contablemente–



\* Artículo publicado en "El Comercio" el martes día 10 de mayo de 2016

Ignacio García-Arango y Cienfuegos-Jovellanos  
**Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos**  
**Ex-Jefe de la Demarcación de Carreteras**  
**del Estado en Asturias**

que, a la vez, resuelve con agilidad los avatares que en toda obra se producen.

En España no se hace así, sino que se confunde la legalidad con el formalismo: por lo que se valora más el precio teórico de una oferta insensata que el buen fin de la obra. Ello es consecuencia tanto de la legislación como de la gestión, del tratamiento de los conflictos, de su judicialización y de la política general de personal seguida tanto por la Administración como por la Justicia. La ley de contratos vigente es cualitativamente igual a la de 1965, cuando la realidad era otra, pues sus actualizaciones fueron fruto del formalismo, no del conocimiento de la obra pública. Cada cambio la embarulló más. Y más aún las medidas introducidas para dar la imagen de que se lucha contra la corrupción. Matizo: ese vital problema exige soluciones radicales, pero éstas no pasan por dar imagen y aumentar la burocracia, sino por legislar y luchar a muerte contra las raíces de ella. Todo es cada vez menos eficaz. Nadie se acuerda de que hay que hacer obras con medios y a la velocidad del siglo XXI, lo que es compatible con la ley y el orden económico, pero no con la burocracia de manguitos.

Por otra parte, la politización de la Administración lleva a lo alto a personas que deben su puesto solo a la confianza política, no a la experiencia en la gestión. De un modo cualitativamente distinto, en el Poder Judicial sucede algo parecido: a la cumbre de la carrera se llega igual que en la Administración. No voy a detallar un proceso conocido, pero en las adjudicaciones pesan más los trámites y el precio más bajo que la bondad global de la oferta. Por ello, los que conocen la obra cuentan poco en la decisión. Durante la obra, la tramitación de cualquier mínimo cambio bien lleva años, bien no se resuelve y se rescinde el contrato, con daño para los ciudadanos y quiebras para las empresas. El amplio margen de interpretación que admite la ley de contratos permitió, durante años, resolver problemas con el soporte de una organización sólida y profesionalizada, así como de una inspección seria. Al darse ahora prioridad a la burocracia, a la inexperiencia y a la politización, las personas que hacen las obras no tienen confianza en la lealtad del gestor, ni respeto técnico hacia él; por ello cumplen las órdenes y obedecen, pero no toman iniciativas, ni innovan. Esto puede incluso ser la raíz de un castigo.

Por otra parte, como esos márgenes de interpretación siempre son opinables, ésta puede estar sujeta a controversia. Si hay una estabilidad razonable, se pueden defender opiniones razonables y resolver los problemas sin riesgo personal. Si entra la demagogia y se hacen interpretaciones extremas, los técnicos no se salen de la letra. Además, la lacra de la corrupción, unida al carácter demagógico de parte de la prensa española, ha dado lugar a que cualquier cosa que se salga de la letra de la ley pueda ser interpretada como un delito, hinchado en unos medios que actúan en función de sus intereses.

Todo ello convierte a las obras en armas políticas arrojadas y pone a los jueces en una difícil situación, pues esa presión llega también a ellos. La mayor parte tratan los asuntos, como siempre, con rigor. Otros convierten los casos que les llegan en espectáculos, tras manejar las filtraciones, extremar las interpretaciones y forzar los procedimientos. En el primer caso, los procesos no son mediáticos; en el segundo, sí, pero producen un daño al investigado inocente que, aunque sea exonerado, siempre cumple la 'pena de juzgado'. En ese contexto, cualquier gestor técnico razonable de la Administración aplica un margen de interpretación cero. Y los dirigentes políticos ni saben, ni tienen valor para resolver. La consecuencia es que, desde hace unos años acá, desde que la burocracia y la política se han impuesto a la gestión, las obras se paran, con el daño consiguiente para todos.

Para terminar de describir este diabólico proceso, hay que mencionar a las personas. El Estado no tiene -ni en la Administración, ni en la Judicatura- a los mejores profesionales, pues ni paga, ni considera, ni propone un futuro, ni da medios a sus empleados fijos, algo siempre mal visto por los políticos. Eso es muy peligroso y dañino para España, ya que las personas que forman parte del sistema judicial y de la Administración deberían ser muy valiosas, muy preparadas y con gran sentido de la vida.

No sería difícil tener un sistema razonable. Bastaría con tener una legislación enfocada a resolver los problemas derivados de las obras de hoy y no de las de hace cien años; adjudicar las obras a las mejores ofertas y no a las aparentemente más baratas; gestionar las obras razonablemente, con un sistema ágil y justo para la solución de los conflictos; despolitizar tanto a la Administración como a la Justicia, y fichar, para ambos ámbitos, a los mejores profesionales. Ello implica remunerarlos adecuadamente y tratarlos con respeto ❖



Entrevista a

# Jesús Santamaría Arias

## Director Técnico

### Dirección General de Carreteras

### Ministerio de Fomento

**Sandro Rocci**  
Vicepresidente del Comité Editorial

Después de un periplo de quince años como Director de Ingeniería y Director Técnico de una de las grandes constructoras españolas, Jesús Santamaría Arias (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos) regresa a la Administración General del Estado, sustituyendo a José Luis Elvira Muñoz al frente de la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, en la que ejerció la jefatura del Servicio de Geotecnia. Tiene, pues, este regreso un cierto sabor de “vuelta al hogar” después de una larga ausencia.

En estos tiempos de incertidumbre política, el puesto que acaba de ocupar tiene la solidez de lo técnico, de lo que no está sometido a más contingencias que las de su gestión administrativa y económica. El autor de esta entrevista también lo ha ocupado (con otros nombres: primero en 1985 como Área de Tecnología, y luego en 1989 como Subdirección General de Tecnología Y Proyectos): él es el antecesor de José Antonio Hinojosa, quien a su vez lo ha sido de José Luis Elvira, que lo ha desempeñado durante más de veinte años (1994-2016), hasta su jubilación. Jesús San-

tamaría trabajo a las órdenes directas de cada uno de ellos.

**¿Qué has encontrado a tu regreso?**

A gente conocida: la mayor parte del personal de la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras ya estaba allí cuando yo me fui, y gran parte de los que no estaban entonces me eran también conocidos, pues nunca perdí del todo el contacto con la Dirección Técnica, a la que siempre he considerado

mi casa y a la que siempre pensaba que, muy probablemente, algún día habría de volver, como así ha sido. Echo en falta, eso sí, muchas caras amigas: las más por jubilación y algunas, desafortunadamente, por defunción.

## ¿Qué diferencias principales hay con lo que recordabas de tu anterior paso por la Dirección Técnica?

En cuanto a la propia Dirección Técnica no demasiadas: la ubicación física es la misma; hay menos personas ahora que entonces, especialmente menos personal laboral, incluidos titulados superiores como geólogos o físicos, que desempeñaban un papel importante en su funcionamiento. En cuanto a los funcionarios de los Cuerpos Superiores de la Administración del Estado, el número es similar al que había entonces.

Las personas que han permanecido saben más y tienen más experiencia que entonces: lo que resulta muy útil para la asistencia técnica al resto de las Unidades de la Dirección General de Carreteras, así como para la regulación y la difusión técnica. Por otro lado, durante este tiempo por la Dirección Técnica han pasado personas de gran valía que la han dejado para incorporarse a puestos importantes de la Administración: lo que mejora la relación de la Dirección Técnica con otros órganos de la Administración, relación que, por otra parte, siempre ha sido buena. Al mismo tiempo se han incorporado grandes profesionales, tanto funcionarios que dejaron la Administración un tiempo para desarrollar su trabajo en la empresa privada y que han vuelto a la Administración con la valiosa experiencia adquirida, como también, en algún caso, funcionarios provenientes de otros puestos importantes de la propia Administración, que aportan una experiencia de un funcionamiento más ejecutivo que el habitual de la Dirección Técnica.

En cuanto al entorno en el que la Dirección Técnica ha de desenvolverse, las mayores diferencias se derivan de tres factores:

- La cada vez mayor importancia de la informática y el uso que de la misma se hace: los portales y sitios web, los libros electrónicos, las teleconferencias, la formación en línea, los nuevos sensores, la adquisición automática de datos, el telemando, el telecontrol y el teleproceso, el aumento de la capacidad de cálculo y almacenamiento, las grandes bases de datos distribuidas, los sistemas de información geográfica, los sistemas BIM (Building Information Modeling) y, en definitiva, toda una nueva forma de adquirir, mantener, manejar y transmitir conocimiento e información.
- La crisis económica: nos obliga, aún más que siempre, a ser más eficaces y a aprovechar cada vez más los siempre escasos recursos disponibles. Al mismo tiempo la madurez de nuestra red ha hecho evolucionar el enfoque y las prioridades, desde el proyecto y la construcción de las infraestructuras hacia su conservación y explotación. Es el momento de aprovechar la experiencia obtenida durante todos estos años de actividad febril, de afinar nuestras herramientas y métodos de trabajo, y de prepararnos para los nuevos retos que el futuro nos depara.
- Los cambios en la organización y el marco legislativo que regulan las relaciones entre la Unión Europea, España y sus Comunidades Autónomas: Cada vez el marco de trabajo es más estrecho, cada vez son más las normas establecidas por Europa, y mayor la capacidad normativa de nuestras Comunidades Autónomas. Ello nos obliga a estar presentes allí donde se forjan las normas que nos afectan, y a ser más ágiles, flexibles y negociadores en nuestros posicionamientos.

## ¿Cuál es la misión de la Dirección Técnica?

Los objetivos fundamentales de la Dirección Técnica son:

- El apoyo y asistencia técnica a las diferentes Unidades de la Dirección General de Carreteras; así como el dictamen o asesoría sobre los asuntos técnicos que se le pidan.
- La coordinación y, en su caso, redacción de la reglamentación técnica aplicable a las carreteras del Estado; así como la vigilancia de la normativa o reglamentación que, desarrollada en estamentos exteriores, nos afecte.
- La representación técnica de la Dirección General en los foros y asociaciones técnicas donde ésta se le encargue.
- La promoción, desarrollo e implantación de mejoras técnicas en la planificación, proyecto, construcción, conservación y explotación de las carreteras.
- Asimismo, la promoción de la mejora en el conocimiento de las diferentes técnicas relativas a la carretera, tanto mediante la publicación de elementos de interés, como mediante la participación o promoción de congresos, cursos y jornadas técnicas.

## ¿Qué tipos de documento produce la Dirección Técnica?

En la legislación básica o de mayor nivel específica de Carreteras, como la Ley y el Reglamento de Carreteras, que se aprueban por Real Decreto o Decreto, intervienen varios estamentos y unidades de la Administración, del Ministerio y específicamente de la Dirección General de Carreteras. Sin descartarlos, la intervención específica de la Dirección Técnica se centra en el desarrollo de esos textos mediante otros documentos normativos o reglamentarios de rango inferior al de aquéllos.

Por orden de prelación vendrían después los elementos que se aprueban por Orden Ministerial, de los cua-

les quizás los más conocidos sean el PG-3 y la Instrucción de Carreteras. Estos elementos, conforme han ido pasando los años, se han ido segregando en sus diferentes capítulos o apartados, que se aprueban por separado. Ello es así fundamentalmente porque la velocidad del cambio técnico, y consecuentemente la necesidad de cambiar la correspondiente normativa, son diferentes para los distintos elementos y técnicas necesarios para planear, proyectar, construir, conservar y explotar las carreteras.

La vigencia de las diferentes versiones de cada uno de estos elementos es relativamente larga, con frecuencia de 10 a 25 años. Su tramitación es asimismo larga, y además han de someterse a un trámite de información en Europa. Por todo ello los elementos y técnicas que se incluyen en esta normativa deben ser estables y ya ampliamente conocidos y utilizados dentro de la técnica de carreteras. No resulta demasiado conveniente recoger aquí técnicas muy novedosas y no suficientemente probadas, pues en caso de tener que desautorizarlas o abandonarlas el trámite podría ser demasiado largo.

Con un rango menor, y con mayor agilidad tanto para implantarlas como para retirarlas, están las Ordenes Circulares y las Notas de Servicio: las primeras son órdenes que el Director General da a las diferentes Unidades de la Dirección General de Carreteras, sin necesidad de su publicación en el B.O.E.; y las segundas son órdenes que los diferentes Subdirectores dan al personal a su cargo. En muchos casos son fundamentalmente normas de actuación o de interpretación, en casos concretos, de los elementos reglamentarios o normativos anteriores; mediante las cuales se consigue actuar con la agilidad y eficiencia necesaria en el día a día.

Sin carácter normativo estarían una serie de publicaciones en forma de guías, manuales y recomendaciones que ayudan a difundir el correcto uso de diversas técnicas dentro del



mundo de la carretera. Hay que tener en cuenta que la competencia de la Dirección General de Carreteras se concreta esencialmente en la red de carreteras del Estado: hasta ahí llega su carácter reglamentario o normativo. Sin embargo, el alcance de sus publicaciones va mucho más allá, abarcando no sólo a toda España sino a muchos países y estamentos, principalmente de habla hispana.

No quisiera olvidar tampoco otras publicaciones, como la colección de Estudios previos de terrenos, los mapas de tráfico o la de máximas lluvias diarias en la España peninsular, que son esencialmente la recopilación de datos muy útiles para la redacción de proyectos y estudios de carreteras.

### ¿Cómo se producen estos documentos? ¿Es siempre posible el consenso?

El mecanismo más frecuente, tanto más cuanto más alto sea el rango normativo del elemento del que se trate, es la Comisión, Comité o Grupo de Trabajo formado por expertos en el tema, con frecuencia con participación importante de las Asociaciones profesionales o empresariales implicadas en él y, a poder ser, coordinada por un miembro de la propia Dirección Técnica, o por alguno de sus colaboradores preferentes de la propia Dirección General. Normalmente se nombra también uno o varios ponentes que se encargarán de

presentar el primer borrador del elemento y de realizar las correcciones que la Comisión, Comité o Grupo de Trabajo pida.

Una vez desarrollado el documento, y corregido y aprobado, se somete a una aprobación interna de la propia Dirección General y, en el caso de que tenga que ser publicado en el BOE, se envía a la Secretaría General Técnica para su conformidad y trámites de información, tanto nacional como europea si fuese necesario.

Ni que decir tiene que, cuanto mayor rango normativo tenga el elemento, tanto mayores serán normalmente la Comisión o Comité correspondiente y el tiempo de desarrollo necesario. Por ello la correcta proporción, selección y coordinación de la Comisión, Comité o Grupo de Trabajo es fundamental para un desarrollo eficiente de los trabajos.

Cuanto menor rango normativo tenga el documento, mayor la especialidad técnica y más concreto el asunto, menor será el número de integrantes de la Comisión, Comité o Grupo de Trabajo, y menor el tiempo de desarrollo. En el límite, el documento puede ser desarrollado por un experto de la propia Dirección Técnica y supervisado por otro; si bien es muy frecuente que se cuente al menos con la colaboración de algún experto exterior de la propia Administración, como pueden ser el CEDEX o la Universidad.

### ¿Cómo se lleva a cabo la difusión en la Red?

Hoy por hoy la difusión, por parte del Ministerio, del documento en la Red se centra fundamentalmente en el propio sitio web del Ministerio, fundamentalmente en forma de documento en formato .pdf. Se indica a continuación la dirección web: [http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIRECCIONES\\_GENERALES/CARRETERAS/NORMATIVA\\_TECNICA/](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CARRETERAS/NORMATIVA_TECNICA/)

El uso de otras posibilidades y, fundamentalmente, de otros formatos es



uno de los temas a estudiar. Para la normativa puede ser difícil el uso de un formato distinto al documental, pues ha de ser publicada en el BOE; pero es muy probable que para las guías, manuales y otros elementos de divulgación puedan ayudar formatos de tipo vídeo, programas en línea (en algún caso incluso apps para telefonía móvil), cursos on line, servicios en red, etc. y deban ser considerados. Siempre, eso sí, con el correspondiente cuidado y respeto por la fiabilidad y seguridad del dato, así como de la seguridad jurídica correspondiente. No podemos olvidarnos de estos medios, y debemos estudiar cuidadosamente su implantación.

### ¿Qué asuntos hay en cantera?

Por citar algunos: la nueva IAP, un nuevo programa informático para el cálculo de caudales según la nueva Instrucción de drenaje subterráneo, y algunos avances en el sistema de gestión y explotación de datos de auscultación de firmes.

### ¿Qué te gustaría lograr?

La labor de mis antecesores es difícil de mejorar; pero siempre hay que intentarlo, si bien los cambios hay que introducirlos con tiento para no estropear lo que ya funciona.

Posiblemente convendría aumentar nuestra presencia e influencia en las Comisiones, Comités y Grupos de Trabajo Técnico europeos, donde se forjan las normas que después Europa nos obliga a adoptar. Para ello se necesita mucha gente, de la que no dispongo: por lo que deberemos aumentar nuestra red de voluntarios colaboradores contando con miembros de otras unidades de la propia Dirección General de Carreteras, de otros organismos de la Administración y de las Asociaciones profesionales y empresariales interesadas.

Revisaremos y procuraremos mejorar nuestro sistema de difusión, incorporando todo lo que nos parezca eficiente y seguro a la Red.

Buscaremos aumentar el ya alto reconocimiento de los trabajos técnicos de la Dirección, y buscaremos aumentar su influencia en otros estamentos nacionales y extranjeros, en estos momentos en que las empresas españolas tienen que desarrollar parte de su trabajo fuera de nuestras fronteras.

Me gustaría conseguir que la Dirección Técnica funcionase como un reloj, con una confianza y coordinación total entre sus integrantes, e incluso con el resto de los miembros de la Dirección General de Carreteras.

Y por supuesto, seguiremos atentos a la actualización de la normativa y publicaciones de las que ya disponemos. ❖



# CARRETERA A ESTRENAR CADA DÍA

En Cepsa queremos cuidar y conservar las carreteras siempre en perfecto estado. Por ello, disponemos de una amplia gama de betunes convencionales, desde la Gama ELASTER de última generación en betunes modificados con polímeros, hasta masillas sellantes.

Mantener las carreteras es fácil con los Asfaltos de Cepsa.

Más información en el **91 337 60 00** o en **[cepsa.com/asfaltos](http://cepsa.com/asfaltos)**



**CEPSA**

*Tu mundo, más eficiente.*

# Estudio y análisis de la accidentalidad con ciclistas en las carreteras españolas



## Study and Analysis of Cycling Accident Rates on Spanish Roads

**José Vicente Pedrola Cubells, Diego Sanz Abella y Francisco Selma Mendoza**  
*Comité técnico de Seguridad Vial de la A.T.C.*

### Resumen

En España, ha habido siempre una gran afición al ciclismo deportivo, tanto profesional como aficionado, que entrena permanentemente en las carreteras, preferentemente en los fines de semana, circulando prioritariamente por los arcenes, donde los hay. También, en las áreas rurales hay desplazamientos diarios al campo o a las cooperativas agrícolas a través de los caminos y algún tramo de carreteras locales.

Las políticas de fomento de la movilidad sostenible en los últimos diez años han promovido un mayor uso de la carretera por ciclistas, lo que ha producido un aumento considerable de la accidentalidad de estos usuarios vulnerables.

Esta circunstancia nos ha empujado en el Comité Técnico de Seguridad Vial de la A.T.C. a constituir un grupo de trabajo para el estudio y análisis de esta accidentalidad y extraer conclusiones que aquí exponemos.

Continuaremos, estudiando la tipología de los accidentes más frecuentes y sus causas, las acciones de las distintas administraciones de carreteras, y por último, estableceremos unas conclusiones a modo de Recomendaciones, para mejorar la seguridad de los ciclistas en las carreteras españolas.

### Abstract

Cycling is a very popular sport in Spain, both on the amateur and professional level. Cyclists are constantly training on the roads, mainly at the roadsides, if these exist, and preferably on weekends. Furthermore, in rural areas people are carrying out their daily activities in the fields or agricultural cooperatives travelling through rural paths and local roads.

During the last ten years, alternative policies favoring sustainable mobility have encouraged a greater use of roads by cyclists, significantly increasing the accident rates of these vulnerable road users.

This is the reason why the Technical Committee on Road Safety from the Technical Road Association (ATC) has established a working group for the study and analysis of these accident rates in order to draw the conclusions outlined in this article.

Then, we will review the most frequent causes of such accidents, the Road Administration initiatives in the area of Road Safety, and finally we will establish conclusions as recommendations to improve the safety of cyclists on Spanish roads.

## Prólogo

(Por Roberto Llamas Rubio, Presidente del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) )

La preocupación por la seguridad del grupo de usuarios más vulnerables de las vías ha ido en incremento año tras año en las últimas décadas, a medida que también se iban mejorando las infraestructuras, las cifras generales de siniestralidad de los vehículos motorizados y la concienciación social ante este colectivo iba aumentando. Un caso particular de los denominados usuarios vulnerables son los ciclistas. La diferencia de masa y velocidad entre este tipo de artilugio de desplazamiento (hoy en día incluso motorizados) y los vehículos mayoritarios que circulan por las carreteras (coches y camiones) hace que siempre se lleven la peor parte ante cualquier conflicto con el resto de vehículos. Pero es indudable que el uso de la bicicleta, tanto como práctica deportiva como medio de desplazamiento rutinario en las ciudades, ha ido in crescendo en los últimos veinte años en nuestro país, aunque desgraciadamente ha ido acompañada con un aumento del número de accidentes de tráfico en los que se ven involucrados ciclistas.

Es por ello, que en las políticas de mejora de la seguridad vial se han contemplado específicamente medidas para mejorar la seguridad de circulación de este colectivo. No quisiera dejar pasar la oportunidad, para poner en valor la implantación de las auditorías de seguridad viaria en la RCE, tras la transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre, sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias, con las que se ha impulsado tener en cuenta y analizar especialmente la existencia y problemática de todos los usuarios vulnerables (no solo ciclistas), tanto a la hora de proyectar una carretera como en la fase de construcción y en servicio de las infraestructuras.

Así pues, tanto el aumento y fomento del uso de la bicicleta en nuestras vías públicas como el

aumento de la accidentalidad dentro del colectivo ciclista y de la concienciación social ante esta situación, es lo que ha demandado mayores medidas de seguridad para la circulación en bicicletas.

Esta inquietud por mejorar la seguridad del colectivo ciclista fue lo que motivó al Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de la Carretera –ATC– a abordar su estudio y caracterizar su accidentalidad.

Consecuentemente, dicho Comité se propuso, dentro de las actividades a llevar a cabo en durante el periodo anterior (2012-2015), analizar la problemática y trascendencia de la accidentalidad con implicación de ciclistas en España. Para ello se constituyó un grupo de trabajo “ad hoc”, tutelado o liderado por Pablo Sáez, miembro del comité y perteneciente a ACEX –Asociación de Conservación y Explotación– y que ha estudiado este tipo de accidentalidad entre los años 2003-2012, basándose en los datos existentes en el registro oficial estadístico de accidentes de la Dirección General de Tráfico del Ministerio de Interior.

La publicación del presente artículo es el colofón a dicha labor. En él, tras unas breves consideraciones sobre la vulnerabilidad de este colectivo y sobre las principales tipologías de los usuarios de la bicicleta, su caracterización y necesidades, se pasa a tratar más en detalle la accidentalidad, resumiendo los resultados más significativos del análisis realizado por el grupo de trabajo.

Por último y como Presidente del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de la Carretera, quisiera expresar mi agradecimiento a todos los miembros que de alguna manera han participado y contribuido al trabajo desarrollado por el grupo anteriormente citado, y en especial a los autores de este artículo por su esfuerzo y dedicación.

## Introducción

El Comité técnico de Seguridad Vial de la A.T.C. constituyó en 2014 un Grupo de estudio de "usuarios vulnerables en la carretera", al objeto de estudiar la accidentalidad en este tipo de usuarios, que iba en aumento en los últimos diez años.

Fueron nombrados Presidente Pablo Sáez Villar y Secretario Francisco García Sánchez, constituyéndose una Ponencia con José V. Pedrola Cubells, Diego Sanz Abella y Francisco Selma Mendoza que iniciaron sus trabajos después de una primera conclusión: separar ciclistas y peatones en su análisis, por cuanto, con los primeros datos y comparaciones, se comprobaron causas y motivos distintos entre ambos. Se optó por estudiar primero la accidentalidad en ciclistas para, en base a su análisis, proceder a continuación a elaborar las Recomendaciones pertinentes.

En la recopilación de datos facilitados por la D.G.T. colaboró activamente en su tratamiento y recopilación Pablo Sáez Villar, para posteriormente elaborar el trabajo que se presenta los ponentes mencionados.

### 1. La vulnerabilidad de los ciclistas

Uno de los objetivos de la Unión Europea en la recta final del siglo XX y principios del XXI ha sido promover una movilidad sostenible, que implica una nueva orientación en los planteamientos en materia de tráfico y transporte, tanto en el medio urbano como interurbano.

En las ciudades españolas, en los últimas dos décadas se han ido generalizando políticas de calmado de tráfico, peatonalización de los centros urbanos o históricos, potenciación del transporte público y últimamente una eclosión de vías, carriles o espacios destinados a la circulación de bicicletas, así como la progresiva implantación de bicicletas de uso público en régimen de alquiler como elemento básico de la movilidad en la ciudad.

En la carretera, las políticas de mejora de seguridad vial y el planteamiento de auditorias en el proyecto, construcción y gestión han impulsado a tener en cuenta de forma específica la existencia de usuarios vulnerables (motociclistas, ciclistas y peatones), proyectando y construyendo tan-

to vías segregadas para ciclistas como arcenes-bici, de los que la Diputación de Valencia y la Generalitat Valenciana fueron pioneras en España.

Las características de este medio y la necesidad de compartir espacio con peatones y otros medios de transporte motorizados hacen necesario un profundo estudio de la accidentalidad de los ciclistas para establecer una serie de recomendaciones que pretenden mejorar la seguridad en la circulación de estas.

En los últimos veinte años se ha producido en España un incremento considerable del uso de la bicicleta, aumentando considerablemente el número de accidentes de tráfico en el que intervienen ciclistas. Entre enero de 2001 y diciembre de 2011 se han producido 835 muertes de ciclistas.

El perfeccionamiento del automóvil ha conducido a un aumento de la potencia de los motores, que equivale a un aumento de la velocidad máxima alcanzable. Con el aumento de la velocidad, los conductores establecen un campo de atención más estrecho y lejano, y disminuyen su atención hacia los laterales más próximos. Así, se concentran selectivamente en la detección de los peligros de mayor envergadura frente a los menos amenazadores, más bien los más vulnerables: los peatones y los ciclistas.

La velocidad es un factor clave, no solo en la accidentalidad, sino también en la gravedad de los accidentes. Resulta necesario que la circulación de los ciclistas se produzca con mayores condiciones de seguridad. Por tanto debemos:

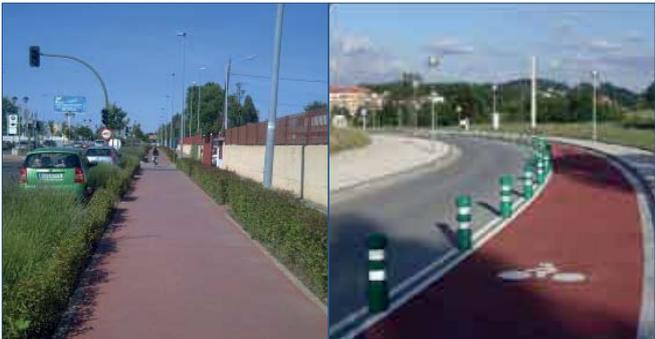
- Reducir el número de encuentros entre los ciclistas y el tráfico motorizado veloz.
- Reducir las diferencias de velocidad allí donde la separación entre las bicicletas y los vehículos motorizados sea imposible o no deseable.

Lo ideal sería separar tráfico tan dispares desde el punto de vista de la velocidad que en caso de accidente hace que tenga que absorberse una gran energía cinética.

Pueden verse en las fotografías siguientes elementos utilizados como separadores entre carriles - bici y la calzada de la carretera o viales urbanos.



Carriles segregados reservados a ciclistas y peatones en ámbito urbano. Separadores



Carriles segregados reservados a ciclistas y peatones en ámbito interurbano. Separadores

### 1.1. Tipologías de los usuarios de la bicicleta

Los usuarios de las vías ciclistas presentan diferentes características y necesidades. El análisis de las mismas es un aspecto muy importante a tener en cuenta en el estudio de los accidentes en los que estos intervienen.

Los distintos Manuales de Recomendaciones de las Comunidades Autónomas para el diseño de vías ciclistas los clasifican en función del modo y motivo del desplazamiento:

- **Urbano cotidiano**

Las distancias de recorrido de este tipo de usuarios se consideran cortas, entre 3 y 8 km en cada viaje de ida o de vuelta. Los movimientos son debidos a desplazamiento a centros de trabajo, compras, relaciones personales...etc.

- **Urbano y periurbano recreativo**

Este tipo de usuario utiliza la bicicleta como medio de realización de ejercicio saludable y de acceso a centros recreativos como parques o espacios libres. Las distancias de recorrido son pequeñas, pero sensiblemente mayores a las del caso anterior, enmarcándose entre 5 y 12 km.

- **Recreativo de día no laborable**

Los usuarios enmarcados dentro de esta tipología utilizan la bicicleta para el disfrute de la naturaleza y el medio rural en sus días de descanso laboral. Las distancias de recorrido consideradas van desde 20 a 40 km.

- **Cicloturista de medio o largo recorrido**

El motivo de desplazamiento de este tipo de usuarios es la realización de turismo utilizando como medio de transporte la bicicleta. Son también denominados en estas publicaciones como personas que realizan turismo de "alforjas". Se considera que los recorridos tipo son entre 40 y 80 km.

- **Deportivo de montaña**

Este tipo de usuarios utiliza la bicicleta como medio para practicar deporte de forma intensa en la naturaleza, con longitudes de recorrido de 30 a 50 km.

- **Deportivo de carretera**

Presentan las mismas características que la tipología anterior, con la diferencia que no se desplazan por caminos de montaña, sino por carreteras convencionales. Las distancias de recorrido son mayores, de 50 a 120 km.



Ciclista deportivo (circulación en fines de semana)



Ciclista urbano cotidiano ( circulación todos los días de la semana)



Ciclista recreativo (circulación en finde)

Características y necesidades en función de la tipología de usuarios			
Tipología de usuarios	Motivo desplazamiento	Longitud recorrido tipo	Exigencias en cuanto a gradiente
1.- Urbano cotidiano	Trabajo, compras...	3 - 8 km viaje i/v	Altas
2.- Urbano y periurbano no recreativo	Ejercicio suave y saludable	5 -12 km	Medias-altas
3.- Recreativo de día no laborable	Acceso y disfrute naturaleza	20 - 40 km	Medias
4.- Cicloturista de medio o largo recorrido	Turismo de "alforjas"	40 - 80 km	Medias
5.- Deportivo de montaña	Ejercicio intenso en naturaleza	30 - 50 km	Bajas
6.- Deportivo de carretera	Ejercicio intenso al aire libre	50 - 120 km	Medias-bajas

## 2. Accidentalidad de ciclistas en España

Los usuarios de bicicletas se han visto implicados en un nº creciente de accidentes con víctimas entre el año 2003 y el 2012:

Número de accidentes con víctimas, fallecidos, heridos (Graves y Leves), con bicicletas implicadas. Años 2003-2012. Fuente: DGT										
Bicicletas	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Nº accidentes con víctimas	2266	2485	2338	2520	2701	2971	3469	3606	4526	5150
Nº muertos	78	89	82	75	89	54	56	67	49	72
Nº heridos (graves y leves)	2123	2310	2201	2366	2568	2802	3262	3429	4301	4934

Evolución de los fallecidos en bicicletas en vías urbanas e interurbanas. Años 2003-2012. Fuente: DGT										
Tipo de vía	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Vías interurbanas	63	68	59	55	67	43	43	49	37	53
Vías urbanas	15	21	23	20	22	11	13	18	12	19
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>89</b>	<b>82</b>	<b>75</b>	<b>89</b>	<b>54</b>	<b>56</b>	<b>67</b>	<b>49</b>	<b>72</b>

Accidentes de tráfico con víctimas, con bicicletas implicada en vías urbanas e interurbanas. Año 2012. Fuente: DGT							
Tipo de vía	Accidentes con víctimas		Fallecidos	Heridos graves		Heridos leves	
	Número	%		Número	%	Número	%
Vías interurbanas	1289	17%	53	304	53%	1192	27%
Vías urbanas	6194	83%	19	268	47%	3170	73%
<b>TOTAL</b>	<b>7483</b>	<b>100%</b>	<b>72</b>	<b>572</b>	<b>100%</b>	<b>4362</b>	<b>100%</b>



Diversa Señalización de aviso de tráfico intenso: ciclistas

# España encabeza la clasificación europea de ciclistas fallecidos en carretera

De la observación de los datos de accidentalidad con implicación de ciclistas en el decenio 2003-2012 se concluye:

- El nº de accidentes con víctimas de CICLISTAS ha aumentado considerablemente, desde 2266 a 5150 accidentes.
- Los accidentes se produjeron mayoritariamente en vías urbanas (80 %), mientras que el número mayor de ciclistas fallecidos se produjo en vías interurbanas (75%).



### 2.1. Datos de accidentalidad en España: comparativa distintos vehículos

Analizamos la evolución del nº de ciclistas fallecidos en accidentes por comparación, respecto los demás usuarios de las carreteras españolas.

Observando los cuadros anexos de los últimos diez años (periodo 2003 – 2012), comprobamos que se han producido 711 muertes de ciclistas en las carreteras españolas. Sin embargo, observamos con preocupación que los accidentes con víctimas en los que intervienen ciclistas aumentan progresivamente desde un 2% en 2003 hasta un 6% en 2012.

Accidentes con víctimas por tipo de vehículo. España. Años 2003-2012. Fuente: DGT										
Tipo de vehículos	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Bicicleta	2%	3%	3%	3%	3%	3%	4%	4%	5%	6%
Ciclomotor	20%	20%	19%	18%	17%	15%	13%	11%	10%	9%
Motocicleta	10%	11%	13%	15%	18%	19%	20%	21%	22%	22%
Turismo	82%	81%	80%	79%	79%	79%	79%	80%	80%	80%
Vehículos mercancías	18%	18%	18%	18%	19%	17%	15%	15%	14%	14%
Autobús	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%



Ciclistas circulando en grupo. Automóvil esperando para adelantar



Accidente con ciclistas deportivos implicados

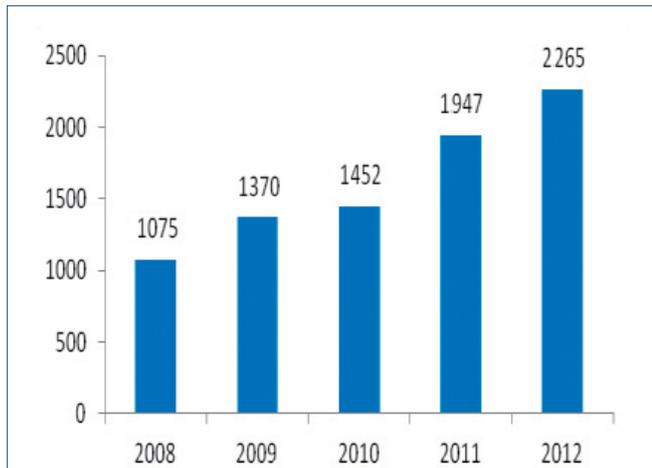
“Los accidentes con víctimas en los que intervienen ciclistas aumentan progresivamente en el período 2003-2012, desde un 2% hasta un 6%.”

Evolución de los fallecidos por tipo de vehículo España Años 2003-2012 Fuente: DGT										
Tipo de vehículos	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Bicicleta	78	89	82	75	89	54	56	67	49	72
Ciclomotor	391	361	313	308	248	183	156	100	74	66
Motocicleta	367	400	472	481	632	495	438	386	348	302
Turismo	3211	2692	2390	2095	1821	1501	1263	1197	977	872
Vehículos mercancías	476	442	385	403	322	263	239	185	172	147
Autobús	27	4	26	35	15	27	21	4	3	3
Otros vehículos	62	70	94	94	105	75	71	68	57	65
Peatones	787	683	680	613	591	502	470	471	380	376
<b>Total fallecidos</b>	<b>5399</b>	<b>4741</b>	<b>4442</b>	<b>4104</b>	<b>3893</b>	<b>3100</b>	<b>2714</b>	<b>2478</b>	<b>2060</b>	<b>1903</b>

## 2.2. Datos de accidentalidad de ciclistas en España (totales).

La evolución del número de accidentes en los que se ha visto implicado una bicicleta en el periodo 2008/2012 sigue una evolución continuada y creciente.

Así en los años del estudio se ha duplicado el número de accidentes en los que se ha visto involucrado, cuando menos, un ciclista, pasando en este periodo de 1075 accidentes en 2008 a 2265 en 2012.

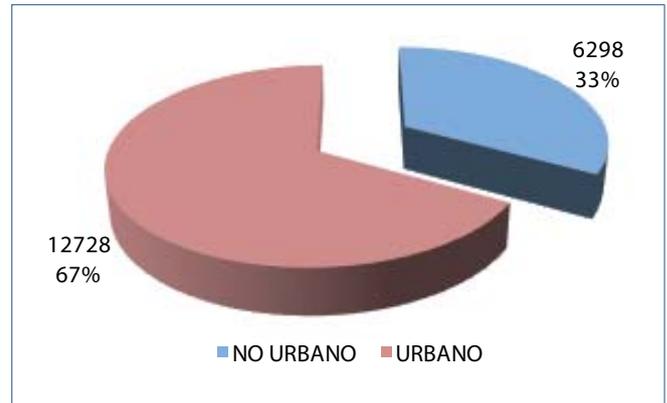


Evolución accidentes con presencia de bicicleta. España. Años 2008-2012



Ciclista urbano rociado de spray reflexivo blanco

Una vez conocidas las tipologías de accidentes más frecuentes en zona urbana y zona no urbana, se procede a determinar la gravedad de los mismos.

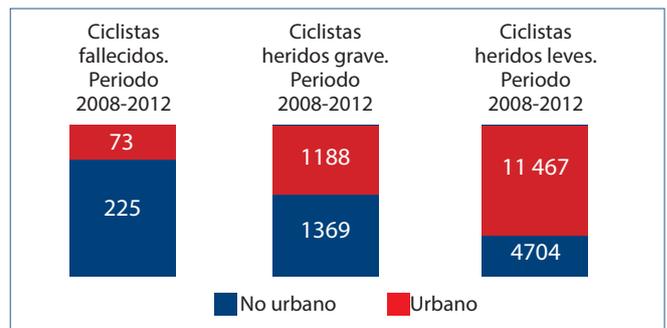


Ciclistas accidentados. Periodo 2008-2012

Del total de ciclistas accidentados el 67% se producen en zonas de ámbito urbano, en cambio la gravedad de los mismos no sigue la misma distribución.

Tal y como se representa en los siguientes gráfico, del total de 298 los ciclistas fallecidos en el periodo de análisis, la mayor parte de ellos (225) han sido causados por accidentes en vías interurbanas. El número de heridos graves presenta una distribución pareja 47/53 entre zona urbana/no urbana, mientras que el número de heridos leves en ámbito urbano es muy superior al ámbito no urbano.

A continuación se representan estos datos con las siguientes gráficas para su mejor comprensión y análisis:



Ciclistas accidentados según tipo de vía. Periodo 2008-2012

Accidentalidad ciclista en ámbito urbano/no urbano en España. Periodo 2003-2012. Fuente: DGT								
DGT	No urbano				Urbano			
	Víctimas	Fallecido	Herido grave	Herido leve	Víctimas	Fallecido	Herido grave	Herido leve
2008	964	43	235	686	1892	11	205	1676
2009	1137	43	268	826	2181	13	221	1947
2010	1188	49	258	881	2308	18	209	2081
2011	1460	37	304	1119	2890	12	285	2593
2012	1549	53	304	1192	3457	19	268	3170
<b>TOTAL</b>	<b>6298</b>	<b>225</b>	<b>1369</b>	<b>4704</b>	<b>12 728</b>	<b>73</b>	<b>1188</b>	<b>11 467</b>

Evolución de la accidentalidad ciclista según tipología de la vía. España 2008-2012. DGT

	AUTOPISTA		AUTOVÍA		VÍA RÁPIDA + CONVENCIONAL + VÍA DE SERVICIO		RAMAL ENLACE		CARRIL LENTO		TOTAL
2008	0	0,00%	12	1,16%	1013	98,16%	4	0,39%	3	0,29%	1033
2009	5	0,40%	53	4,27%	1160	93,55%	15	1,21%	4	0,56%	1241
2010	1	0,08%	53	4,28%	1168	94,42%	10	0,81%	5	0,40%	1238
2011	4	0,25%	44	2,77%	1518	95,41%	23	1,45%	2	0,13%	1592
2012	6	0,33%	48	2,61%	1767	96,24%	14	0,76%	1	0,05%	1837
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>0,23%</b>	<b>210</b>	<b>3,03%</b>	<b>6626</b>	<b>95,46%</b>	<b>66</b>	<b>0,95%</b>	<b>18</b>	<b>0,26%</b>	<b>6941</b>

Como se ha mencionado anteriormente, la mayor gravedad de los accidentes ciclistas se concentran en las vías no urbanas. Entre los diferentes tipos de vías interurbanas, la mayor parte de los accidentes ciclistas (95,46%) se concentran en las carreteras convencionales y vías de servicio.

Esta estadística también hay que interpretarla con el número de usuarios y kilómetros recorridos por los mismos en un ámbito y otro. Por esta razón la gravedad en ciudad parece ser menor que en las carreteras interurbanas como era previsible por la diferencia de velocidades desarrolladas por los vehículos intervinientes.



El club deportivo Caja Rural, posó como ejemplo de cómo atravesar los pasos de peatones

**“Se puede observar que en el período 2008-2012, se mantiene la mayor importancia de la mortalidad de ciclistas en vías interurbanas, mientras que en vías urbanas los heridos leves son mucho más elevados. En cambio los heridos graves son de la misma magnitud.”**

### 2.3. Datos de accidentalidad de ciclistas en España (por tipologías).

En el presente apartado se presentan los resultados obtenidos del análisis discretizado de los ciclistas accidentados en el período 2008-2012 tras el tratamiento de los datos facilitados por la Dirección General de Tráfico.

En este análisis se observa el peso y la evolución de la accidentalidad ciclista siguiendo los siguientes parámetros o variables:

- I Tipología de accidentes ciclistas
- II Evolución de tipologías de ciclistas accidentados según zona. Periodo 2008-2012.
- III Gravedad de los accidentes con ciclistas en vía no urbana según la tipología del accidente
- IV Severidad de los accidentes ciclistas en vía no urbana según tipología de accidente
- V Influencia de la anchura del arcén en la accidentalidad ciclista
- VI Accidentalidad ciclista en intersecciones

#### I Tipología de accidentes ciclistas

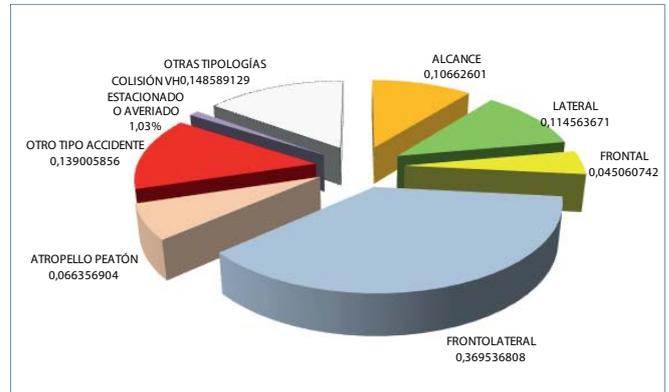
Analizando la accidentalidad ciclista en el periodo 2008-2012, se observa que la mayor parte de los accidentes se producen por colisión frontolateral, seguido por colisión lateral y alcance, tanto en ámbito urbano como no urbano.

Cabe destacar que debido a la multitud de tipologías codificadas en la base de datos de la Dirección General de Tráfico, se han agrupado las que presentan un peso inferior al 1% en la categoría “otras tipologías”. Igualmente en la citada base de datos existe otra tipología denominada “otro tipo de accidente”.

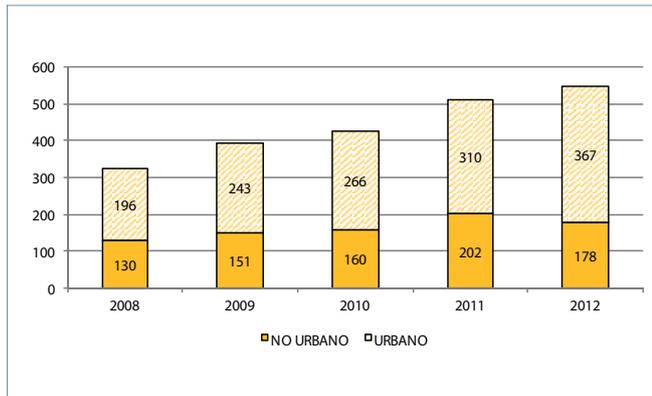
En el apartado 3 del presente documento se representan mediante croquis la tipología de accidentes donde intervienen ciclistas tanto en vías urbanas como en vías interurbanas. Tras el análisis estadístico de los datos se puede afirmar que el 71,25% de los accidentes en los que se ven involucrados los usuarios de la bicicleta se encuentran reflejados en los citados esquemas.

## II Evolución tipologías de ciclistas accidentados según zona. Periodo 2008-2012

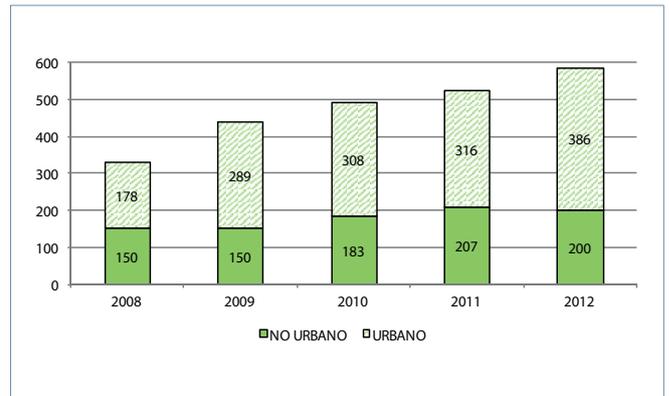
En los gráficos siguientes se representa la evolución de los accidentes ciclistas en el periodo de análisis diferenciando las zonas en las que se producen para cada tipología de accidente de forma independiente.



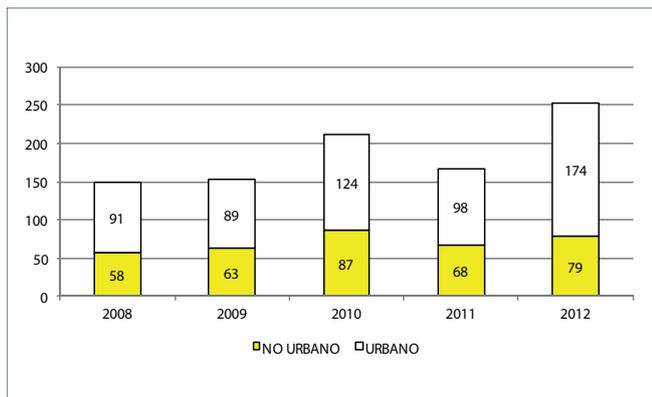
Tipología de accidentes ciclistas. Periodo 2008-2012



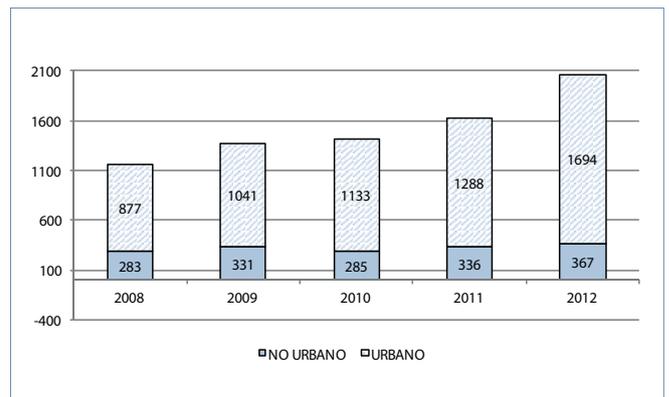
Ciclistas accidentados por alcance. Periodo 2008-2012



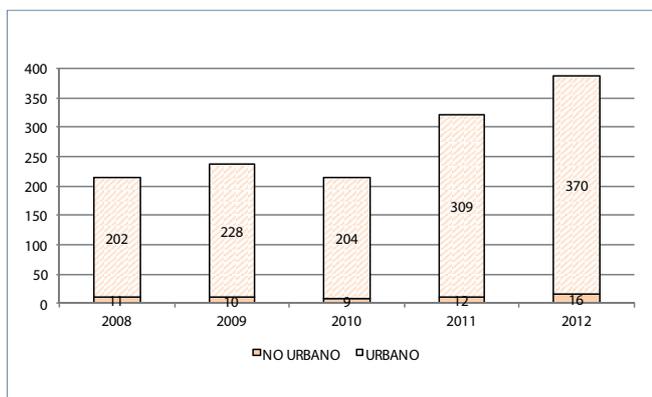
Ciclistas accidentados por colisión lateral. Periodo 2008-2012



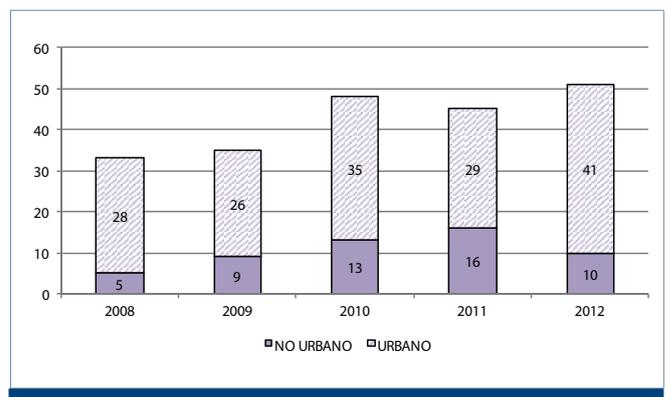
Ciclistas accidentados por colisión frontal. Periodo 2008-2012



Ciclistas accidentados por colisión frontolateral. Periodo 2008-2012



Ciclistas accidentados por atropello peatón. Periodo 2008-2012



Ciclistas accidentados por colisión vehículo estacionado o averiado. Periodo 2008-2012

### III Gravedad de los accidentes con ciclistas en via no urbana según la tipología del accidente

En zona no urbana el mayor número de fallecidos se producen en accidentes por alcance (25%), seguidos de los producidos por colisiones frontolaterales (21%). En el caso de colisión frontal y lateral, los porcentajes descienden al 16% y 15%, respectivamente.

Respecto a los ciclistas heridos en vías interurbanas, los de mayor gravedad se producen principalmente por colisión frontolateral (25%). Los heridos graves consecuencia de accidentes por alcance, colisión lateral y colisión frontal representan un 17%, 12% y 10%, respectivamente. La mayor parte de heridos leves en vías no urbanas se producen por colisiones frontolaterales (27%), seguidas de colisiones laterales (15%) y alcances (13%).

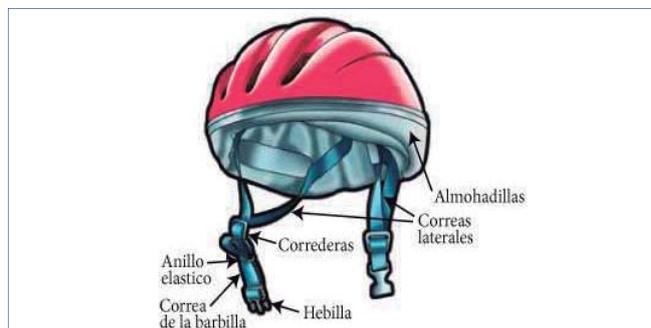
### IV Severidad de los accidentes con ciclistas en via no urbana según tipología del accidente

En el presente apartado se diferencian para cada una de la tipologías de accidentes más frecuentes en vías no urbanas la gravedad de los ciclistas accidentados, diferenciando entre fallecidos, heridos graves y heridos leves durante el periodo 2008-2012.

NO URBANO. PERIODO 2008-2012			
	FALLECIDOS	HERIDOS GRAVES	HERIDOS LEVES
ALCANCE	57	233	600
LATERAL	15	164	731
FRONTAL	36	137	255
FRONTOLATERAL	47	351	1249
ATROPELLO PEATÓN	2	9	51
OTROS	68	475	1818
<b>TOTAL</b>	<b>225</b>	<b>1369</b>	<b>4704</b>
		<b>6298</b>	



Los ciclistas, en ciudad, pueden circular con casco, o sin el



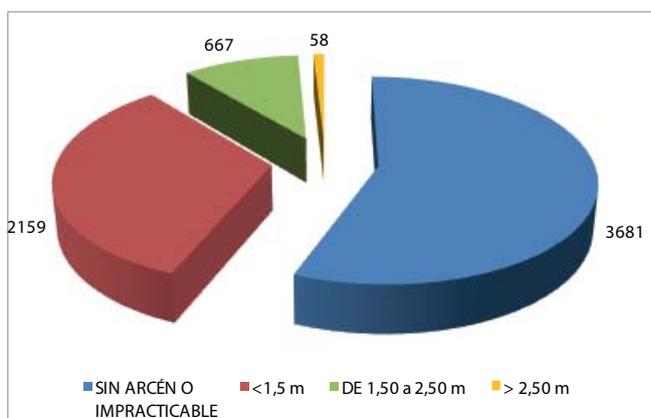
El casco- elemento de seguridad imprescindible para el ciclista

Cabe destacar que los accidentes por colisión frontal y alcance son los que presentan mayores valores de gravedad, donde los fallecidos y heridos graves representan un porcentaje mayor. Las consecuencias de los accidentes por colisión frontal es del 8% de fallecidos y del 26% de heridos graves. En el caso de los accidentes por alcance estos valores descienden al 6% en ciclistas fallecidos y aumentan al 32% en los heridos graves.

Los accidentes por colisión lateral y colisión frontolateral tienen mayor peso en la generación de heridos leves, con un 80% y 76%, respectivamente. El peso de fallecidos y heridos graves en esta tipología de accidentes es menor, con un 2-3% en ciclistas fallecidos y 18-21% en ciclistas heridos graves.

### V Influencia de la anchura del arcén en la accidentalidad ciclista

Tal y como se ha descrito en el presente documento, la mayor gravedad de los accidentes ciclistas se concentran en las carreteras convencionales, vías rápidas y vías de servicio. Ante la falta de espacios específicos reservados para los usuarios de la bicicleta, los ciclistas utilizan los arcenes de este tipo de vías para circular. La geometría de los mis-

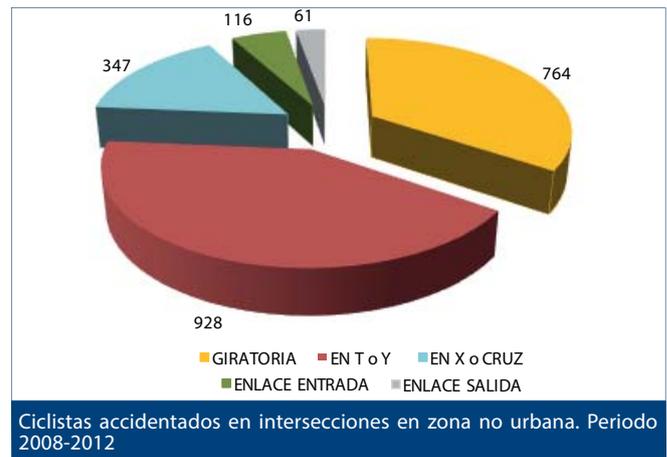


Número de ciclistas accidentados en vías rápidas, carreteras convencionales y vías de servicio en función de la anchura del arcén

Accidentalidad en vía rápida + convencional + vía servicio en función de la anchura del arcén. 2008-2012. DGT											
	SIN ARCÉN O IMPRACTICABLE		<1,5 m		DE 1,50 a 2,50 m		>2,50 m		SIN DATO		TOTAL
2008	551	54,39%	335	33,07%	105	10,37%	2	0,20%	20	1,97%	1014
2009	605	52,16%	403	34,74%	123	10,60%	16	1,38%	13	1,12%	1161
2010	627	53,68%	390	33,39%	126	10,79%	19	1,63%	6	0,51%	1169
2011	822	54,15%	499	32,87%	173	11,40%	14	0,92%	10	0,66%	1519
2012	1076	60,89%	532	30,11%	140	7,92%	7	0,40%	12	0,68%	1768
<b>TOTAL</b>	<b>3681</b>	<b>55,51%</b>	<b>2159</b>	<b>32,56%</b>	<b>667</b>	<b>10,06%</b>	<b>58</b>	<b>0,87%</b>	<b>61</b>	<b>0,92%</b>	<b>6631</b>

mos y su estado de conservación resultan factor relevantes en la accidentalidad ciclista, como se representa en las figuras siguientes.

Analizando la evolución de los accidentes ciclistas en el periodo 2008-2012, se observa que en este tipo de vías donde el arcén no presenta unas condiciones ni dimensiones adecuadas se ha producido un aumento notable en el número de ciclistas accidentados, siendo especialmente importante el incremento en las vías sin arcén o impracticable, al prácticamente duplicar el número de ciclistas accidentados, pasando de 551 (en 2008) a 1076 (en 2012).



## VI Accidentalidad ciclista en intersecciones

Las intersecciones son un elemento especialmente conflictivo en cualquier itinerario ciclista, ya que se concentran en un único punto diferentes usuarios con características, velocidades y trayectorias dispares.

En este apartado se analiza que tipología de intersecciones son las que acumulan un mayor número de ciclistas accidentados en vías no urbanas.

Analizando los resultados obtenidos, las intersecciones en T o Y son las que presentan mayores índices

Accidentalidad ciclista según tipología de intersecciones en zona no urbana. Periodo 2008-2012. DGT											
	GIRATORIA		EN T o Y		EN X o CRUZ		ENLACE ENTRADA		ENLACE SALIDA		
2008	88	23,47%	186	49,60%	68	18,13%	25	6,67%	8	2,13%	
2009	135	30,34%	187	42,02%	88	19,78%	26	5,84%	9	2,02%	
2010	143	40,06%	148	41,46%	46	12,89%	16	4,48%	4	1,12%	
2011	195	38,92%	203	40,52%	69	13,77%	23	4,59%	11	2,20%	
2012	203	37,73%	204	37,92%	76	14,13%	26	4,83%	29	5,39%	
<b>TOTAL</b>	<b>764</b>	<b>34,48%</b>	<b>928</b>	<b>41,88%</b>	<b>347</b>	<b>15,66%</b>	<b>116</b>	<b>5,23%</b>	<b>61</b>	<b>2,75%</b>	

Severidad de la accidentabilidad según tipología de intersecciones en zona no urbana. Periodo 2008-2012. DGT						
	GIRATORIA		EN T o Y		EN X o CRUZ	
FALLECIDO	2	0,26%	27	2,89%	11	3,19%
HERIDO GRAVE	95	12,35%	187	20,02%	92	26,67%
HERIDO LEVE	672	87,39%	720	77,09%	242	70,14%
<b>TOTAL</b>	<b>769</b>		<b>934</b>		<b>345</b>	

de accidentalidad ciclista, seguidas de las glorietas y las intersecciones en cruz. No obstante, la gravedad de los accidentes es mayor en las intersecciones en X o cruz, en el que el 29,86% son accidentes mortales o con heridos graves. En cambio, las intersecciones giratorias presentan un porcentaje de fallecidos muy próximo a cero (0,26%) y la mayor parte de los accidentados son herido leves (87,39%).

Adicionalmente se ha analizado la accidentalidad ciclista fuera de intersecciones, observando que más del 82% de los accidentes que se producen en recta, y algo más del 10% en curva suave. Tan solo un 8% tiene lugar en curva fuerte con o sin señalización

Igualmente se ha analizado la influencia de la festividad en la accidentalidad ciclista en vías no urbanas, pudiendo observar una tendencia a igualar los accidentes en periodo laborable y festivo.

## “La mayor parte de accidentes con ciclistas se producen en tramos rectos de carretera convencional.”

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Manual para el Planeamiento, Proyecto y Ejecución de Pistas Ciclistas”. AIPCR. Madrid.1.985
- [2] “Guide Général de la Voirie Urbaine”, Ministère de l’Équipement, du Logement, de l’Aménagement du Territoire et des Transports. AIVF / CETUR.1988.
- [3] “La bicicleta en la ciudad”. M. Fomento. 1996
- [4] “Normativa técnica para la redacción de Proyectos de Itinerarios/Rutas ciclistas/peatonales”. Diputación de Valencia. Área de Carreteras. 1.997.
- [5] “Manual de recomendaciones de diseño, construcción, infraestructura, señalización, balizamiento, conservación y mantenimiento de carril bici”. Ministerio del Interior. Dirección General de Tráfico. 2001.
- [6] “Recomendaciones de vías ciclistas”. Comunidad de Madrid. Consejería de obras públicas, urbanismo y transportes. Alfonso Sanz Alduan, Antonio Fernández Zúñiga, Pedro Puig-Pey. Dirección General de Carreteras. 2001.
- [7] “Señalización de Vías Ciclistas en la Comunidad Valenciana”. Joan Cerveró Pozo. Consellería d’Obres Públiques, Urbanisme i Transport. Generalitat Valenciana. 2001.
- [8] “Plan Director Ciclable 2003-2016”. Diputación Foral de Vizcaya.2002.
- [9] “Plan de la red de Vías Ciclistas de Guipúcoa”. Diputación Foral de Gipuzkoa.2002.
- [10] “National Cycling Policies for Sustainable Urban Transport. Policy Note and Declaration”. European Conference of Minister of Transport. Paris 2004.
- [11] “Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT)”. Ministerio de Fomento. Junio 2005
- [12] “Manual de vías ciclistas de Guipúzcoa. Recomendaciones para su planificación y proyecto”. Alfonso Sanz, Igor Martín, José Francisco Cid, Ander Irazusta, Itziar Eizaguirre. Diputación Foral de Guipúzcoa. 2006.
- [13] “Manual per al disseny de vies ciclistas de Catalunya”. Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. 2007. Antoni Bedoya i Echarve, Lara Medina y Sara Hernández.
- [14] “Plan Director de la bicicleta en Navarra”. Gobierno de Navarra.2007.
- [15] “The National Cycling Strategy”. Department of Transport. United Kingdom.2007.
- [16] “Plan Director Movilidad Ciclista de Madrid”. “Criterios para el diseño y trazado de vías ciclistas” Alfonso Sanz Aludán. Ayuntamiento de Madrid. Abril 2008.
- [17] “Plan Regional de Vías Ciclistas y Peatonales de Madrid”. (Plan CIMA). Comunidad de Madrid .2008.
- [18] “Tipología y secciones transversales de vías ciclistas en España”. Miguel Ángel Carrera Hueso, Diego Sanz Abella, Francisco Selma Mendoza. Revista Carreteras. Nº 172.Asociación Española de la Carretera.2010.
- [19] “Trazado de vías ciclistas en España”. Miguel Ángel Carrera Hueso, Diego Sanz Abella, Francisco Selma Mendoza. Revista Carreteras. Nº 174.Asociación Española de la Carretera. 2010.
- [20] “Pro bici. Guía de la Movilidad Ciclista. Métodos y técnicas para el fomento de la bicicleta en áreas urbanas”. IDEA y Transyt. Julio 2010.
- [21] “Firmes empleados en vías ciclistas en España”. Miguel Ángel Carrera Hueso, Diego Sanz Abella, Francisco Selma Mendoza. Revista Carreteras. Nº 176.Asociación Española de la Carretera. 2011.
- [22] “La movilidad segura de los colectivos mas vulnerables. La protección de peatones y ciclistas en el ámbito urbano.”. Observatorio Nacional de Seguridad Vial. D.G.T. Diciembre 2011.
- [23] “Tipología, Secciones, Trazado y Firmes de vías ciclistas en España”. Miguel Ángel Carrera Hueso, Diego Sanz Abella, Francisco Selma Mendoza. Ponencia XXI Congreso Vyodeal. A.E.C. Ibiza. 2011.
- [24] “Recomendaciones Técnicas para el diseño de Vías Ciclistas en España”. Miguel Ángel Carrera Hueso, Diego Sanz Abella, Francisco Selma Mendoza. Ponencia. V Congreso Nacional de Seguridad Vial. A.E.C. Logroño. 2011.
- [25] “Proyectar Vías Ciclistas”. Miguel Ángel Carrera Hueso, Diego Sanz Abella, Francisco Selma Mendoza. Libro editado por la Diputación de Valencia. Valencia 2012.

# Metodología para el análisis de los ahorros de energía en el alumbrado de túneles de carretera



## Energy Savings Methodology for Road Tunnel Lighting

Comité de Túneles de Carretera  
Asociación Técnica de Carreteras

### Resumen

En el presente artículo, el Comité de Túneles de la ATC presenta una metodología que permite analizar las modificaciones que se podrían implantar en el alumbrado de un túnel en servicio para incrementar su eficiencia energética, manteniendo las condiciones de seguridad, facilitando la valoración de los costes de implantación y de los ahorros que se producirán en el consumo. Esta metodología permite evaluar de manera eficaz y fiable diversas medidas que puede ejecutar el explotador y elegir aquellas que sean más rentables y que proporcionan un mayor retorno de la inversión o un menor tiempo de amortización. Para facilitar su interpretación se incluye un ejemplo práctico y real de aplicación de la metodología presentada y que muestra cómo, en determinados casos, se pueden obtener importantes ahorros energéticos con pequeñas actuaciones, manteniendo los niveles de iluminación requeridos por la normativa de aplicación.

Asimismo se repasan los factores que influyen en el alumbrado de un túnel y se destacan diversas actuaciones que pueden desarrollar las empresas explotadoras, con sus propios medios, para mejorar la eficiencia energética de la instalación. Por último se realizan diversas recomendaciones en relación con los criterios que deben aplicarse en el diseño del alumbrado de un túnel de carretera con el fin de mejorar su eficiencia energética, manteniendo las condiciones de seguridad.

### Abstract

In this paper, the Tunnels Committee of the Spanish Road Association (ATC after its initials in Spanish) presents a methodology that allows analyzing the modifications that could be implemented in the lighting of a tunnel in service to increase energy efficiency while maintaining safety conditions, improving the assessment of implementation costs and savings that will result in operational. This methodology allows evaluating efficiently and reliably various measures that can be run by the operator and choosing those that are most profitable and that provide a greater return on investment or a shorter payback period. To make its interpretation easier, a practical and realistic application example of the methodology presented is included in the paper. It shows how, in certain cases, significant energy savings can be achieved with small actions, maintaining lighting levels required by the applicable regulations.

Additionally, the paper reviews factors influencing the lighting of a tunnel and various activities that can develop operating companies with their own means to improve the energy efficiency of the facilities. Finally, a number of recommendations are made regarding the criteria to be applied in the design of the road tunnel lighting in order to improve energy efficiency while maintaining safety conditions.

## Prólogo

(Por Rafael López Guarga, presidente del Comité Técnico de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras)

Uno de los objetivos que se marcó el Comité de túneles de la Asociación Técnica de Carreteras para el ciclo 2012-2015, recién finalizado, fue el de analizar el estado del arte de la iluminación de los túneles para poder emitir unas recomendaciones que mejoren la eficiencia de esta instalación, sus condiciones de mantenimiento, la uniformidad en el rendimiento y su fiabilidad y, en definitiva, la reducción del consumo eléctrico y por tanto la mejora de la factura por este concepto. Para ello se creó un grupo de trabajo que abordase este asunto y fruto de ello fue el artículo “*Consideraciones del Comité de Túneles de la ATC sobre el empleo de tecnología led en el alumbrado de túneles*”, publicado en esta revista en su nº 154 de enero-marzo de 2013, y el que a continuación se presenta bajo el título “Propuesta del Comité de túneles de la ATC de una Metodología para el análisis de los posibles ahorros de energía en el alumbrado de túneles de carretera”.

Aunque recientemente se han aprobado por parte de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento las “Recomendaciones para la Iluminación de túneles”, el Comité de túneles ha querido exponer su punto de vista sobre los criterios de proyecto del alumbrado al objeto de reducir el consumo de energía sin afectar a la seguridad en la circulación, estableciendo para ello una metodología basada en la revisión de los cálculos, en la comprobación, medición y verificación en el campo, en un ajuste de los diferentes parámetros, en un análisis de las distintas actuaciones a llevar a cabo y en un estudio económico. Posteriormente se aplica la metodología a un caso práctico y se extraen una serie de recomendaciones y conclusiones.

## 1. Introducción

El alumbrado de los túneles es una de las instalaciones que más contribuye al confort y a la seguridad vial al circular por los mismos. Debido al elevado consumo energético que representa se procura obtener una óptima eficiencia en su proyecto, instalación y mantenimiento.

En este artículo se recogen algunas consideraciones del Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) con la finalidad de incrementar la eficiencia energética en los túneles en servicio.

Se centra fundamentalmente en las medidas que podría adoptar el conservador – explotador con sus propios medios, sin abordar aquellas otras que requieren una actuación de mayor calado o que solamente pueden acometerse adecuadamente en la etapa de proyecto o ejecución.

También se incluyen unas consideraciones sobre las normativas de aplicación y los niveles en ellas establecidos,

proponiendo mejoras en el proyecto, explotación y mantenimiento del alumbrado que se considera pueden repercutir en disminuir el consumo de energía sin que por ello se produzca menoscabo o disminución en la seguridad.

## 2. Metodología para establecer los posibles ahorros de energía en el alumbrado de túneles en servicio

A continuación se propone una metodología para analizar las diversas medidas, basadas en la buena práctica, que se pueden adoptar con el objeto de reducir el consumo de energía eléctrica en el alumbrado de un túnel en servicio:

### 2.1 Revisión de los cálculos de alumbrado

En primer lugar se deben revisar los cálculos del alumbrado del túnel, verificando las hipótesis que se consideraron en su proyecto, que pueden coincidir o no con las condiciones reales de explotación. Se debe considerar que la situación a lo largo de la vida del túnel cambia y que los cálculos se hacen antes de la instalación, previendo un factor de conservación, generalmente muy estricto, que se alcanzaría, en todo caso, pasados muchos años. A efectos de una gestión eficaz de la energía, ya en la fase de cálculo de proyecto se debería considerar esta circunstancia y adaptarla a la situación real.

### 2.2 Comprobación de la distribución de luminarias

Se debe verificar “in situ” la potencia de las lámparas, así como el modelo, posición, altura, interdistancia y orientación de las luminarias dispuestas en el túnel para conocer si la instalación se ejecutó de acuerdo con los parámetros definidos en el proyecto de alumbrado así como las posibles modificaciones introducidas durante la explotación al objeto de poder comparar adecuadamente los valores medidos en campo con los previstos en proyecto.

### 2.3 Medición de la iluminación real

Se debe medir la distribución de luminancias o iluminancias en las distintas zonas del túnel con los distintos niveles activados. Para optimizar los trabajos se recomienda que al menos se realicen estas medidas en las zonas que más energía consumen, que son la zona umbral con el nivel soleado (mayor potencia instalada) y la zona interior (por su condición de encendido permanente).

Las mediciones se pueden realizar mediante luxómetro (medición de la luz que llega a la calzada y cuya unidad es el lux) o luminancímetro (medición la luz que refleja la calzada en dirección al conductor y cuya unidad es la cd/m<sup>2</sup>) aunque en este último caso deberá prestarse especial atención al estado del pavimento. Desde el punto de vis-



Mediciones del alumbrado



Túnel de Campo (unidireccional). N-260 Huesca



Túnel de San Simón (bidireccional). A-2 Huesca

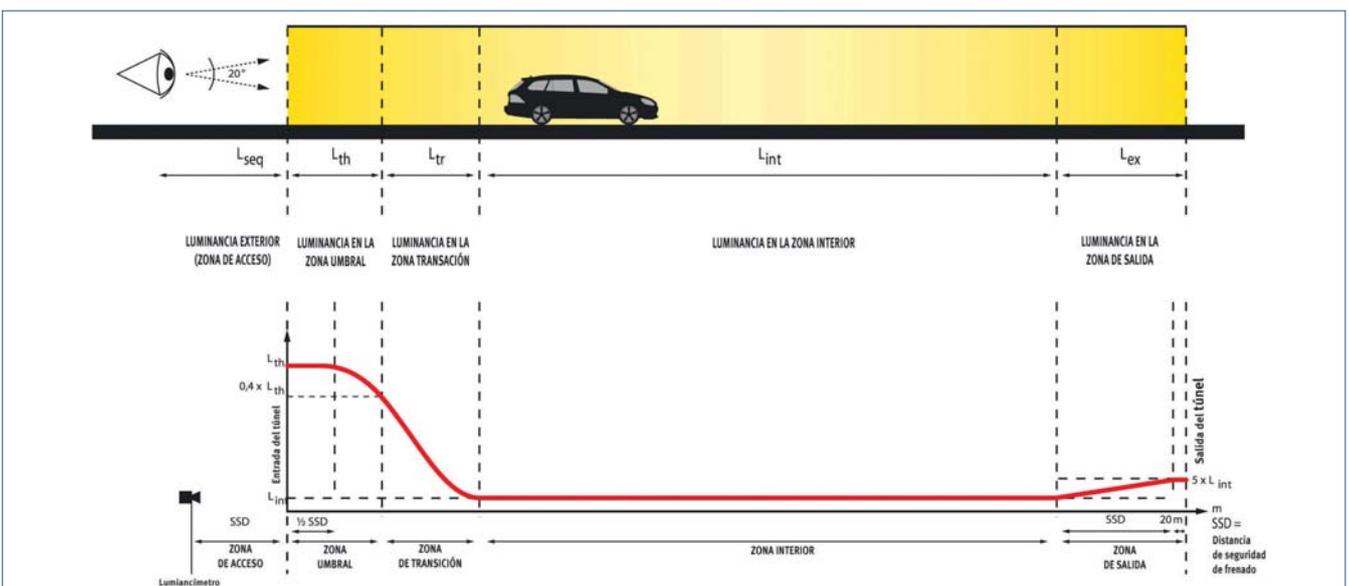
ta práctico la mayor parte de comprobaciones y ajustes se pueden realizar a partir de los valores de iluminancia medidos con el luxómetro ya que es una medida objetiva, más fácil y rápida de realizar que con el luminancímetro.

El procedimiento de medida está claramente explicado en diversas normativas, concretamente en el RD 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. En síntesis, consiste en medir la luminancia o iluminancia en los puntos de una cuadrícula a partir de los cuales

se verifican los valores medios del área y las uniformidades globales y longitudinales alcanzadas. Especial importancia tiene el que la rejilla empleada disponga de un adecuado número de puntos de medición y su distribución respecto a las luminarias y a los carriles de circulación.

## 2.4 Cálculo de los niveles de iluminación necesarios

Dado que el proyecto de alumbrado de un túnel se suele realizar antes de la ejecución del mismo, conviene volver a calcular los niveles de alumbrado que son necesarios en



Zonas alumbrado y distribución de luminancias

las distintas zonas según la norma de aplicación y con los parámetros reales del túnel (IMD, distancia de seguridad, % vehículos pesados, L20,...). Esto es de especial importancia si se tiene en cuenta que en fase de proyecto se suelen realizar hipótesis conservadoras y con un horizonte muy lejano correspondiente a la vida útil prevista.

En primer lugar conviene medir el valor L20, luminancia percibida por los conductores al acercarse al túnel, que suele ser determinante para fijar los niveles de iluminación necesarios en la zona de entrada. Además, se debe verificar la clasificación del túnel con los valores reales de tráfico y las condiciones de circulación requeridas, que dependen del número de vehículos por carril y hora, de la proporción de vehículos pesados, de la guía visual que aporte el túnel y de la comodidad requerida en la conducción, para obtener, junto con el tipo de alumbrado dispuesto (simétrico o asimétrico), los niveles necesarios en la boca y en el interior del túnel.

### 2.5 Verificación de los niveles lumínicos exteriores y actuación del control de los distintos niveles de alumbrado

Una parte muy importante del consumo de energía en el alumbrado de un túnel se debe a los refuerzos en la boca de entrada. Es pues de suma importancia que se realice un adecuado control de la activación de los distintos niveles de alumbrado, de acuerdo con las condiciones lumínicas exteriores.

Tal y como se ha indicado anteriormente, los niveles de iluminación de la zona umbral, y como consecuencia de ello en toda la zona de transición, dependen directamente de la luminancia percibida por los conductores al acercarse al túnel, por lo que el control del alumbrado debe realizarse de manera independiente en cada uno de los tubos, en el caso de dos calzadas, a partir de los valores medidos por un luminancímetro dispuesto adecuadamente en las proximidades de la boca de entrada correspondiente.

En caso de disponer de luminancímetro para el control se debe verificar la precisión de sus medidas y que la activación de cada nivel de iluminación se realiza manteniendo la proporción entre L20 y Lth (nivel de luminancia de la entrada) establecida en el proyecto del alumbrado.

En caso de disponer de otros sistemas de control (células fotoeléctricas, relojes,...) se deben analizar las particularidades concretas de cada boca para verificar si existe relación directa entre luminosidad del entorno y luminancia percibida por los conductores, lo que se puede realizar con un luminancímetro portátil. En cualquier caso se recomienda la sustitución de estos sistemas por luminancímetros.

Para mejorar la eficiencia energética de los refuerzos de la boca de entrada es conveniente disponer un elevado número de escalones de encendido, siendo en la práctica complicado su aumento durante la explotación. Normalmente en un túnel nuevo se suele disponer al menos de los niveles soleado, nublado, crepuscular, nocturno y nocturno reduci-



Alumbrado de refuerzo



Alumbrado permanente



Alumbrado en zona de transición

do, aunque convendría incrementar estos escalones en 2 ó 3 más, siendo la situación óptima establecer una regulación continua fácilmente implementable a un bajo coste mediante reguladores de flujo dispuestos en cabecera.

Todas estas actuaciones requieren que se realice una medición de la L20 de cada boca del túnel, en diversas épocas del año y a distintas horas, con el objeto de verificar

su valor máximo de proyecto y facilitar las estimaciones de encendido de cada uno de los niveles de alumbrado.

## 2.6 Cálculo de la distribución de iluminación y ajuste de parámetros

Con la distribución real de luminarias dispuestas en el túnel, verificada en campo, se deben realizar los cálculos lumínicos teóricos del mismo. Se recomienda emplear alguno de los programas disponibles de iluminación de túneles.

Los valores obtenidos se pueden comparar directamente con los medidos “in situ”, en las distintas zonas del túnel, con el objetivo de verificar la bondad de los cálculos teóricos y de las mediciones realizadas. Como norma general, será necesario repetir el cálculo con diversos factores de mantenimiento de la instalación hasta alcanzar la distribución teórica que mejor se adapte a las mediciones realizadas.

En el caso de que los valores teóricos y los medidos “in situ” no se aproximaran suficientemente deberán analizarse los motivos de la desviación, que normalmente corresponderán a la instalación de luminarias con una distribución distinta a la considerada, lámparas en mal estado en la zona de medida, problemas en la instalación o en los equipos auxiliares, mal estado del pavimento o estado no uniforme (en el caso de haber realizado las mediciones en luminancias),...

Una vez que se haya conseguido modelizar con suficiente precisión el alumbrado (coincidencia de los valores teóricos y los medidos “in situ”), se dispondrá de una herramienta adecuada para analizar las variaciones en la luminancia media y en las uniformidades del alumbrado en función de las diversas medidas posibles de actuación. Estas medidas pueden ir en dos sentidos:

- Medidas que incrementen los niveles de alumbrado, como pueden ser mejorar el mantenimiento de la instalación, para aumentar el factor de mantenimiento (en consecuencia aumentarían los niveles medios), optimizar los ángulos de orientación de las luminarias (en determinados casos se podrían mejorar las luminancias percibidas por los conductores o la uniformidad),...
- Reducción del consumo mediante la sustitución de lámparas por otras de menor potencia o el apagado de determinadas luminarias. Esta medida debe ser considerada con prudencia dadas las implicaciones a las que puede dar lugar: efecto flicker, uniformidad,...

## 2.7 Posibles actuaciones para incrementar los niveles de iluminación o su eficiencia energética

De entre las distintas posibilidades para mejorar el alumbrado de un túnel en explotación, a continuación se indican aquellas que pueden ser asumidas por el explotador con el objeto de obtener una mayor eficiencia energé-



Alumbrado con Led en el túnel de calzadas superpuestas de la M40



Túnel de Papers. C-60. Barcelona

tica, que permitirán posteriormente mayores reducciones del consumo. Se omiten aquellas medidas que requieran complicadas actuaciones o inversiones desproporcionadas para el resultado esperado o que son difíciles de acometer con el túnel en servicio (más adelante se recoge una lista exhaustiva de todas las medidas posibles):

- limpieza de luminarias,

- sustitución de lámparas,
- sustitución de balastos o equipos auxiliares,
- cambio de balastos normales por otros electrónicos,
- optimización de los ángulos de orientación de las luminarias,
- instalación o mejora de los sistemas de reducción de flujo del alumbrado permanente,
- limpieza, pintado de hastiales o colocación de paneles de acero vitrificado,
- sustitución de células fotoeléctricas de control por luminancímetros.

## 2.8 Posibles actuaciones para reducir el consumo energético del alumbrado de un túnel en servicio

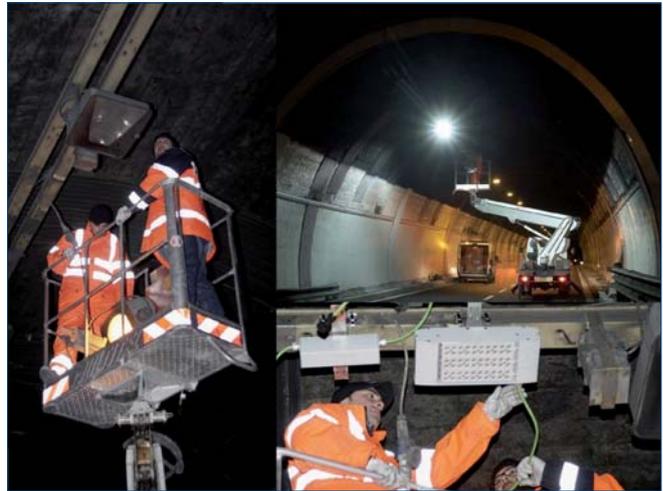
De acuerdo con lo anteriormente indicado se debe proceder a:

- medir la distribución del alumbrado en las distintas zonas del túnel para los distintos niveles de iluminación establecidos,
- desarrollar un modelo teórico ajustado al alumbrado dispuesto en el túnel,
- estimar los incrementos que se podrían alcanzar con distintas actuaciones,
- calcular los niveles que se deberían disponer en cada una de las zonas con los valores en explotación.

Finalmente habría que verificar si los niveles de iluminación del túnel obtenidos con el alumbrado disponible, con las posibles mejoras que se puedan abordar durante la explotación, son mayores que los requeridos y por tanto decidir si es posible reducir la utilización de parte del alumbrado con el consiguiente ahorro de energía.

Las medidas encaminadas a incrementar la eficiencia energética, bien porque incrementen los niveles obtenidos o porque reduzcan el consumo de energía, que se deben analizar para conocer su posible implantación a las condiciones concretas del túnel en explotación, son las siguientes:

- mejoras del mantenimiento para incrementar el factor de mantenimiento (FM) considerado: limpiezas periódicas, sustitución de todas las lámparas y equipos auxiliares al alcanzar su vida útil, ...
- optimización de la orientación de las luminarias,
- cambio de elementos auxiliares por otros de mayor rendimiento,
- sistemas de reducción de flujo de las luminarias,
- incremento, si es posible, del número de escalones de los niveles de iluminación o establecimiento de un sistema de regulación continuo,
- mejoras en el control de los distintos niveles de iluminación, bien por los sensores dispuestos o por el ajuste de la activación de los distintos niveles o por considerar en el mismo otros factores (por ejemplo variaciones en la intensidad del tráfico o condiciones de explotación en determinadas horas o épocas del año),



Operarios reemplazando una luminaria



Instalación experimental de luminarias Led en el túnel de San Simón. A-2. Huesca

- mejoras en los paramentos para incrementar los coeficientes de reflexión (por ejemplo limpieza de hastiales).

En el caso en el que el nivel de alumbrado dispuesto, una vez consideradas las medidas anteriores que se elija aplicar, sea mayor que el necesario, se plantearán una serie de actuaciones, que deberán ser analizadas para determinar la conveniencia o no de su implantación en fase de explotación, debiendo verificarse en todas ellas, mediante el modelo de cálculo establecido, que se mantienen los niveles y uniformidades requeridas en las condiciones de explotación. Estas actuaciones son las siguientes:

- Cambio de lámparas por otras de menor potencia. Se debe analizar si las luminarias permiten esta posibilidad y en qué medida. Esta es una de las mejores soluciones ya que reduce el consumo y el nivel medio y no suele afectar apreciablemente a las uniformidades obtenidas.
- Apagado parcial de luminarias. Es una medida sencilla y barata, pero debe analizarse con cuidado si el apagado es solamente en determinados momentos, en cuyo caso hay que resolver el procedimiento de activación

de dicha condición, o de forma continua, debiéndose comprobar en todo caso que las uniformidades no caigan por debajo de los valores mínimos establecidos.

Otras medidas encaminadas a producir un ahorro en la factura eléctrica, que no suponen un ahorro de energía consumida, podrían ser las siguientes:

- optimización del término fijo de potencia contratada,
- análisis del coste con diferentes tarifas eléctricas,
- posibilidad de unificar los distintos suministros del túnel,
- revisión del coste de la energía reactiva y posibilidades de corrección de este factor.

### 2.9 Análisis económico de las distintas medidas de ahorro posibles

Una vez consideradas todas las medidas que pueden ser viables en un túnel en explotación, se debe proceder al análisis de los costes iniciales y periódicos para su implantación y a su comparación con el ahorro energético que se pueda alcanzar. A continuación se resumen los principales costes a analizar:

- coste inicial de actuación: ajuste de luminarias, implantación de sensores o elementos de control, modificación de la instalación, sustitución de luminarias o balastos, ... Deben quedar incluidos los costes derivados de los necesarios cortes de carril,
- costes periódicos. Son los relacionados con el mante-

nimiento de la instalación para que perduren en los parámetros lumínicos y de eficiencia establecidos. En caso de elegir un Factor de Mantenimiento muy alto se deberán realizar frecuentes limpiezas de las luminarias y reducir el periodo establecido para el cambio de las lámparas. En todo caso se desaconseja esperar al cambio de luminarias y equipos auxiliares a cuando se produzca su fallo o avería ya que si se hace de esta forma se suelen obtener niveles y uniformidades inferiores a los requeridos y unos consumos mayores de energía de los necesarios. En estos costes también se deben incluir los cortes de carril que sean necesarios,

- ahorro de energía. Se debe analizar el ahorro que supondrán en la factura eléctrica todas las medidas planteadas,
- se deben considerar otros factores no cuantificables económicamente y que suponen ventajas para la explotación (por ejemplo: aunque no se reduzca el consumo, si se mejora la eficiencia energética se tendrá mejor iluminación del túnel) o para el entorno (no es necesario extenderse en la conveniencia para el medio ambiente de reducir el consumo de energía aunque no supusiera un importante ahorro económico) o en los factores de sostenibilidad de la explotación.

### 3. Aplicación de la metodología propuesta a un caso práctico

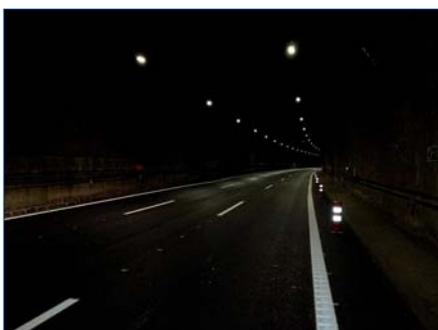
A continuación se expone un caso analizado recientemente con la metodología propuesta. Se recoge únicamente la parte correspondiente al alumbrado interior.

El túnel dispone de luminarias de 150 W de VSAP, colocadas al tresbolillo con una interdistancia de 14 m. Según el proyecto es necesario obtener  $6 \text{ cd/m}^2$  y se considera un Factor de Mantenimiento de 0,7. La instalación dispone de reducción de flujo para horas nocturnas de bajo tráfico.

Según las mediciones realizadas y el modelo teórico de cálculo se dispone de un Factor de Mantenimiento de 0,8 y valores de alumbrado mayores que los establecidos en el proyecto, verificando que la orientación de las luminarias es óptima. Por tanto no es necesaria ninguna actuación inicial para mejorar el rendimiento de la instalación.



Iluminación Led al 100 % de la potencia



Mismo tramo anterior, iluminación Led al 10%



Ejemplo disposición de luminarias



Iluminación zona umbral con VSAP

Con las condiciones de explotación se comprobó que sólo era necesario un nivel de 4 cd/m<sup>2</sup> durante el día y de 2 cd/m<sup>2</sup> durante la noche.

Se comprobó que las luminarias instaladas aceptaban lámparas de 100 W, verificando que los valores obtenidos con ellas mantenían los niveles por encima de las 4 cd/m<sup>2</sup> establecidas y las uniformidades se mantenían prácticamente como las actuales.

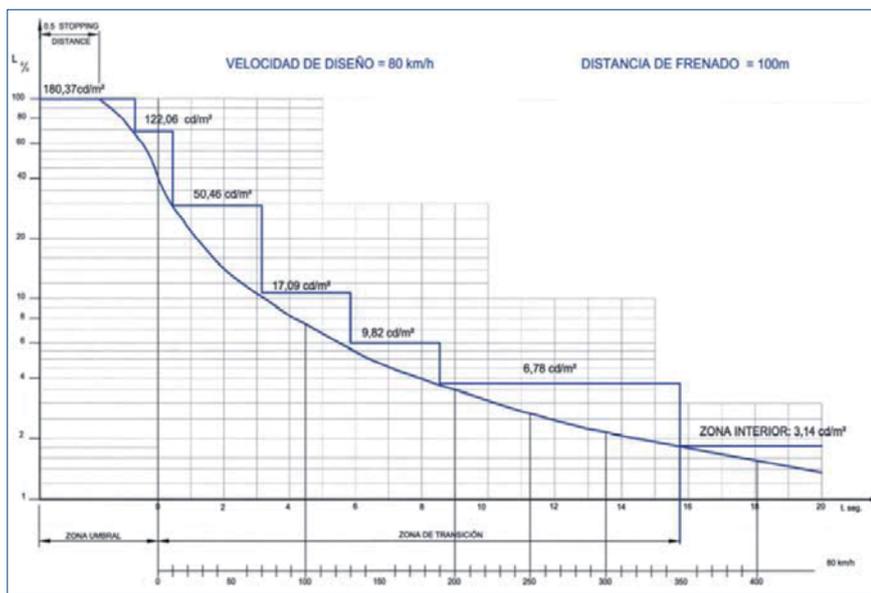
El ahorro de energía que se alcanza con el cambio de lámparas es del 33 % de la energía consumida en el alumbrado permanente por lo que para el caso analizado, suponiendo 6 horas de reducción de flujo, que era lo programado en el túnel, y considerando el consumo de la lámpara y no el de la luminaria al no conocer experimentalmente dicho valor y no afectar a la comparación entre las dos situaciones, se obtiene lo siguiente:

Consumo anual inicial: 1000 m / 14 m entre lámparas x 2 laterales x (150 W lámpara x 18 horas encendido sin reducción + 90 W lámpara con reducción de flujo x 6 horas) x 365 días = 168 628 kWh por km de tubo del túnel y año.

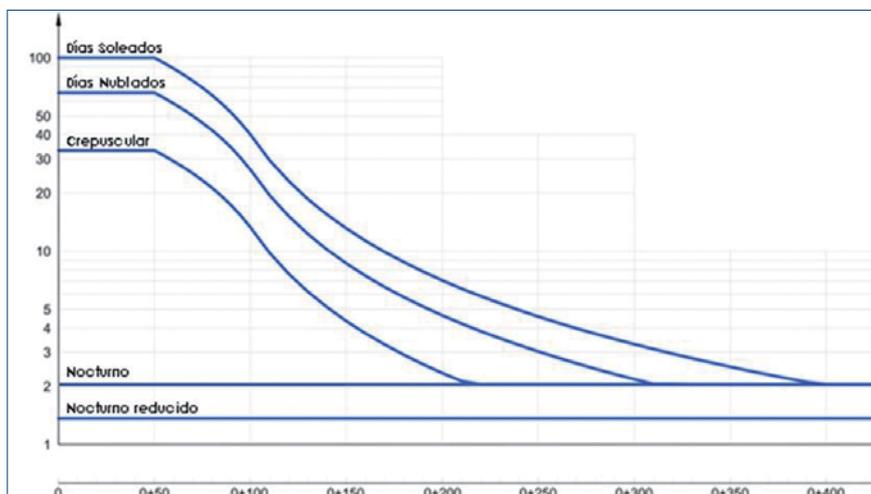
Considerando un valor de 0,12 € el kW hora consumido (al estar liberalizado el mercado de la energía se debe verificar el coste en cada caso y las posibilidades de negociación para mejorar dicho valor) se obtiene un coste de unos 20 000 € año / km por tubo de túnel y de efectuarse el cambio de luminarias un posible ahorro del 33 % que corresponde a unos 6700 € año y km de tubo del túnel.

El coste de sustitución de todas las lámparas por cada km de tubo es de 143 luminarias / km x 80 € por lámpara (incluyendo corte carril, material, personal, maquinaria y limpieza de luminaria) = 11 440 €. En este caso, dada la necesidad de cambiar todas las lámparas cada dos años y medio, no conviene adelantar el cambio programado ya que su amortización es de dos años, coincidente con su vida útil.

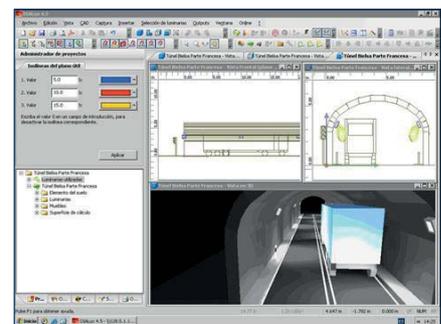
Como se puede observar, el coste de la energía es un parámetro de gran importancia en el análisis económico, lo que hace que en el caso estudiado no sea rentable realizar de manera inmediata el cambio de lámpara. No obstante se decidió sustituir las lámparas de 150 W por otras



Curva de luminancia teórica y proyectada a lo largo de un túnel



Ejemplos de distintos niveles de iluminación para un túnel



Simulación luminotécnica



Luminarias basadas en lámparas LED

de 100 W en el próximo cambio establecido en el plan de mantenimiento. También se obtiene un pequeño ahorro adicional en el coste de la lámpara.

Se mantuvieron las recomendaciones de limpieza periódica de las luminarias y de cambio de todas ellas cada 20 000 horas de funcionamiento (que en la práctica lleva a su cambio cada dos años y medio, al estar encendidas las 24 horas del día todo el año, que corresponde a 8760 horas año) y de los elementos auxiliares al alcanzar la vida útil indicada por el fabricante.

#### 4. Resumen de los parámetros y elementos que afectan al alumbrado de un túnel

A continuación se relacionan los factores que influyen en las necesidades de iluminación de un túnel y en la obtención de los distintos valores. En fase de proyecto se puede analizar la influencia de cada uno de ellos, pero para un túnel en servicio las posibilidades suelen reducirse a las desarrolladas en los apartados anteriores:

- velocidad de proyecto,
- distancia de seguridad,
- túnel unidireccional o bidireccional (algunos túneles bidireccionales con pilares intermedios podrían con-

- vertirse en unidireccionales disponiendo un muro de cierre continuo, lo que disminuye el alumbrado necesario),
- vehículos / hora / carril,
- % de vehículos pesados,
- guiado visual,
- comodidad de conducción requerida,
- luminancia percibida por los conductores al acercarse al túnel (se puede modificar oscureciendo el entorno o disponiendo paralúmenes),
- tipo de alumbrado dispuesto (simétrico o a contraflujo),
- reproducción cromática en alumbrados simétricos,
- reflectancia del pavimento,
- reflectancia de los paramentos verticales,
- modelo de luminaria y curva de distribución lumínica,
- potencia y modelo de lámpara,
- distribución y orientación de luminarias,
- factor de mantenimiento previsto,
- sensor de luminancia en la boca de entrada y control de alumbrado,
- escalones dispuestos en los niveles de alumbrado (entre los que se incluyen los sistemas de reducción de flujo),
- ajuste del alumbrado a la curva de adaptación de forma continua o escalonada.

#### 5. Recomendaciones en los criterios de proyecto del alumbrado al objeto de reducir el consumo de energía

Al objeto de reducir el consumo de energía en los túneles, sin afectar a la seguridad en la circulación, se realizan algunas recomendaciones para el proyecto del alumbrado que influyen en él de manera muy importante (algunos de estos aspectos se recogen en las "Recomendaciones para la Iluminación de Túneles", de febrero de 2015, de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento):

- La distancia de seguridad debería considerarse con pavimento húmedo sólo en la zona umbral y en la de transición, debiendo ser en la zona interior la correspondiente a pavimento seco.
- En túneles largos debería permitirse continuar la reducción del nivel de iluminación, de acuerdo con la curva de adaptación, hasta valores de  $2 \text{ cd/m}^2$  e incluso menores, por el día.
- El nivel del alumbrado en el interior del túnel debería considerarse, salvo casos excepcionales, de  $1 \text{ cd/m}^2$ , permitiéndose su reducción en horarios de bajo tráfico hasta  $0,5 \text{ cd/m}^2$
- En alumbrados con buena reproducción cromática el nivel requerido para el alumbrado simétrico debería reducirse hasta valores iguales o próximos al considerado para alumbrado a contraflujo.



Túnel de Petralba. N-260. Huesca



Túnel hispanofrancés de Somport



VSAP en Somosierra



VSAP en calzadas superpuestas de M-40

## 6. Conclusiones

De todo lo expuesto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se debe revisar si los valores e hipótesis considerados en el proyecto de alumbrado se corresponden con los reales de explotación. Se debe comprobar si se fue conservador o si las previsiones de tráfico no han sido alcanzadas todavía, ya que es posible que se estén utilizando mayores niveles de los requeridos.
- Conviene medir el alumbrado realmente obtenido en la calzada del túnel en las distintas zonas y con los distintos niveles de activación para poder analizar si tiene un adecuado rendimiento y si se pueden proponer actuaciones que lo mejoren.
- Se debe revisar el plan de mantenimiento existente para optimizar los medios disponibles y el factor de mantenimiento (FM) real de la instalación, de forma que el rendimiento sea siempre el adecuado.
- Se deben analizar las posibles medidas de mejora de la eficiencia energética, de reducción del consumo y de disminución del importe de la factura, de forma que se puedan asumir y amortizar con los medios propios del explotador, muchos de ellos descritos en este artículo, y analizar la conveniencia o no de su aplicación a cada caso concreto.
- Muchas posibilidades de obtener mejor eficiencia energética en el alumbrado o menores consumos de energía solamente pueden realizarse en las etapas de proyecto y obra, no siendo viable su aplicación durante la fase de explotación.

## 7. Equipo de redacción

El presente artículo ha sido redactado por un Grupo de Trabajo del Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras, que preside Rafael López Guarga, formado por los siguientes miembros: Juan Manuel Sanz Sacristán (coordinador), Alberto Abella Suárez, Luis Ayres Janeiro, María del Carmen Corral Escribano, Carlos de León Cristóbal, Guillermo Llopis Serrano, Ramón Morera Fauquier, Ángel J. Muñoz Suárez, José Ramón Ochoa Vega, José Manuel Portilla Saiz, Vicente Sebastián Alapont, Enrique Segura Echániz y Enrique Villalonga Bautista.

Las fotografías han sido proporcionadas por: Javier Borja López, José Ramón Ochoa Vega, Ramón Morera Fauquier, Vicente Vilanova Martínez Falero, Juan Manuel Sanz y Eduardo Gutiérrez Cardona.

## 8. Bibliografía

- [1] REAL DECRETO 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. BOE 19 noviembre de 2008.
- [2] Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras. Diario Oficial de la Unión Europea 30 de abril de 2004.
- [3] REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. BOE 27 de mayo de 2006.
- [4] Norma 3.1-IC. Instrucción de Carreteras. Trazado. Ministerio de Fomento.
- [5] Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, por el que se aprueba el texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, publicado en: «BOE» núm. 63, de 14 de marzo de 1990 (derogada por RDL 6/2015 por el que se aprueba texto refundido).
- [6] Orden circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomo II Recomendaciones para la iluminación de túneles. Dirección General de Carreteras. 2015.
- [7] CIE 88:2004 2ª edición. Informe Técnico. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores. Comisión Internacional de Iluminación (CIE). ISBN 3 901 906 31 2.
- [8] Informe UNE-UNE-CR 14380 IN Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles. Septiembre de 2007.
- [9] VI Simposio de túneles de carretera. "Explotación Sostenible de Túneles". Zaragoza, 11 a 13 de marzo de 2015.

# Estado del arte del reciclado en frío de firmes *in situ* en España<sup>1</sup>



## State-of-the-art of On-site Cold Recycling in Spain

**Jesús Díaz Minguela**

*Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de IECA Tecnología*

**Juan José Potti**

*Doctor en Ingeniería Química. Presidente Ejecutivo de la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA)*

**Julio José Vaquero García**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado. Presidente del Comité de Firmes. ATC*

### Resumen

Este artículo describe las razones que han favorecido el desarrollo de esta técnica en España, aportando información sobre las categorías de tráfico, las especificaciones de los materiales y de las secciones estructurales contempladas en la reglamentación española, así como los procesos constructivos y las principales características de las obras realizadas desde que en el año 1991 se recicló el primer pavimento en España.

Se han determinado las leyes de fatiga de los materiales reciclados con cemento, la correlación de su resistencia a compresión a 7 días, parámetro habitual de control en obra, con la resistencia a otras edades, así como la resistencia a flexión a largo plazo. Todo ello para optimizar el diseño estructural de los firmes y poder proponer un catálogo de secciones con capas recicladas con cemento.

El reciclado en frío con emulsión es una tecnología que se ha ido desarrollando en base a la experiencia obtenida en España. Las últimas innovaciones se basan en el uso, como ligante, de mezclas de emulsión y cemento en porcentajes similares.

Con una superficie total de más de 35 millones de metros cuadrados de reciclado en España, puede afirmarse que el reciclado *in situ* con cemento o con emulsión son técnicas asentadas, con un amplio rango de experiencias y un buen conocimiento de los procesos constructivos, así como un buen comportamiento hasta la fecha.

### Abstract

The different reasons favouring this technique are reported. Information like traffic categories, materials specifications and structural sections included in Spanish practice, are provided on projects, as well as the construction process, and the main characteristics of the different works performed since the first pavement was recycled in Spain in 1991.

The fatigue characterization of materials materials with cement has been determined. The correlation between 7-day compressive strength, which is the usual control parameter at the worksite, and long-term flexural strength has been obtained. All this in order to optimize the structural design of pavements, and to propose a catalogue of structural sections with cement-recycled layers. The cold in-place recycling with emulsion it is a technology evolved with the experience obtained in Spain. Most recent innovations are based in the use of the mix emulsion plus cement as binder.

With a total surface of more than 35 million square metres already recycled in Spain, it can be said that in-place pavement recycling with cement or/and emulsion are proven techniques, with a wide range of experience and good knowledge of the building process in Spain, and the performance of which to date has been very good.

<sup>1</sup> Comunicación presentada al XXV Congreso Mundial de la Carretera celebrado en Seúl del 2 al 6 de noviembre de 2015.

Las expresiones reciclado, crecimiento sostenible, medio ambiente nos rodean constantemente, formando parte de nuestra vida diaria. Todo el mundo es consciente de que se recicla el papel, el vidrio, el plástico. El impacto social de las actividades de reciclado en el mundo de las carreteras es mínimo, y es ahí donde hay mucho trabajo por realizar, ya que si la sociedad es consciente del valor de la tecnología del reciclado en las carreteras habrá más presión sobre los gestores de las infraestructuras para incluir estas tecnologías como habituales y no eventuales.

Los materiales procedentes del fresado de capas de mezclas bituminosas degradadas constituyen un 10 % de los residuos procedentes de la construcción y de la demolición (RCD), que son la mayor fuente de residuos inertes en nuestro país. Su producción anual en España se estima en torno a 62,50 kg/hab, lo que representa una cantidad cercana a 2,5 millones de toneladas al año, de las cuales se recicla en la actualidad poco más del 10 %: lo que deja de manifiesto que aún estamos muy lejos de aprovechar los recursos que nos ofrece la propia carretera, pues el agotamiento de un firme no implica el agotamiento de los materiales que lo componen.

El fuerte impulso en el marco legal europeo de las políticas de sostenibilidad, innovación y eficiencia, junto a la necesidad de rehabilitación de las infraestructuras viarias (cuyo nivel de degradación ha aumentado como fruto de una larga crisis económica y la consiguiente disminución de los recursos dedicados a conservación) marcan el futuro inmediato de las técnicas de reciclado, que comenzaron a utilizarse en España hace más de 20 años.

Buscando nuevos procedimientos sostenibles para mejorar la capacidad estructural de las carreteras fatigadas (que permitieran aprovechar los áridos existentes en la carretera y abaratar costes) se empezaron a reutilizar y mejorar en España las capas del firme ya existentes, mediante su disgregación del mismo y la adición de un ligante hidrocarbonado o de un conglomerante hidráulico, en función de la técnica utilizada.

Se puede considerar el reciclado como una técnica moderna por la que se logra transformar un firme degradado en una nueva capa de notable capacidad estructural aprovechando los materiales existentes en la propia carretera, que han perdido algunas de sus propiedades iniciales (resistencia, cohesión, textura, geometría, etc.) como consecuencia de su uso y envejecimiento, pero que tienen el potencial de ser reutilizados para integrar nuevas capas del firme.

Puede realizarse en frío o en caliente, según la temperatura de la mezcla, y a su vez en central o *in situ*, según el lugar donde ésta se realice. El reciclado en frío *in situ* puede a su vez llevarse a cabo con cemento, con emulsión o con una combinación de ambos materiales según el objetivo perseguido. Esta capa reciclada tendrá diferente espesor, bien se recicle con emulsión (6 a 15 cm), bien con cemento (20 a 35 cm) o bien con ambos conglomerantes (15 a 18 cm).



Figura 1. Equipos reciclando con cemento un carril de vehículos pesados de una autovía

El reciclado *in situ* consiste en reutilizar los materiales existentes mediante su disgregación en una cierta profundidad y en la adición (en unas determinadas proporciones obtenidas mediante ensayos previos) de cemento o emulsión, agua y a veces áridos o algún aditivo. Esta mezcla se compacta y cura adecuadamente, y constituye la capa de mayor resistencia estructural, que resuelve los problemas existentes en el firme, extendiendo posteriormente sobre ella una capa de rodadura que aporta las características superficiales finales de la vía.

Desde los años 90, la opción del reciclado *in situ* para el acondicionamiento de carreteras ha resurgido con fuerza y se ha desarrollado con éxito debido sobre todo a tres factores:

- Un mejor conocimiento de las características mecánicas de los materiales tratados y de su comportamiento en el conjunto del firme.
- El empleo de nuevos equipos de mayor potencia, rendimiento y profundidad de trabajo que proporcionan, además, una mayor calidad del producto final.
- La creciente conciencia ecológica, que ha impulsado esta técnica por los beneficios ambientales que aporta ante la sobreexplotación de los yacimientos de áridos existentes y la dificultad de abrir nuevas explotaciones. ¿Quién conoce que las carreteras se reciclan, aprovechando al 100 % los materiales existentes?

El objetivo fundamental del reciclado de una carretera es recuperar o mejorar sus características y comportamiento bajo tráfico. Específicamente, se pueden enumerar los siguientes objetivos parciales:

- Transformación de un firme degradado y heterogéneo en una estructura resistente y más homogénea.
- Incremento de la capacidad de soporte, adaptándola a las solicitaciones del tráfico.
- Incremento de la durabilidad: menor susceptibilidad al agua y mayor resistencia a la erosión.
- Protección de la explanada y de las capas inferiores del firme, cuyas características son a veces deficientes.

## 1. Reseña histórica

La primera rehabilitación con cemento en España se llevó a cabo en el año 1992 [1] en una carretera convencional de calzada única de dos carriles, en una longitud de aproximadamente 12 km y una superficie de unos 100 000 m<sup>2</sup>; desde entonces el número de actuaciones que se han llevado a cabo ha sido muy importante, tal y como se aprecia en la Figura 2, de manera que la superficie total de carreteras recicladas *in situ* con cemento en España hasta principios del año 2015 es de unos 27,2 millones de metros cuadrados, equivalentes a unos 3750 km de carreteras recicladas. A estas experiencias se suman los reciclados con emulsión de las carreteras, que comenzaron a emplearse hace aproximadamente unos dieciséis años.

Por otro lado, la normativa española [2] recomienda el estudio de soluciones de reciclado de firmes cuando la superficie de actuación sea superior a 70 000 m<sup>2</sup>, o cuando la solución de rehabilitación consista en el fresado y reposición de la mezcla deteriorada en más de un 25 % de la superficie a tratar, con el posterior extendido de una capa de refuerzo de mezcla bituminosa, lo que sin duda ha favorecido el desarrollo de estas técnicas.

## 2. Ventajas del reciclado

Las ventajas que presentan las técnicas de reciclado *in situ* son inherentes a su principal característica: el empleo de los materiales existentes en la carretera. Por lo tanto, se puede hablar de ventajas:

- Ambientales, al evitar la extracción de nuevos áridos y el vertido de los materiales fresados o demolidos.
- Energéticas, al efectuar un menor consumo de energía en el proceso: lo que reduce, en consecuencia, la emisión de contaminantes (CO<sub>2</sub>, óxidos de azufre y nitrógeno) asociados a la combustión de combustibles fósiles.
- Operativas y de seguridad, al reducir la perturbación al tráfico durante la construcción, ya que una sola máquina, en una sola pasada, ejecuta el fresado del firme deteriorado, la mezcla con el ligante o el conglomerante, y la puesta en obra de la mezcla final. Se aumenta, de este modo, la seguridad del tráfico y de los operarios, y se reducen las molestias y daño causado a la vía, por el peso y tránsito de la maquinaria de obra.
- Técnicas, el no tener que modificar la rasante existente y poder tratar un solo carril (el más deteriorado), y al poder colocar las capas superiores del firme sobre una base estable y no deteriorada consiguiendo, finalmente, una mayor vida útil.
- Económicas, al reducir el consumo de materiales en el proceso, evitar los costes de su transporte y reducir los tiempos de afección a la vía en la que se esté trabajando. En resumen, el reciclado es un método de construcción



Figura 3. Reciclado *in situ* con cemento con dos equipos trabajando en paralelo

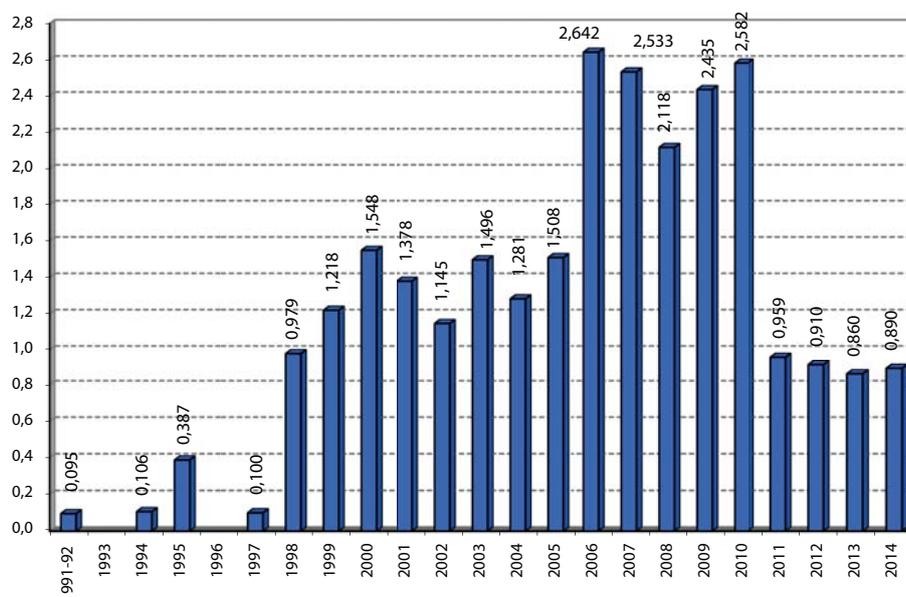


Figura 2. Evolución de la superficie reciclada *in situ* con cemento (1991-2014) en millones de metros cuadrados

eficiente, en cuanto al empleo de recursos y de energía, que contribuye a preservar el medio ambiente; y al mismo tiempo económico, al reutilizar todos los materiales y reducir los costes del transporte.

### 3. Normativa y diseño

#### 3.1. Reciclado *in situ* con cemento

En el año 1999 el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) publica el "Manual de Firmes Reciclados *in situ* con Cemento" [3], donde se recogen todos los aspectos relacionados con el reciclado, tanto en lo referente a los estudios necesarios y desarrollo del proyecto, como a su realización (equipos, ejecución de las obras, control de calidad, etc.), además de incluir un estudio de costes.

Actualmente, la secciones de firmes rehabilitados mediante la técnica del reciclado *in situ* con cemento están normalizadas en la normativa autonómica "Recomendaciones de la Junta de Castilla y León" [4], permitiéndose en otros casos un estudio analítico de la estructura del firme reciclado; tomando para ello las categorías de tráfico pesado establecidas por la normativa de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, con las subdivisiones correspondientes, (ver Tabla 1) y adoptando para los materiales las características indicadas en el artículo 21 "Reciclado *in situ* con cemento de capas de firme" del Pliego General PG-4, de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento [5] (ver Tabla 2).

En el año 2011, Díaz Minguela [6] presentó su tesis doctoral dedicada al estudio del comportamiento de los firmes reciclados *in situ* con cemento, realizando un total de 350 ensayos, muchos de ellos en prensa dinámica con probetas prismáticas de 15x15x60 cm. Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

- La variabilidad de las características del material requiere que la dotación de cemento supere siempre un valor mínimo (superior al 3 %) para asegurar cierta homogeneidad y cumplir las resistencias exigidas a lo largo de toda la obra. Además, se debe ser generoso en la dosificación puesto que dotaciones muy estrictas suelen generar problemas posteriores (cualquier incremento de finos provoca una caída de resistencias y problemas mucho más costosos de resolver *a posteriori*).
- Se ha constatado la relación directa entre la resistencia a compresión y la densidad del material, aunque no se puede establecer una ecuación única debido a la variabilidad de las características del material reciclado, que depende de varios parámetros como la granulometría, el contenido de finos o el porcentaje de partículas con envoltura bituminosa. Esta relación se tiene también entre la resistencia a tracción indirecta y la densidad, pero no ha quedado determinada con la resistencia a flexotracción.
- Según la normativa española, la calidad del material reciclado se controla en obra por medio de su resistencia a compresión a la edad de 7 días, mientras que su comportamiento se define a través de su resistencia a flexotracción a largo plazo. Las características mecánicas del material reciclado estudiado permiten establecer las

Tabla 1. Categorías de tráfico pesado [2]

Tráfico pesado	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
IMD <sub>p</sub> (*)	≥ 4000	3999 a 2000	1999 a 800	799 a 200	199 a 100	99 a 50	49 a 25	< 25

(\*) IMD<sub>p</sub> = Intensidad media diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto y año de puesta en servicio.

Tabla 2. Principales prescripciones para el reciclado de firmes *in situ* con cemento [5]

Prescripción	Norma	Valor
Tamaño máximo	UNE-EN 933-1	≤ 80 mm
Pase tamiz UNE 4 mm	UNE-EN 933-1	≥ 30 % (si no corrector ZA)
Materia orgánica	UNE 103204	< 1 %
Contenido sulfatos SO <sub>3</sub>	UNE-EN 1744-1	< 1 %
Plasticidad	UNE 103103 y 103104	IP < 15 y LL < 35
Mínimo contenido de cemento		3 %
Resistencia a compresión a 7 días	UNE-EN 13286-41	≥ 2,5 MPa
Densidad mínima <i>in situ</i>	UNE-EN 13286-2	97 % D <sub>máx</sub> Proctor modificado
Plazo de trabajabilidad (*)	ancho completo	≥ 2 horas
	por bandas	≥ 3 horas
	con tráfico	≥ 4 horas

(\*) Si temperatura > 30° obligatorio uso retardador de fraguado.

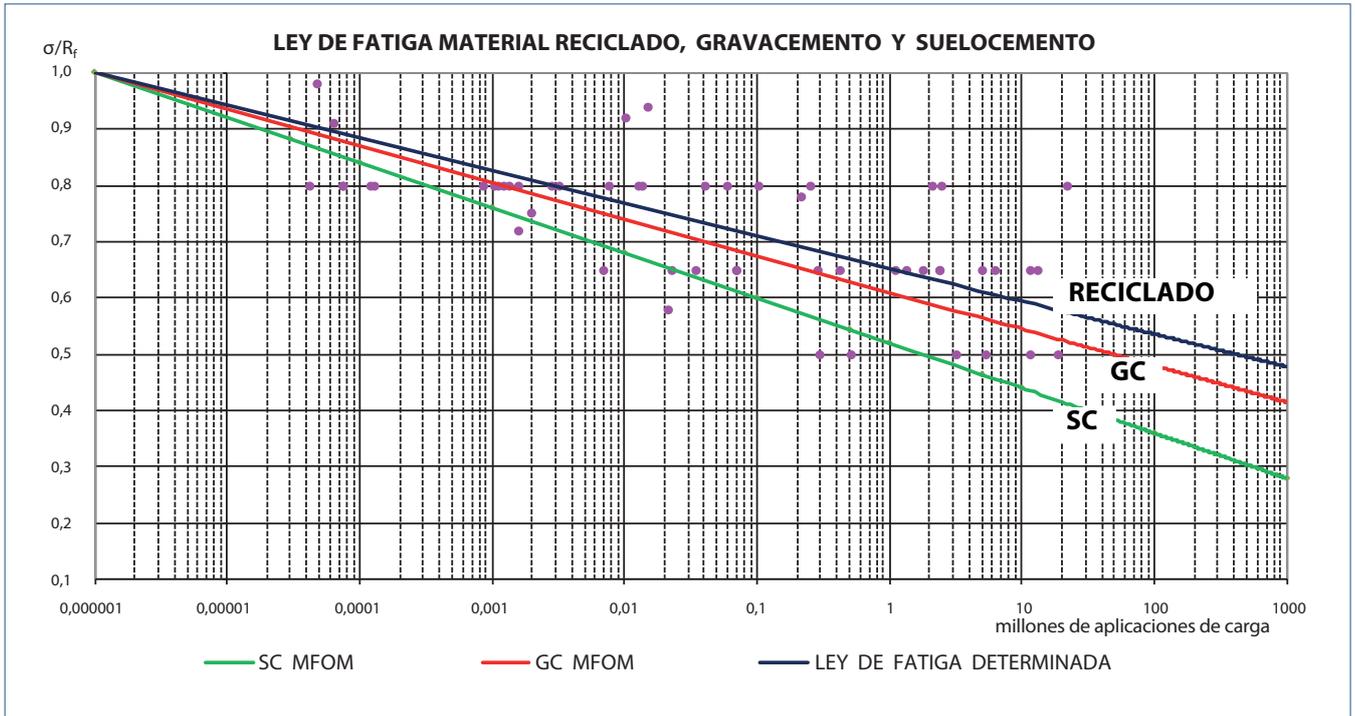


Figura 4. Leyes de fatiga de suelocemento, gravacemento y material reciclado [6]

siguientes correlaciones, que deben considerarse únicamente para estimar órdenes de magnitud:

$$R_{C,90d} = 1,5 R_{C,7d} \quad (1)$$

$$R_{ti,90d} = 2 R_{ti,7d} \quad (2)$$

$$R_{f,90d} = 2 R_{f,7d} \quad (3)$$

$$R_{C,LP} = 1,8 \text{ a } 2,0 R_{C,7d} \quad (4)$$

$$R_{ti,90d} = 0,1 R_{C,90d} = 0,15 R_{C,7d} \quad (5)$$

$$R_{f,LP} = \frac{1}{0,442802 + \frac{2,822844}{R_{C,7d}}} \quad (6)$$

siendo  $R_c$  la resistencia a compresión,  $R_{ti}$  la resistencia a tracción indirecta y  $R_f$  la resistencia a flexotracción, siempre a la edad indicada (7d= 7 días, 90d= 90 días, LP= largo plazo).

En la mencionada tesis se determinó la ley de fatiga del material reciclado con cemento, que responde a la expresión:

$$\frac{\sigma}{R_f} = 1 - 0,058 \cdot \log N \quad (7)$$

en la que  $\sigma$  es la tensión a flexotracción que provoca la rotura después de un número  $N$  de aplicaciones de carga tipo; y  $R_f$  la resistencia a flexotracción a largo plazo del material (que en el reciclado estudiado en la tesis ha resultado ser 0,69 MPa).

Figura 5. Propuesta de secciones de firme reciclado con cemento [6]

Explanada	Categoría de tráfico pesado (IMDp)								
	T00	T0	T1	T21	T22	T31	T32	T41	T42
	≥ 4000	3999 a 2000	1999 a 800	799 a 400	399 a 200	199 a 100	99 a 50	49 a 25	24 a 0
De calidad contrastada CBR>12 MPa	20 35	18 35	16 35	12 35	12 30	10 30	10 25	8 25	5(*) 25
De baja calidad CBR>5 MPa	a	a	20 35	15 35	12 35	10 35	10 30	8 30	5(*) 30

(\*) Esta capa puede ser sustituida por un doble tratamiento superficial

■ Mezcla bituminosa ■ Reciclado in situ con cemento



Figura 6. Rodillo compactando el carril reciclado de vehículos pesados de una autovía

La menor pendiente de la ley de fatiga y el módulo más reducido del material reciclado respecto de otras mezclas con cemento, aseguran un mejor comportamiento a fatiga, con una mayor deformación elástica recuperable debido al conjunto de finos que forman el mortero bituminoso. No obstante, al igual que en los materiales tratados con cemento, pequeñas disminuciones del espesor de la capa incrementan la relación  $\sigma/R_f$  y suponen importantes reducciones de la vida en servicio del firme.

En base a los estudios efectuados, Díaz Minguela propone un catálogo de secciones de firme reciclado con cemento, cuyos espesores varían en función de la calidad de la explanada y que prácticamente coinciden con las secciones normalizadas en la Comunidad Autónoma de Castilla y León (ver Figura 5).

Aunque para completar el cuadro se incluyen secciones con reciclado para categorías de tráfico T00 y T0 (más de 2000 vehículos pesados/carril/día) con gruesas capas bituminosas de cobertura, el proceso lógico que se realiza en España en estos casos consiste en fresar algunas de las capas bituminosas existentes, reciclar con cemento las capas inferiores (que suelen ser materiales granulares, suelocemento o gravacemento, en ocasiones con parte de capas bituminosas) y reponer las capas bituminosas retiradas empleando para ello el material fresado que es reciclado en caliente en central. Esta solución, de la que se disponen más de 10 años de experiencia, se está llevando a cabo en la rehabilitación de los carriles para tráfico pesado de muchas autovías y autopistas españolas.

Además del diseño expuesto, para realizar el reciclado *in situ* con cemento de la carretera primero hay que recoger información de la misma (espesor de las capas, ensanches realizados, tráfico, etc.), realizar una inspección visual del pavimento existente, obtener muestras en el espesor que está previsto tratar (extracción de testigos y realización de calicatas) y estudiar la fórmula de trabajo, que se deberá corroborar en el tramo de prueba. En los siguientes apartados se tratan estos temas, de aplicación en cualquier tipo de reciclado.

### 3.2. Reciclado *in situ* con emulsión

Como en todas las tecnologías innovadoras, el marco normativo se suele quedar desfasado de los avances tecnológicos y de la realidad en las obras. Así, desde el año 1997 se ha trabajado sin normativa alguna, a excepción de la "Guía para el dimensionamiento de firmes reciclados *in situ* en frío" [7] (de carácter informativo); y no es hasta el año 2002 en el que se publica la primera normativa sobre reciclado de firmes [5]. La normativa española vigente sobre reciclado *in situ* con emulsión, a nivel estatal, queda recogida en el artículo 20 del Pliego PG4 [5], y en la norma 6.3-IC, de Rehabilitación de firmes [2]. En las Comunidades Autónomas de Andalucía y Castilla y León son la "Instrucción para el Diseño de Firmes" [8] y las "Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos" [4] las que contemplan las operaciones de reciclado en frío; y se encuentran en la misma línea de prescripciones que la normativa estatal, si bien contemplan otros tipos adicionales de reciclado en función de los espesores. Y es que, sin duda, algo está cambiando desde hace unos años en todas las Administraciones, tanto nacionales, como europeas, donde se impone la construcción sostenible de infraestructuras del transporte, garantizando, además, una buena ejecución. Desde un punto de vista normativo, dentro del continente europeo podemos encontrar guías técnicas sobre esta técnica como, por ejemplo, en Francia [9], Italia o Suecia, por mencionar alguna de ellas.

A la hora de abordar la rehabilitación de una carretera agotada existen muchas posibilidades. Sin embargo hay dos cuestiones claves que siempre se deben plantear:

- ¿Qué ha fallado en la carretera?
- ¿Qué quiere el Gestor de la misma?

La respuesta a estas dos preguntas reduce las opciones de rehabilitación a las compatibles con el presupuesto, la naturaleza del problema y el período de proyecto. Si además identificamos si el problema afecta a las capas superficiales o a la estructura del firme, la determinación de la mejor opción se ve aún más simplificada.

Las opciones de rehabilitación tradicionales son el refuerzo convencional y el fresado seguido de reposición (y normalmente, también de refuerzo). Además se puede plantear la solución de una o varias capas de refuerzo posterior al reciclado, dependiendo de las condiciones del tráfico o de las deflexiones obtenidas. Sin embargo, presenta, como cualquier otra técnica, algunas limitaciones entre las que se pueden señalar las siguientes:

- No todos los materiales son susceptibles de ser reciclados de forma efectiva y económica. Cualquier operación de reciclado, al igual que cualquier otra técnica de conservación, requiere un estudio previo de las secciones y de los materiales.
- El reciclado no permite solucionar algunos tipos de problema habituales en los firmes, como los asociados a mala

calidad de la explanada o de capas profundas. Tampoco es fácil solucionar problemas de deformaciones plásticas; si es posible, suele requerir el empleo adicional de árido para corregir la granulometría de la mezcla existente.

- Si el firme que se pretende rehabilitar es muy heterogéneo, en cuanto al espesor y tipo de las mezclas que componen el paquete bituminoso, el reciclado *in situ* con emulsión puede no estar recomendado: porque debería realizarse según una tramificación muy compleja y cada tramo necesitaría una fórmula de trabajo diferente o, en el mejor de los casos, cambiar solamente el espesor de la capa reciclada, con lo que cualquier otra solución de rehabilitación del firme resulta más competitiva técnica y económicamente. Este es el caso del reciclado en ciudades donde, además, existen tapas de registro y canalizaciones subterráneas (en ocasiones rellenas con hormigón hasta muy pocos centímetros de la cota de rasante) que imposibilitan esta solución.
- Tampoco es recomendable reciclar pavimentos que contengan geotextiles, porque su disgregación es complicada y pueden aparecer trozos de geotextil en la superficie que se desprenderán muy fácilmente. Además, suelen estar impregnados con altas dotaciones de betún modificado, con lo que el ligante que compone las capas a reciclar se encuentra distribuido heterogéneamente en el espesor a tratar.

El dimensionamiento de cualquier estructura, y en particular, de los firmes, es siempre complejo. Esta afirmación es especialmente válida en el caso de las secciones recicladas, ya que en muchos casos no se conoce con exactitud la composición del firme a tratar en toda la extensión del tramo, por lo que es muy común encontrar zonas poco homogéneas.

El fin último del proceso de dimensionamiento, una vez elegida la naturaleza de las capas que van a integrar la sección seleccionada, es determinar el espesor de cada una de ellas. La tendencia más habitual suele ser acudir a catálogos de secciones que, en función normalmente del tráfico esperado, la aplicación de los coeficientes de equivalencia y el nivel de deflexiones existentes, proporcionan los espesores buscados. Este camino permite simplificar el proceso para los no expertos, conjugando las bondades del cálculo analítico con la experiencia y racionalidad de lo que es constructivo y está sancionado por la experiencia.

Otra posibilidad es utilizar un procedimiento analítico de cálculo. Generalmente se utilizan los modelos de respuesta basados en el modelo elástico multicapa, complementado con un análisis del comportamiento a fatiga de la estructura. La dificultad principal radica en la determinación de los módulos de cada capa y de las correspondientes leyes de fatiga. Las determinaciones de módulo dinámico en capas de reciclado con emulsión suelen realizarse con equipo Cooper y mediante el ensayo de tracción indirecta. Es frecuente admitir un módulo (que está del lado de la seguridad) de 2500 MPa. Sin embargo, este módulo



Figura 7. Reciclado de una carretera local

penaliza mucho el comportamiento de la capa reciclada. De la experiencia se desprende que los módulos alcanzados con este tipo de mezclas evolucionan con el tiempo, pudiendo llegar sin problemas a los 4000 MPa [10 y 11].

Cuando se recurre a secciones-tipo las principales consideraciones que se tienen en cuenta son las siguientes [2]:

- Asignar un coeficiente de equivalencia al material reciclado respecto a una mezcla.
- Para tráfico T1 el material reciclado se debe recrecer con al menos 8 cm de mezclas bituminosas.
- Para tráfico de categoría inferior a T1 se requiere la aplicación de una mezcla bituminosa densa o semi-densa (para tráfico T4 la experiencia demuestra que la aplicación sobre el reciclado de una lechada bituminosa o de riegos con gravilla es suficiente).

Para un dimensionamiento correcto del firme (tanto por el método de secciones tipo como por un método analítico) es necesario disponer de datos de deflexiones del firme y la sección real del firme. La sistemática descrita a continuación tiene lugar una vez que se ha determinado que la mejor opción de rehabilitación para la vía es un reciclado en frío con emulsión. Antes de llevarla a cabo es conveniente conocer el período de proyecto, el tráfico, el historial del firme a reciclar, la geometría actual y futura de la vía, la posibilidad de una aportación de materiales, el nivel de propiedades funcionales esperado, el presupuesto para la ejecución de los trabajos y la posterior conservación de la vía, el comportamiento del pavimento actual, la capa o capas a situar sobre el reciclado, la disponibilidad de materiales y equipos y, por último, la época en la que se ejecutarán los trabajos.

### 3.2.1. Reconocimiento del firme

Primero se necesita llevar a cabo una inspección visual del pavimento existente (para cualquier tipo de reciclado), por parte de personas expertas, tomando nota de lo siguiente:

- Tipo, gravedad y tramificación de los deterioros, distinguiendo entre los superficiales, los estructurales localizados y los estructurales generalizados.



Figura 8. Pavimento antes y después de reciclar con emulsión

- Zonas localizadas con deterioros que puedan necesitar un tratamiento específico.
- Problemas relacionados con la presencia de bordillos, arquetas, obras de fábrica, estructuras y accesos.
- Problemas relacionados con el drenaje.
- Trazado de la vía y relieve del terreno.
- Zonas donde se puedan estacionar los equipos de construcción.

Después, la fase de toma de muestras (extracción de testigos, de realización de calicatas o de obtención de material fresado, etc.) es crítica, no sólo desde el punto de vista del reconocimiento de la sección del firme a reciclar, sino como paso previo para establecer la estrategia

de tramificaciones más adecuada para la ejecución de las obras.

### 3.2.2. Fórmula de trabajo

Las muestras obtenidas se ensayan en laboratorio a fin de definir las características de los materiales a reciclar en cuanto a granulometría del fresado, contenido de betún y características del mismo. Es crítico obtener muestras representativas del pavimento a reciclar, tanto en homogeneidad de los materiales como en similitud respecto al tamaño de fresado obtenido durante el proceso de reciclado.

Tabla 3. Husos granulométricos para reciclados *in situ* con emulsión [5]

Tipo de reciclado	Cedazos y tamices UNE-EN 933-2 (mm)									
	40	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,063
RE1	100	78-100	69-95	52-82	40-70	25-53	15-40	2-20	0-10	0-3
RE2	—	100	80-100	62-89	49-77	31-58	19-42	2-20	0-10	0-3

Tabla 4. Valores mínimos de resistencias en inmersión-compresión (NLT-162) [12]

Categoría del tráfico pesado	En seco (MPa)	Tras inmersión (MPa)	Conservada (%)
T1 (sólo capas de base) y T2	3	2,5	75
T3, T4 y arcenes	2,5	2	70

Tabla 5. Ejemplo de secciones de firmes existentes en calzadas recicladas con cemento

Carretera	N-431	N-630 (Ruta de la plata)	AV-902	SG-241
Provincia	Huelva	Varias	Ávila	Segovia
Tipo de firme	semirrígido	semiflexible	flexible	flexible
Sección tipo	10-15 cm MBC 18 cm ZA 15 cm ZN	2,5-9 cm MBF 11-20 cm MBC 25 cm ZA o macadam	5 cm MBC 30 cm macadam	TS 15 cm macadam

MBC = mezcla bituminosa en caliente

MBF = mezcla bituminosa en frío

TS = tratamiento superficial

ZA = zahorra artificial (material granular machacado)

ZN = zahorra natural (material granular)

La emulsión para reciclado en frío debe cumplir los siguientes requerimientos básicos:

- Debe ser compatible con la naturaleza y la granulometría de los materiales a reciclar.
- Su estabilidad debe permitir, antes de la rotura, un reparto lo más homogéneo posible del betún residual en la masa de dichos materiales.
- La toma de cohesión y las propiedades mecánicas finales de la mezcla deben ser las adecuadas para el tráfico de la fase de ejecución y las sollicitaciones finales del firme.

Las emulsiones que se utilizan en los reciclados son ca-tiónicas y de rotura lenta para, entre otros motivos, permitir la manejabilidad de la mezcla hasta el momento de la compactación. Para mejorar la cohesión inicial de la mezcla es muy común el uso de cemento en pequeñas cantidades. El papel que desempeña es triple:

- modifica bruscamente el pH de la fase acuosa, provocando el inicio de la rotura de la emulsión y facilitando la toma de cohesión inicial;
- añade un material con alta capacidad de absorción de agua, reduciendo la consistencia final de la mezcla y obteniendo altas resistencias conservadas; y
- mejora la susceptibilidad a la acción del agua.

Finalmente, el contenido de agua total (determinado por la fórmula de trabajo) se obtiene de la suma de la humedad natural de los áridos, del agua emulsionante y del agua de aportación para lograr una correcta envuelta árido-ligante.

### 3.2.3. Diseño de la fórmula de proyecto

La fórmula de proyecto es la indicación básica para el Director de la Obra. Para su determinación es fundamental que los materiales utilizados sean lo más representativos posibles, no sólo respecto de su procedencia sino también del proceso de fresado al que van a ser sometidos. Para conocer con exactitud qué efecto va a tener el fresado en las características de los materiales sobre los que va a actuar (disgregación de los que presenten cohesión, degradación de los materiales, etc.) es muy conveniente, antes de iniciar la obra, realizar unos tramos de prueba con el equipo que se vaya a utilizar.

Sobre los requisitos exigidos en el Pliego español [5] a los materiales reciclados merece la pena hacer algunos comentarios. A nivel de material fresado, se establecen unos husos granulométricos (Tabla 3) cuyo cumplimiento no es crítico siempre que se tengan las siguientes precauciones:

- Que las granulometrías resultantes sean continuas y tengan suficiente cantidad de fresado en los tamices inferiores a 4-8 mm.
- Que no haya excesivo rechazo por el tamiz de 25 mm. En este sentido, la experiencia demuestra que en carreteras muy fatigadas, si el reciclado es de menor espesor



Figura 9. Reciclado *in situ* con cemento manteniendo el paso del tráfico

(tipo RE2) el fresado es más grueso que cuando se realiza a mayor profundidad. La razón de este fenómeno hay que atribuirlo al despegue entre capas de mezcla bituminosa, fenómeno muy habitual en las carreteras con fatiga pronunciada.

Un segundo aspecto a tener en cuenta con las fórmulas de trabajo es que el cumplimiento de los criterios de resistencia a compresión de la Tabla 4 no siempre garantiza un buen comportamiento del reciclado. La razón de esta falta de "fiabilidad" del ensayo radica en que las densidades obtenidas en el mismo son muy superiores a las obtenidas en obra. Por esta razón, tal vez, sería necesario en futuras actualizaciones de las normas buscar condiciones de ensayo más próximas a la realidad.

## 4. Características técnicas de los tramos reciclados

Debido al elevado número de carreteras recicladas en España, superior a 400 tramos, las características de éstos son de lo más variadas [13 y 14], tanto en lo que a tráficos soportados, tipologías de secciones y anchuras de la sección transversal se refiere.

El tráfico que circula por las carreteras recicladas con cemento varía desde las categorías más pesadas (de más de 1000 camiones/carril/día), como los tramos de la carretera N 630, Ruta de la Plata o los carriles para vehículos pesados reciclados en varias autovías, hasta las categorías más ligeras, como muchos de los tramos realizados en la provincia de Palencia, con intensidades de tráfico inferiores a 25 camiones/carril/día. El ancho de reciclado es también muy variable, dependiendo lógicamente de la categoría de la carretera, con secciones transversales que van desde 10 m hasta los 4,5 m de las carreteras secundarias (lo que permite realizar el reciclado con solo dos franjas de trabajo) e incluso los 3,5 m que se reciclan del carril para vehículos pesados en las autovías.



Figura 10. Reciclado de una carretera



Figura 11. Nivelación de una carretera reciclada

De manera general, y sobre todo en las carreteras de tráfico reducido, los materiales reciclados suelen ser mezclas bituminosas o, en el caso de reciclado con cemento, estas mezclas o tratamientos superficiales junto con las capas granulares de base. En el caso de rehabilitación del carril para vehículos pesados de las autovías, el material reciclado suele ser una capa de mezcla bituminosa y la capa de base granular o de suelocemento (se fresan previamente las demás capas bituminosas).

Al comienzo de la técnica de reciclado con cemento la ausencia de un catálogo de secciones y de una normativa al respecto se solucionó mediante el empleo de métodos analíticos de dimensionamiento adaptados a cada caso concreto, lo que dio como resultado una gran diversidad de soluciones, con espesores de reciclado variables entre 20 y 35 cm, y espesores de mezclas bituminosas comprendidos entre 5 y 16 cm. La tendencia actual es proyectar con las secciones expuestas en el apartado 3.

En algunas obras de reciclado se ha efectuado la aportación de una arena o de un material granular como corrector granulométrico, como por ejemplo en secciones con una base de macadam sin recebar y con una granulometría muy discontinua. En otras ocasiones, esta aportación de material sobre la carretera deteriorada se ha utilizado para mejorar la rasante, obtener el peralte de las curvas o lograr el espesor de firme suficiente para reciclar.

En cuanto a la maquinaria utilizada, ésta ha sido muy diversa durante los primeros años de experiencia (equipo francés ARC-700, Caterpillar RM-350, Wirtgen 2000 DC junto con un mezclador Raco-250 y Wirtgen 2100 DCR); pero finalmente se ha impuesto el empleo de las recicladoras WR 2500 de Wirtgen, de las que se dispone un elevado número en nuestro país. La tipología de equipos utilizados para la distribución del conglomerante (cemento) ha sido también muy variada, habiéndose impuesto con el tiempo el empleo de distribuidores de lechada (el modelo más común es el Wirtgen WM 1000), por ser más precisa la dosificación de conglomerante en comparación con la dosi-

ficación en polvo, sin tener las limitaciones de ejecución y de seguridad de estos últimos.

En el caso de reciclado con cemento el equipo de compactación suele estar formado por un único rodillo mixto de unas 16-20 t de peso total y una carga estática sobre generatriz de 0,5 kN/cm o superior, aunque en algunas obras se utilizan dos equipos: un rodillo tándem vibratorio y un rodillo de neumáticos de unas 20-25 t (>3 t por rueda). El rodillo mixto o tándem da una o dos pasadas detrás del equipo de reciclado, realizándose posteriormente la pre-fisuración del material (realización de juntas en fresco) si se considera necesaria, y un refinado con motoniveladora para lograr una regularidad superficial aceptable. Posteriormente, se termina el proceso de compactación con 3-4 pasadas dobles con el mismo rodillo, u otro menos pesado, hasta alcanzar la densidad prescrita (por lo general superior al 97 % de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado según norma UNE-EN 13286-2).

La formación de juntas en fresco para controlar la reflexión de fisuras en la superficie se suele realizar en zonas en las que existen fuertes gradientes térmicos, se ha diseñado un reciclado con un elevado contenido de cemento o existe una alta intensidad de tráfico pesado. En los restantes casos (zonas costeras o vías con IMDP inferior a 200 camiones/carril/día) no se han observado problemas relevantes por reflexión de fisuras.

Los rendimientos medios obtenidos llegan hasta los 8000 m<sup>2</sup> por día (unos 900 m<sup>2</sup>/h), alcanzando rendimientos máximos de 1500 m<sup>2</sup>/h, aunque estos valores se reducen a medias de 5000 m<sup>2</sup>/día cuando la planificación de la obra se complica por la necesidad de mantener el tráfico circulante, hay problemas con el suministro o la anchura de la calzada obliga a muchas franjas solapadas y, por tanto, a muchas maniobras de los equipos.

Muchos de los reciclados con cemento de carreteras de baja intensidad de tráfico se han llevado a cabo sin tráfico, desviando el mismo por otras rutas alternativas; pero también hay un gran número de casos en los que el reciclado

se ha realizado por franjas, dando paso inmediato al tráfico o permitiendo su circulación. Para ello, tras el curado con un riego asfáltico (emulsión tipo ECI o ECR-1) se extiende un árido 3-6 mm de protección. El período transcurrido desde el reciclado del firme existente hasta la puesta en obra de la capa superior de mezcla bituminosa es muy variable de unas obras a otras, pudiendo transcurrir de 1 a 2 semanas, en el caso de los reciclados con cemento, hasta los 3 ó 4 meses en casos extremos de reciclados con emulsión bituminosa.

## 5. Comportamiento de las carreteras recicladas

Tras 23 años de experiencia en el reciclado de carreteras con cemento en España se puede afirmar que su comportamiento estructural es muy bueno. Si la primera carretera reciclada con cemento fue una carretera nacional de elevado tráfico pesado (más de 600 camiones/carril/día), las siguientes fueron carreteras secundarias de tráfico reducido (50 a 100 camiones/carril/día), obteniéndose en ambos casos muy buenos resultados. No obstante, los reducidos espesores de las capas bituminosas de rodadura (5 cm) utilizados en los primeros reciclados, obligaron a disponer refuerzos posteriores.

En la actualidad, el empleo de secciones recicladas con cemento que responden al catálogo expuesto, con espesores reciclados entre 25 y 35 cm y coberturas bituminosas de 5 a 16 cm de espesor, hace que las carreteras recicladas estén teniendo un magnífico comportamiento. Este buen resultado ha permitido que esta técnica se difunda por todo el territorio nacional, reciclando carreteras de todo tipo y categoría. Así, se han reciclado carreteras de elevado tráfico pesado, como un tramo de la Ruta de la Plata o un gran número de actuaciones en carreteras de baja intensidad de tráfico, al resultar una solución óptima para rehabilitar este tipo de carreteras con un coste muy reducido (entre 40 000 y 80 000 €/km según el ancho de la calzada).

Es en las vías secundarias deterioradas donde el reciclado con cemento se ha revelado como una solución óptima, con espesores de reciclado de 25-30 cm y capas bituminosas de 8-10 cm de espesor. Cabe destacar situaciones excepcionales de zonas que transcurren sobre terrenos arcillosos en las que el buen comportamiento ha logrado que esta técnica se afiance en la región: como en el caso de la provincia de Palencia, donde la mayoría de las carreteras rehabilitadas lo han sido mediante el reciclado con cemento aportando en ocasiones una pequeña capa de suelo granular limpio sobre la carretera, para lograr el espesor necesario de reciclado y no afectar a las capas inferiores de suelos arcillosos que contaminarían el material reciclado.

En cuanto a las necesidades de prefisurar la capa reciclada con cemento, se considera la alternativa no normalizada en España de realizar juntas en fresco en los casos citados de zonas de interior o de montaña en los que se



Figura 12. Recicladora con regla de compactación

dan fuertes gradientes térmicos (tanto estivales, como día-noche) en los que además existe una alta intensidad de tráfico pesado (más de 200 camiones/carril/día). En estos casos, se disponen al menos dos capas de cubierta bituminosa. En una carretera de baja intensidad de tráfico que se ha prefisurado experimentalmente y cubierto con solo 4 cm de mezcla bituminosa, las fisuras han aparecido reflejadas en la superficie pero no han sufrido ninguna evolución, ni deterioro de los bordes, ni entrada de agua que provoque otros defectos: por lo que la carretera permanece en perfecto estado estructural tras más de 21 años en servicio.

Además del éxito de todas estas experiencias de reciclado de firmes con cemento, se ha logrado un elevado conocimiento de la técnica basado en la innovación y el estudio de la tecnología, cuyo conocimiento se ha transmitido a través de un gran número de jornadas técnicas y simposios que han contribuido a su difusión. En general, el comportamiento se puede calificar de muy bueno. Los defectos que se han ido eliminando se debieron en su día a intentar ampliar el ancho de calzada reciclando los bordes con materia vegetal o plástica que contaminaba el reciclado (actualmente se realiza un cajeo, se rellena con material granular y se recicla todo el conjunto, calzada existente más ensanche) o a irregularidades en la rasante cuando se intentaba realizar a posteriori con la motoniveladora (ya hace años que se recupera la rasante y peraltes con material granular sobre la calzada antes de reciclar). La técnica resulta sencilla y el personal, si es profesional, se adapta fácilmente adquiriendo destreza. A las citadas ventajas técnicas y económicas se suman las ambientales, que han logrado que el reciclado de firmes con cemento sea una aplicación contrastada y muy utilizada en España.

En el caso de los reciclados con emulsión la técnica ha ido evolucionando también desde sus inicios, en base a la experiencia obtenida con su utilización. De esta manera, al principio se utilizaban emulsiones de betún blando con el objeto de obtener un ligante final con una penetración intermedia entre la del nuevo ligante y la del envejecido, y



Figura 13. Carretera local empleada para sacar la madera reciclada con cemento

que fuese similar a la penetración de un betún nuevo de los habitualmente utilizados en España para las carreteras. En la actualidad, la experiencia y los análisis efectuados han demostrado que el éxito del reciclado radica en la cohesión del material, y ésta no sólo depende del grado de penetración del betún [10 y 15]. En muchos casos la incorporación de una emulsión no permite disminuir suficientemente la susceptibilidad al agua de la mezcla, y la resistencia conservada suele ser inferior a los valores fijados por las normas. La incorporación de una pequeña cantidad de cemento (0,5-1 % en peso) permite disminuir el contenido de agua de la mezcla y, por lo tanto, aumentar su densidad. La resistencia en seco no aumenta pero la resistencia después de inmersión sí lo hace [10].

El dimensionamiento de firmes considera como hipótesis de trabajo que las diversas capas del firme se encuentran adheridas entre sí. Durante bastantes años no existían evidencias científicas de tal sentido, pero en el Proyecto SCORE [16 y 17] se ha constatado de la validez de esta premisa.

Según la normativa en vigor los espesores recomendados para reciclar *in situ* con emulsión están en el rango 6-12 cm. Desde un punto de vista práctico los espesores pequeños se han mostrado más críticos en las obras, aunque *a priori* parecen más sencillos debido a su teórica mayor facilidad de compactación. La razón de estos problemas radica en el tamaño especialmente grueso de los fresados realizados en firmes muy fisurados. La conclusión obtenida es que los mejores resultados se alcanzan al reciclar en el rango 8-12 cm. En todos los casos, ante la dificultad práctica de obtener muestras del pavimento representativas de las granulometrías que se obtendrán en la obra, se debe realizar un tramo de prueba para determinar el plan de compactación.

En relación a la maquinaria utilizada no ha habido mejoras muy substanciales, aunque sí una especialización de los equipos. En un principio se utilizaron tanto máquinas con regla de compactación incorporada como las que no la llevaban. En los últimos años, el uso de los equipos con regla de compactación es la tónica predominante debido a su mejor calidad de acabado y prestaciones del material reciclado.

Desde un punto de vista técnico, los 16 años de experiencia acumulados arrojan un balance francamente positivo, siendo las perspectivas de esta tecnología muy halagüeñas. A este futuro prometedor contribuye decididamente el esfuerzo inversor que algunas empresas y administraciones han realizado en la investigación y desarrollo.

## 6. Costes

El coste de un reciclado del firme depende de varios factores como son:

- El volumen de material a reciclar y en particular del espesor (a mayor espesor menor rendimiento) y de la superficie (tanto de la forma, pues formas irregulares incrementan el número de maniobras de los equipos y reducen el rendimiento, como del tamaño, pues cuanto mayor sea menor serán los costes fijos por metro cuadrado y el transporte de equipos).
- Las características del firme a reciclar, en cuanto a su nivel de disgregación y dureza, que serán determinantes en el rendimiento de los equipos y en su desgaste.
- El porcentaje de emulsión o cemento, que tiene un doble efecto por el coste del mismo y porque a mayor porcentaje menor rendimiento y mayor número de parradas para cargar el ligante/conglomerante. Por ejem-

plo, en el reciclado con cemento una carga completa del dosificador de lechada puede durar alrededor de media hora, lo que puede suponer 2-3 horas sin reciclar en una jornada de trabajo.

Por supuesto, influyen también los equipos de reciclado utilizados; pero tomando un equipo de tipo medio para calcular un coste orientativo obtenemos, en el caso del reciclado con cemento (rendimiento medio de 5000 m<sup>2</sup>/día y un coste de cemento en obra de 90 €/t) un valor comprendido entre 2,3 a 3 €/m<sup>2</sup> (según dosificación) para espesores de reciclado de 20 cm, y de 2,80 a 3,80 €/m<sup>2</sup> para espesores de 25 cm. Para los reciclados *in situ* con emulsión, los costes se encuentran entre 2,75 y 4 €/m<sup>2</sup> para espesores de reciclado de 8 a 12 cm.

En cuanto a la comparación de una solución con reciclado frente a otra consistente en el fresado y reposición de los materiales agotados, los ahorros pueden ser muy importantes, dependiendo del nivel de agotamiento de la carretera, pudiendo variar entre un 10 y un 20%, multiplicando en algunos casos por 100 el número de solicitudes que puede soportar la solución final hasta que se produce su fatiga.

## 7. Conclusiones

El uso más eficiente de los recursos y el respeto del medio ambiente son logros sociales que forman parte de nuestra vida cotidiana. Poco a poco la idea de cuidar nuestro entorno y responsabilizarnos con el uso de los recursos ha calado de forma profunda en nuestra sociedad. En este escenario, la carretera se presenta como un patrimonio que es preciso cuidar y mantener, y que nos ofrece unos materiales que pueden y deben ser reutilizados de la forma más efectiva posible. No hay que olvidar que la red de carreteras es el mayor recurso de material granular que un país puede tener.

Las distintas técnicas de reciclado son vías técnicas adecuadas para llevar a cabo esta labor. En este artículo se han expuesto las que se realizan *in situ*, y la evolución que han experimentado en un país como España, con un red de más de 665 000 km, desde que comenzaron a utilizarse hace ya más de 23 años. Durante este tiempo se ha adquirido la experiencia suficiente para normalizar las actuaciones, en función de los distintos niveles de tráfico y características del firme existente, y optimizar las características y el funcionamiento de los equipos utilizados en el reciclado.

Los resultados obtenidos han sido, en general, muy satisfactorios, tanto por su comportamiento tras su puesta en servicio, como por los ahorros considerables que ha supuesto su utilización: por lo que el futuro de estas técnicas se presenta alentador y pueden dar respuesta a las necesidades de conservación de una red extensa en un país que parece haber superado definitivamente siete años de crisis económica.

## 8. REFERENCIAS

- Peña Suárez, J.; Retratamiento con cemento de firmes existentes; IV Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón; ATC, IECA, Ministerio de Fomento y Principado de Asturias; Oviedo, 1993.
- Ministerio de Fomento; Instrucción de Carreteras - Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes; ORDEN/FOM/3459/2003, de 28 de noviembre.
- Jofré, C.; Kraemer, C. y Díaz-Minguela, J.; Manual de firmes reciclados *in situ* con cemento; Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA); Madrid, 1999.
- Junta de Castilla y León; Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos; Valladolid, 2004.
- Ministerio de Fomento; Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-4 Reciclado de firmes; OC 8/2001, de 28 de diciembre.
- Díaz-Minguela, J.; Tesis doctoral - Estudio del comportamiento de los firmes reciclados *in situ* con cemento; Universidad de Burgos, 2011. <http://dspace.ubu.es:8080/tesis/handle/10259/157>
- PROBISA; Guía para el dimensionamiento de firmes reciclados *in situ* en frío; Madrid, 1998.
- Junta de Andalucía; Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía; OC 1/99.
- SETRA; Retraitement en place á froid des anciennes chaussée ; Bagneux, 2003.
- Eckmann, B. et al; Recyclage à froid des matériaux bitumineux – Études de formulation ; Revue Générale de Routes et de l'Aménagement RGRA 851 ; 2006.
- Brosseaud, Y. et al ; Evaluation en laboratoire des propriétés mécaniques des enrobes bitumineux retraités en place par les techniques à froid ; Revue Générale de Routes et de l'Aménagement RGRA 853 ; 2006.
- CEDEX; NLT-162 Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión); Madrid, 1984.
- Díaz-Minguela, J.; The state of the art on site pavement recycling with cement in Spain; 2nd International Symposium on Treatment and Recycling of Materials for Transport Infrastructure; París, 2005.
- TREMTI; Varias comunicaciones; 3er Simposio Internacional de tratamiento y reciclado de materiales en obras de infraestructura de transporte; Antigua (Guatemala), 2009.
- Lancaster, I. M. et al; Régénération du bitume dans le recyclage à froid. Revue Générale de Routes et de l'Aménagement RGRA 848 ; 2006.
- Potti, J.J. ; Le Projet SCORE. Bilan Final ; Revue Générale de Routes et de l'Aménagement RGRA 855 ; 2006.
- Lesueur, D. ; Baena, J.M. et al; Éléments de validation in situ du programme SCORE; Revue Générale de Routes et de l'Aménagement RGRA 854 ; 2006.

# PREMIO JÓVENES PROFESIONALES

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS  
COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE LA CARRETERA, PIARC



Asociación Técnica  
de Carreteras

Comité nacional español de la  
Asociación Mundial de la Carretera



# CONVOCATORIA 2016

BASES DEL CONCURSO EN LA PÁGINA 80  
Y EN NUESTRA WEB

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

# Los romanos tenían razón

**Norberto Díez**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*

El origen de Garrovillas de Alconétar, Cáceres, tiene mucho que ver con la barrera que significaba el río Tajo para todos los desplazamientos de norte a sur en el oeste de la península Ibérica, porque a lo largo de muchos kilómetros, desde Talavera de la Reina hasta su desembocadura en Lisboa, había pocos sitios por donde era posible vadearlo antes de que el hombre fuera capaz de construir puentes.

El primer emplazamiento humano coincidía precisamente con uno de esos lugares, el Vado de Alconétar, donde el río se ensanchaba formando un cauce menos profundo que permitía cruzarlo en épocas de estío sin excesivo peligro; y por donde obligatoriamente tenían que pasar las manadas de animales que buscaban los pastos del norte, cazadores en su búsqueda, trashumantes, aventureros y comerciantes. Era un punto estratégico para vigilar esos movimientos y aprovecharse o librarse de ellos según los casos. Había agua en abundancia y fértiles tierras en un clima cálido y propicio para la agricultura, la pesca y la caza. Una especie de miniparaiso en el que está el origen de Garrovillas, de donde viene su historia.

Existen en las partes altas de las laderas que configuran el valle de la Rivera de Araya y el Vado numerosos yacimientos arqueológicos en los que se han hallado dólmenes, puntas de lanza, flechas de sílex, etc. (en el Museo Arqueológico de Madrid hay una espada prerromana, un ídolo de piedra y una cruz visigoda, encontrados allí) que atestiguan la presencia del hombre en la zona desde la edad de piedra. Con la dominación romana de la península y, sobre todo con la decisión de fundar Mérida (*Emerita Augusta*) y hacerla capital de la *Lusitania*, el vado del Tajo cobra una importancia trascendental. Se construye una calzada hacia el norte que forma parte del itinerario XXIV, el más largo de los descritos por Antonino, que comienza en Mérida, llega hasta Astorga (*Asturica Augusta*), baja hasta cerca de Toledo (*Toletum*) y termina en Zaragoza (*Caesaraugusta*). Probablemente por eso se le denominó Vía Lata (inmensa, ampulosa, amplia, ancha) y más tarde Vía de la Plata.

En la inmediaciones del Tajo, la calzada bajaba hacia el vado siguiendo al arroyo Villoluengo, lo cruzaba cerca de su desembocadura, no se sabe si vadeándolo o por un pontón, aunque de éste no se han encontrado referencias físicas ni escritas. A continuación cruzaba el río Almonte por un puente del que queda solamente uno de los estribos de granito, ahora bajo las 2 aguas del embalse de Alcántara. Después subía a un pequeño cerro (en latín *tumulus*) desde el que se accedía al puente de Alconétar o Mantible por el que cruzaba el río Tajo.

La calzada fue construida por Servilius Caepio hacia el año 139 a.C. y rehabilitada por Publio Licinio Craso en el año 95 a. C. El puente sobre el Tajo, según unas fuentes, fue construido por el ingeniero Lucio Vívio y se terminó hacia el año 28 de nuestra era. Así podría deducirse de la inscripción en una lápida que se supone situada en el acceso norte y en la que se hacía referencia al 27º año del mandato del emperador Tiberio, fallecido en el año 37 d.C. Según otras fuentes, como el ingeniero Carlos Fernández Casado, entre otras muchas facetas estudioso de todos los puentes romanos de España, su característica principal es el arco escarzano, es decir un arco rebajado de menos de una semicircunferencia. Este tipo es propio de la arquitectura romana de una época concreta comprendida entre los reinados de los dos emperadores hispanos, Trajano (entre los años 98 y 117) y, sobre todo, Adriano (entre los años 117 y 138).

El puente del Tajo pudiera tener relación con otro construido sobre el río Danubio junto a *Drubeteae*, la actual Turnu-Severín (Rumanía) por el ingeniero Apolodoro de Damasco, que tenía 150 pilas de piedra labrada de gran altura unidas mediante unos grandes arcos, también escarzanos, pero de entramados de madera. No es que los puentes se parezcan entre sí, pero sí que son análogos sus alardes técnicos que incitan a pensar en un autor común.

Sorprende que un pueblo con una ingeniería tan avanzada no construyera un solo puente en el río Tajo, aguas abajo de la desembocadura del Almonte, puesto que las condiciones hidráulicas no eran muy diferentes de un pun-

to a otro y las características geotécnicas del lecho del río, con vistas a su cimentación, eran idénticas. Algo tuvo que decidirles a dar un pequeño rodeo a la calzada y a construir otro puente más en el río Almonte. La razón más verosímil e inmediata es la estratégica: ya que desde un solo punto, el cerro anteriormente mencionado, se podía controlar el paso por los dos puentes. En ese entorno estaba situada la tercera “*mansio*” (sin contar Mérida, la primera estaba en Casas de don Antonio, y la segunda en Cáceres) denominada “*ad Turmulus*” intercalando una “*r*” en el nombre latino, *túmulus*, que en castellano tanto puede ser un cerro como un túmulo funerario prehistórico.

Después de los romanos vinieron los visigodos que levantaron una basílica paleocristiana, la basílica de la Magdalena; y más tarde los árabes que construyeron una fortificación de la que destaca la torre Floripes, que aún hoy es visible cuando baja el nivel de las aguas del embalse de Alcántara. Los árabes dieron nombre a esas tierras, Alconétar, que bien podría venir de “*al kanastar*” plural de “*al kantara*”. Hay una preciosa leyenda que relaciona a la princesa Floripes, hermana del temible Fierabrás, con Guy de Borgoña, uno de los Doce Pares de Francia y con el mismísimo Carlomagno. Pedro Calderón de la Barca la recoge en su obra teatral “*La Puente Mantible*”.

El puente estuvo en manos del imperio romano hasta el siglo IV; después en las de los visigodos hasta la dominación árabe, que se inició en el año 711. Los árabes conservaron el puente más de 400 años, hasta que en 1166 Fernando II de León lo conquista y se lo entrega a los Templarios para su custodia. Estos solo lo tienen en su poder 17 años, puesto que el jeque Abu Yaqub lo recupera en el año 1184. Finalmente, Alfonso IX de León en el año 1213 lo reconquista y lo vuelve a entregar a los Templarios, que lo defendieron hasta que la Orden fue disuelta por el papa Clemente V en el año 1312. Hay constancia de la presencia de los Templarios en 1257, cuando escriben al rey Alfonso X quejándose de los ataques a Alconétar de los caballeros de la cercana Orden de Alcántara (los suculentos ingresos de los pontajes eran muy codiciados) que les ocasionaban muertes y graves daños; y también en 1292, cuando Sancho IV les confirma el derecho de pontazgo. Los monjes del Temple no solo se encargan del cobro de ese impuesto, sino que mantienen el puente en buen estado e, incluso,

lo reparan de los daños que parece ser sufrió hasta en tres ocasiones.

Poco más debió de durar en pie, puesto que se tiene certeza de que ya estaba inutilizado en 1397, probablemente a causa de las guerras mantenidas con Portugal desde 1380. Otras versiones atribuyen su destrucción a los árabes en el año 1228, pero parece más probable la primera.

Desde entonces nadie fue capaz ni de restaurarlo ni de sustituirlo por otro, hasta cinco siglos después, cuando en 1928 se construyó un puente para la carretera de Salamanca a Cáceres; o, si se quiere, hasta 1881 fecha de inauguración de un puente metálico para el ferrocarril, salido de los talleres del ingeniero francés Gustave Eiffel, el autor de la famosa torre de París.

Antes, en el siglo XIV, parece que se intentó sin éxito reconstruirlo.

En 1501 los Reyes Católicos dan licencia a la villa de Cáceres para hacer un puente sobre el río Almonte presupuestado en cien mil maravedíes, pero no se tiene noticia de que se llegara a construir. En el reinado de Felipe II se proyectaron dos puentes provisionales de madera sobre las ruinas de los existentes, de manera que a la vez permitieran el paso y sirvieran de cimbra para levantar otros definitivos de piedra. Hasta se trajeron maderas de los bosques de la provincia de Cuenca flotando por el río; pero las obras se interrumpieron inexplicablemente.

En 1758 se hizo un nuevo proyecto, a cargo de un arquitecto de Salamanca, comenzando las obras en 1761 y logrando levantar tres nuevos arcos; pero de tan débil traza para soportar las cargas, que no llegaron a entrar en servicio.

Cuando en 1969 se cerró la presa de Alcántara, se tomó la decisión de trasladar el puente piedra a piedra a un nuevo emplazamiento más alto (en el cauce del arroyo Guandancil, en el extremo norte del término municipal de Garrovillas de Alconétar) para evitar que quedara sumergido en las aguas del embalse. En la figura 1 se puede apreciar su aspecto actual.

En los restos del puente que hoy día se pueden admirar en su nuevo emplazamiento se conservan varios pilares y cuatro arcos, los dos arcos pequeños auténticamente romanos y los otros más elevados surgidos del intento fraca-



Figura 1. El Puente romano de Alconétar o Mantible en su situación actual

sado del siglo XVIII. La enorme diferencia de calidad constructiva entre unos y otros es patente en las dos fotografías siguientes (Fig.2).

¿Solamente razones estratégicas motivaron la construcción de dos puentes?

Pongámonos en el papel del ingeniero romano responsable del trazado de la Calzada y de localizar la ubicación más conveniente para el paso del río Tajo. Para ello debemos emplear criterios realmente ingenieriles, no los desgraciadamente frecuentes criterios pretendidamente estéticos y faraónicos que emplean algunos proyectistas pretendiendo pasar a la historia con sus magnas obras singulares, con unos sobrecostes admitidos por gestores sin escrúpulos de los dineros ajenos. Por el contrario, utilizaremos los dos criterios que deben regir la actuación de un ingeniero de caminos, funcionalidad y economía, ambas al servicio del dueño de la obra que es el contribuyente.

El acceso más problemático es desde el sur. La Calzada viene desde Cáceres y llega al borde más alto del vado de Alconétar. Hay que buscar el camino más adecuado para salvar el desnivel de 180 metros, aproximadamente, que hay desde una cierta meseta situada a la cota 340 hasta el río situado a la cota 160 s.n.m.

Para reproducir la tarea del proyectista romano no es necesario hacer, con los medios actuales, trazados alternativos en planta y alzado, compararlos y elegir el mejor. Además, se carece para ello de la cartografía necesaria, a una escala detallada al menos 1/5000, de la zona ahora inundada. Sin embargo, contamos para imaginarnos su decisión con varios elementos que arrojan luz sobre las dificultades orográficas de las diferentes zonas, como son los trazados del ferrocarril y de la carretera N-630, en la actualidad parcialmente sumergidos en las aguas del embalse. En el croquis de la figura 3 (obtenido a partir de una cartografía de 1944 a escala 1/25 000) se han representado

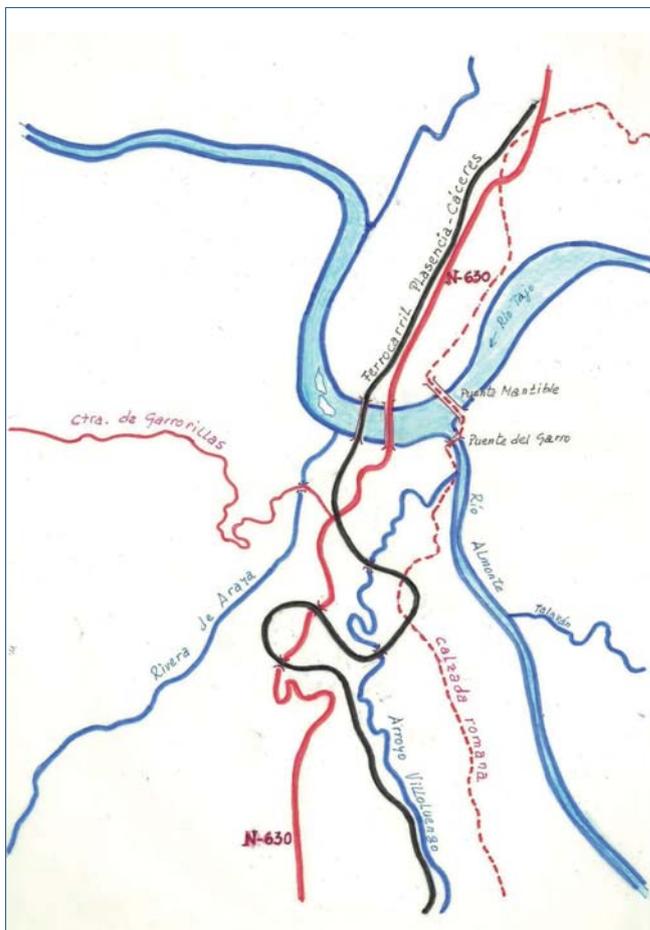


Figura 3. Trazados curvilíneos del ferrocarril y de la carretera

los primitivos trazados de esas dos infraestructuras; y en él se puede comprobar su tortuosa geometría, demostrativa de lo accidentado que es el terreno y de sus fuertes pendientes, en el tramo comprendido entre los arroyos Araya y Villaluenga, este último con un cauce profundamente excavado entre granitos.



Figura 2. A la izquierda arco romano del puente Mantible; a la derecha arco del siglo XVIII

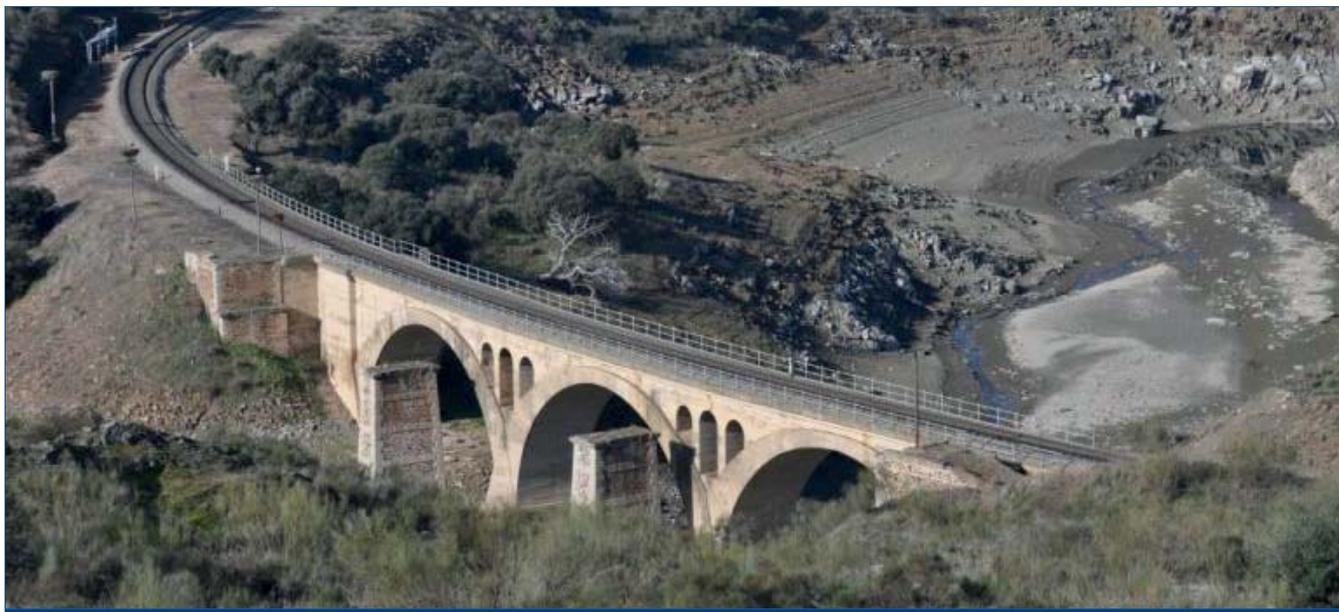


Figura 4. Puente del ferrocarril sobre el arroyo Villoluengo

Concretamente el trazado del ferrocarril presentaba dos grandes lazos para salvar el desnivel y el de la carretera (como recordarán los menos jóvenes que la utilizaron antes de que quedara bajo las aguas) contenía un buen número de molestas curvas. (Fig.3)

Es cierto que las pendientes máximas permitidas en el trazado del ferrocarril, del orden de las 20 milésimas (2 %) obligan a alargar artificialmente la longitud formando esos lazos, pero no ocurre lo mismo con la carretera, proyectada a finales del siglo XIX, que podía tener curvas de menor radio que el ferrocarril y pendientes mucho mayores. En todo caso, parece claro que esa zona comprendida entre la riera de Araya y el arroyo Villoluengo presenta ciertas dificultades orográficas. Pero esa no es su única dificultad: ya que para bajar directamente hacia el río hay que cruzar el arroyo Villoluengo, para lo cual su cauce encajado entre rocas obliga a disponer un puente de gran magnitud. El ferrocarril lo cruzaba dos veces en sendos puentes metálicos construidos por Eiffel y que después de 50 años fueron sustituidos por otros de hormigón, capaces de soportar las mayores cargas de los trenes. Uno de ellos permanece hoy día en servicio, fuera del alcance de las aguas del embalse. Aún se conservan las pilas del antiguo puente metálico desmantelado. (Fig.4)

Decididamente la mejor forma de bajar hacia el río es llevando la calzada entre los cauces del río Almonte y del arroyo Villoluengo, donde el terreno tiene una pendiente más suave y homogénea, puesta de manifiesto por las curvas de nivel mucho más separadas que en la zona situada más al oeste.

Las calzadas romanas se construían con unas pendientes máximas entre el 5% y el 10%, dependiendo de la categoría de la vía. En el croquis siguiente (realizado sobre unos planos altimétricos de 1944) se ha representado el trazado de la Calzada de La Plata que desciende desde la

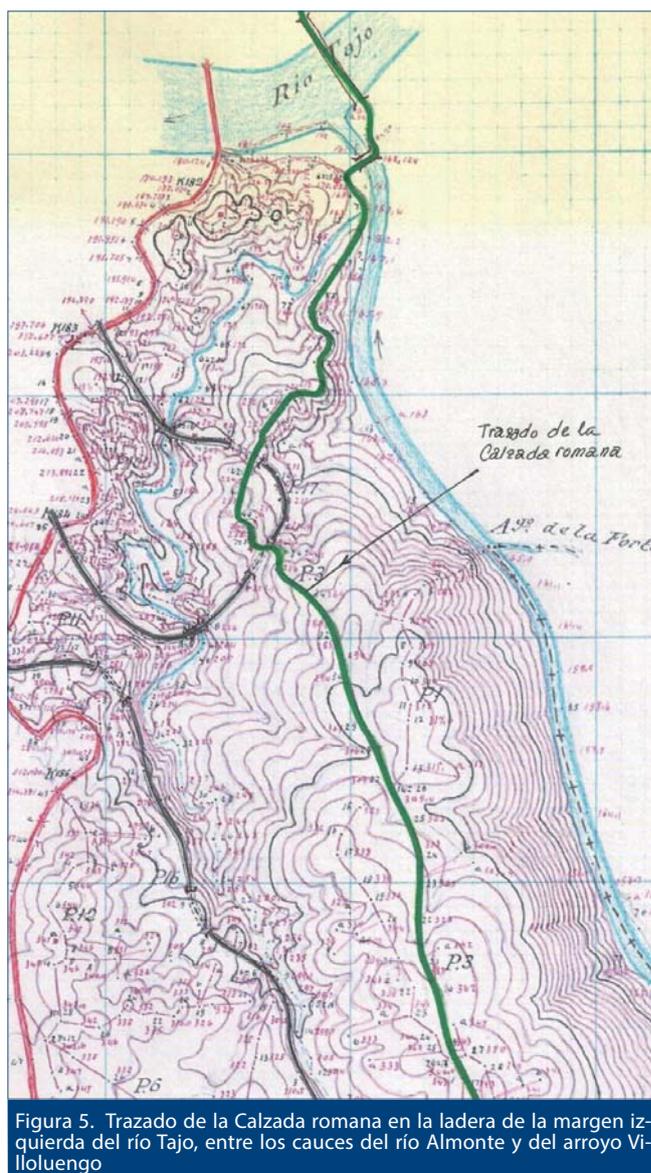


Figura 5. Trazado de la Calzada romana en la ladera de la margen izquierda del río Tajo, entre los cauces del río Almonte y del arroyo Villoluengo

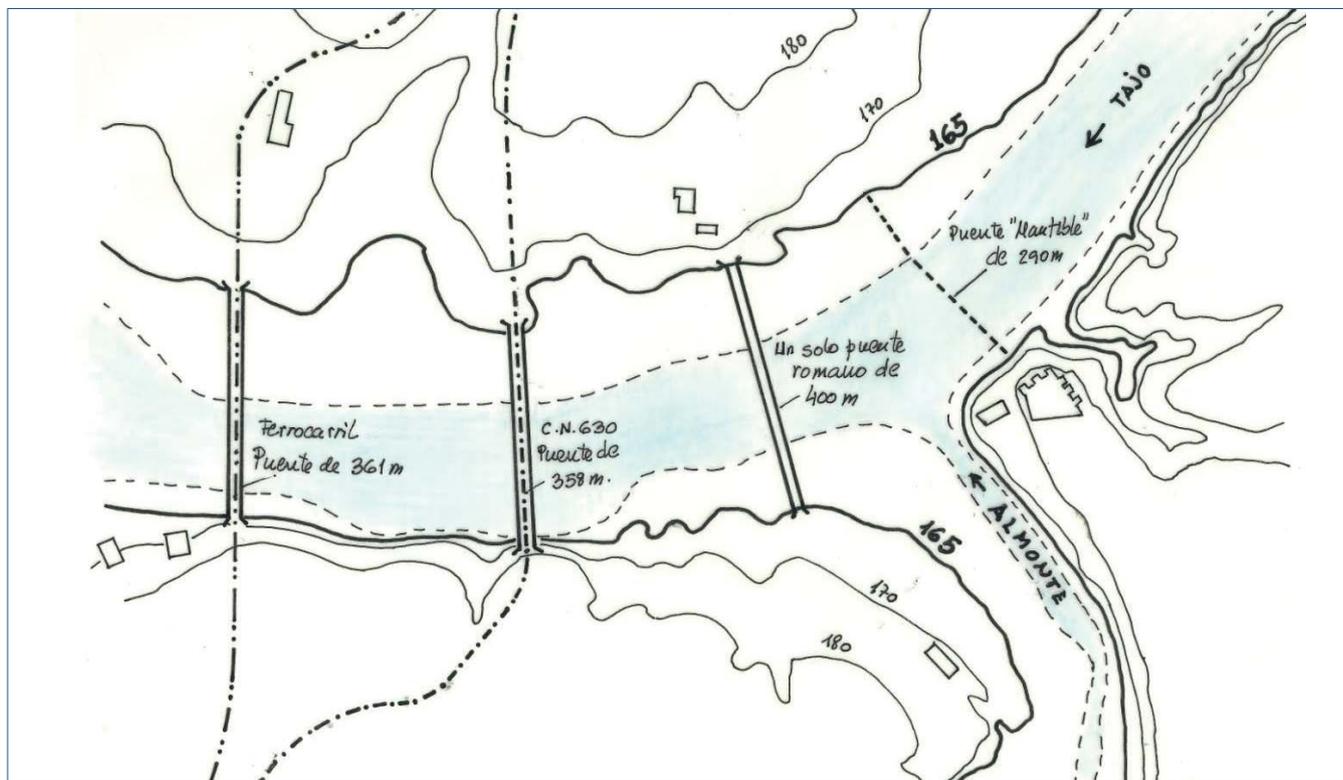


Figura 6. Los puentes del ferrocarril y la carretera, el puente "Mantible" y un hipotético único puente para la calzada romana

cota 340 hasta la 160 en un recorrido de 3,5 kilómetros, resultando una pendiente media del 5%. La geometría se acomodó a la forma del terreno para no producir grandes desmontes ni terraplenes, que eran obras difíciles de hacer para la rudimentaria maquinaria de construcción de aquella época. (Fig.5.)

Al llegar a la parte llana hay que cruzar el arroyo Villo-luengo cerca de su desembocadura en el río Almonte. El cauce ya no está encajado y el cruce no representa un problema grave, porque se puede vadear, dado su carácter variable, con largas épocas de estiaje; y en todo caso, se puede resolver con un pontón de poco coste. Ahora queda la disyuntiva de si seguir paralelo al río Almonte dirigiéndose al Tajo, o cruzarlo. Seguramente el responsable del trazado de la calzada se planteó dos posibilidades:

- Una primera alternativa cruzaría primero el Almonte y después el Tajo, lo que implica, lógicamente, la construcción de dos puentes. El primero, sobre el Almonte se podría hacer como muchos otros del Imperio Romano, como comenta el ingeniero Carlos Fernández Casado, "con pilas y estribos de fábricas y tramos de madera". El segundo, sobre el Tajo, se podría apoyar en el cerro de su margen izquierda donde está la mansión Turmulus (y posteriormente la torre Floripes).
- Otra posibilidad es seguir recto y cruzar el río Tajo en un solo puente en la zona llana aguas abajo de la desembocadura del Almonte.

La primera alternativa es la que se llevó a efecto; pero ¿cómo sería el puente de la segunda opción?

El ferrocarril cruza el río llevando las vías a la cota 182,7 con un puente de 361 metros de largo. El estribo de la margen derecha, situado en un terreno llano, está precedido de un largo terraplén y el de la margen izquierda se apoya en el terreno, mucho más escarpado. El puente de la carretera N-630 tiene la plataforma a la cota 180 con un puente de 358 metros de longitud y también con terraplén de acceso en el estribo norte, y el estribo sur apoyado en la ladera de la margen izquierda. La calzada romana debería ir un poco más baja para evitar esos terraplenes, especialmente porque serían necesarios en sus dos extremos, al ubicarse en una zona más llana que los del ferrocarril y la carretera. De hacerse, por ejemplo, a la cota 175, y suponiendo unos terraplenes de una altura máxima de 10 metros, el puente resultante podría tener del orden de los 400 metros de longitud, la comprendida entre las dos curvas de nivel 165, como se muestra en el croquis siguiente. (Fig.6.)

Visto de otro modo, el puente único sobre el río Tajo, situado aguas abajo de la desembocadura del Almonte en un terreno llano, podría tener este aspecto con una longitud notablemente mayor que el puente Mantible (Fig.7.)



Figura 7. Perfil de un puente situado en terreno llano comparado con el perfil -arriba- del puente Mantible

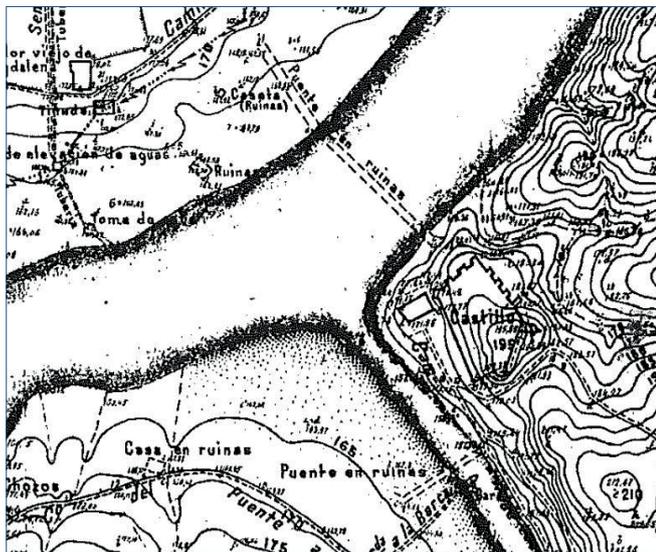


Figura 8. Cartografía en la que se representan los dos puentes en ruina

Al no contar con una cartografía adecuada no se han podido reproducir los perfiles de los cuatro puentes obteniendo una estimación más precisa de la longitud del hipotético puente único, a efectos de compararla con la del puente Mantible. Por eso se ha tenido que recurrir a estos “cálculos” tan poco ortodoxos, pero que arrojan luz sobre un hecho: que de haberse cruzado el río Tajo directamente, sin cruzar previamente el río Almonte, el puente resultante sería bastante más largo que el puente Mantible. Resultan, por lo tanto, dos alternativas:

- Un solo puente sobre el Tajo de aproximadamente 400 metros de longitud
- Un puente de aproximadamente 300 m de longitud sobre el Tajo y otro sobre el Almonte.

¿Qué de las dos es mejor?

Para responder a esa incógnita hay que conocer la longitud y características del puente sobre el río Almonte. Su longitud pudo haber sido de menos de 100 metros, interpretando como puente unas líneas dibujadas en alguna cartografía, como la de la figura 8 que representa a los dos puentes en ruina, uno en el Tajo y otro en el Almonte, éste claramente más corto.

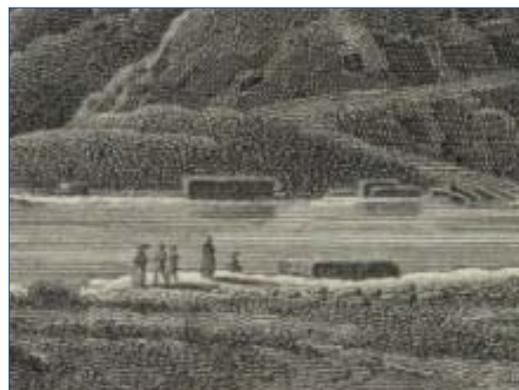
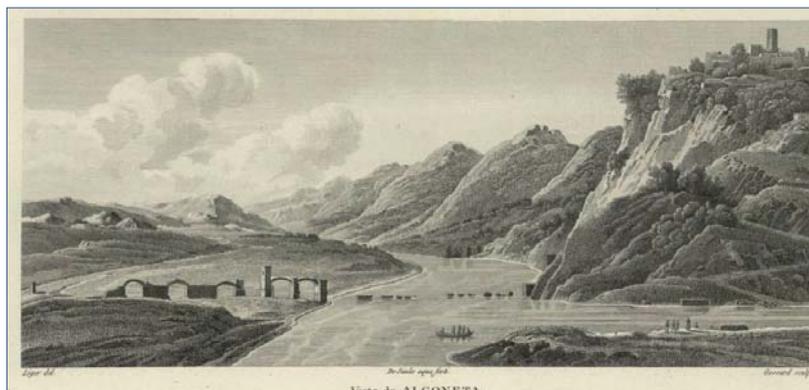


Figura 9. Grabado de Laborde. En el detalle se pueden apreciar lo que bien pudieran ser los estribos del puente sobre el río Almonte.

Sin embargo una buena parte de esos 100 metros podría corresponder a un terraplén bordeado de muros de fábrica, mientras que la longitud de puente propiamente dicho podría coincidir con la anchura del cauce del río. Así parece indicarlo el grabado de Laborde, en el que se representan unos rectángulos en las márgenes que bien podrían ser los dos estribos que aún se conservaban en aquella época. (Fig. 9)

Pero aún cuando la longitud de este puente fuera de 100 metros, su coste sería muchísimo menor que esa misma longitud de puente sobre el Tajo, por la enorme diferencia entre los dos tipos de construcción: uno de grandes sillares y arcos escarzanos, y el otro con tablero de madera, de forma que resulta mucho más ventajosa, al menos desde el punto de vista económico, la opción de construir dos puentes.

Además el puente con un estribo apoyado en el cerro tiene ventajas estructurales, ya que los arcos escarzanos presentan unos mayores empujes longitudinales.

Por otro lado están las razones estratégicas favorables, ya que desde la alta fortaleza de Túrmulus se dominan todos los accesos.

En resumen, no resulta aventurado decir que la solución adoptada por los ingenieros romanos para el paso de la Vía de La Plata por el vado de Alconetar, construyendo dos puentes, era la más adecuada.

1. El trazado de la vía eligió la ubicación más favorable, resultando alineaciones con pocas curvas molestas y un perfil longitudinal con una pendiente más que aceptable para salvar el desnivel de 180 metros en el acceso al valle desde el sur.
2. La construcción de dos puentes, uno en el Almonte y otro en el Tajo, tenía claras ventajas económicas frente a la alternativa de un solo puente más largo en el Tajo, pasada la desembocadura del Almonte.
3. Desde el punto de vista constructivo, se ahorraban trabajos en el río más problemático, el Tajo, con un régimen muy variable en el que se podían producir grandes y peligrosas avenidas.
4. Además el puente con un estribo apoyado en el cerro tiene ventajas estructurales ya que los arcos escarzanos presentan unos mayores empujes longitudinales.

5. Por otro lado están las razones estratégicas favorables, ya que desde la alta fortaleza de Túrmlus se dominan todos los accesos.

Por todo ello, la solución adoptada por los romanos no es ni mucho menos descabellada, aunque sorprendiera a muchos, entre ellos a los árabes, que llegaron a denominar Alconétar a ese lugar, el de *los dos puentes*.

Siento la obligación de reconocer que mis maestros romanos eran unos magníficos ingenieros a los que los profesionales actuales nunca rendiremos un suficiente homenaje de admiración.

## Adenda

En el vado de Alconétar la historia de los puentes comenzó con esos dos romanos, pero a lo largo de los años parece que en esta zona la ingeniería ha querido desplegar todas sus capacidades:

La aparición del hierro como material de construcción hizo que proliferaran las estructuras metálicas; y aquí se construyeron al menos tres puentes para la línea de ferrocarril Madrid-Valencia de Alcántara, inaugurados en 1881, uno sobre el Tajo y dos sobre el arroyo Villoluengo. Cincuenta años después, ante el aumento de las cargas de los nuevos trenes, fue necesario sustituirlos por otros de hormigón. Después vendría el puente de la carretera Cáceres-Salamanca, abierto al tráfico en 1928, tras una tenaz insistencia de las autoridades cacereñas reclamándolo, entre otras la de un garrovillano, el vicepresidente de la Diputación de Cáceres, Florencio Breña Rubio.

A la vez la carretera que desde Garrovillas llegaba a la nacional contó con un magnífico puente sobre la rivera de Araya; y unos años más tarde se construyó otro puente sobre el río Almonte para la carretera de Hinojal a la N-630. El embalse de Alcántara los ha inundado todos (excepto uno de los dos sobre el arroyo Villoluengo), y tanto la carretera N-630 como el ferrocarril tuvieron que modificarse llevándolas a una cota más alta. Las variantes se coordinaron bajo una única administración, la de Hidroeléctrica Española; y los dos pasos más complica-

dos, los de los dos ríos, se resolvieron con sendos puentes singulares formados por una viga-cajón, dentro de la cual pasa el tren y sobre ella la carretera. También fue necesario hacer una variante de la carretera de acceso a Garrovillas, incluyendo un nuevo puente sobre la rivera de Araya.

La autovía A-66 también quiso acercarse al vado saltando los dos ríos con unos arcos espectaculares, uno metálico y otro de hormigón en un alarde de la ingeniería, que se está repitiendo, quizá mejorando, con otros dos puentes para el AVE acompañados en esta ocasión con un buen número de viaductos para que la geometría tan exigente del nuevo ferrocarril salve las abundantes vaguadas. Desde la carretera N-630 se puede disfrutar en la actualidad del espectáculo de la construcción de esos puentes y si se quiere tener una visión de todos ellos, el montículo donde está el antiguo depósito de agua de Garrovillas es una magnífica atalaya, como se aprecia en la foto siguiente.

Puentes del Ave Madrid-Extremadura. A la izquierda sobre el río Tajo; a la derecha sobre el río Almonte

## Bibliografía

- Historia de los puentes en España. Puentes Romanos. Carlos Fernández Casado. Colección ciencias humanas e ingeniería. Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, 2008
- Catálogo de la exposición "Artifex. Ingeniería Romana en España". Museo Arqueológico Nacional. Madrid marzo a julio de 2002
- Revista de Obras Públicas. Varios números con artículos dedicados a los puentes del río Tajo en Alconétar.
- Ingeniería Romana en España. Número 564 de la Revista del Ministerio de Fomento. Julio-agosto de 2007.
- Alconétar. Colección de documentos, escritos y publicaciones. Santiago Molano Caballero. Departamento de publicaciones de la Dirección del Servicio General de Secretaría de la Asamblea de Extremadura. 2009 ❖



Figura 10. Puentes del Ave Madrid-Extremadura. A la izquierda sobre el río Tajo; a la derecha sobre el río Almonte"

# Colaborar, integrar e innovar: las coordenadas de la movilidad

**José Luís Martín Palacín**  
Exconcejal del Ayuntamiento de Madrid  
Exdirector General de Tráfico

Cuando en 1979 llegué la Casa de Cisneros, traía debajo del brazo un libro de más de quinientas páginas titulado “Cambiar Madrid”. Y en él, el capítulo de Transportes proponía muchas alternativas que después fueron recogidas en el proyecto del Consorcio de Transportes de Madrid y en algunas opciones de mejora del tráfico. Era una síntesis de propuestas sectoriales en los distintos ámbitos, elaboradas por un numeroso grupo de expertos y de luchadores sociales, y convertidas en Proyecto de Ciudad/ Proyecto de Gobierno, que marcó una etapa nueva y fecunda en los Ayuntamientos españoles.

Con ello cumplíamos la obligación de todo político: acceder a su mandato con un proyecto, y tratar de cumplirlo. Pero en el Ayuntamiento nos encontramos con unos técnicos que sabían muy bien lo que se traían entre manos, y que fueron decisivos para completar aquellas alternativas, y para cambiar Madrid. En los meses y años posteriores pude comprobar que ese hecho no era exclusivo de Madrid: en Valencia, Barcelona, Sevilla, Gijón, Vigo, Zaragoza... No debería enumerar, porque me alargaría demasiado, y siempre me dejaría a alguien en el tintero... Había técnicos con excelente preparación, con mucha vocación y con una capacidad de dedicar a su tarea algo más que su tiempo. Tuve la suerte de integrarme en aquel equipo, donde logramos entre todos crear, innovar y dinamizar.



Tarea que pronto vimos ampliada en el ámbito primero de la Asociación de Grandes Ciudades, y posteriormente en la Federación Española de Municipios y Provincias.

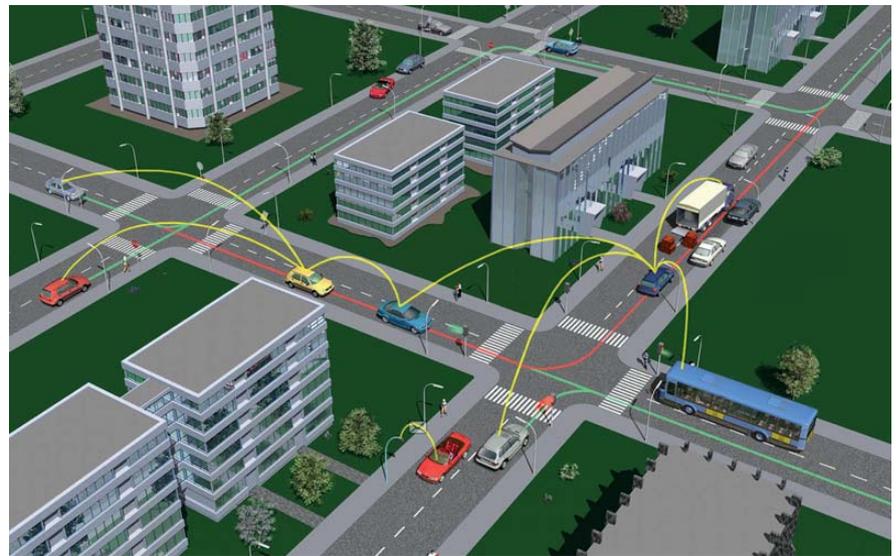
Como en un cuarteto de jazz bien conjuntado, en cada Ayuntamiento, en el tema de la movilidad hay cuatro intérpretes que en cada momento deben conocer muy bien el alma de la música que han de interpretar, y tener a la vez capacidad para improvisar sin romper la armonía ni el desarrollo del concierto:

- Está el “político” que debe acudir con un proyecto que ha propuesto a la ciudadanía. Y debe aportar también la sensibilidad de su relación con la sociedad, para recoger las reivindicaciones, para interpretar y pronosticar la respuesta ciuda-

dana a las medidas que se han de adoptar, y para ejercer una paciente y convincente labor de pedagogía ante la propia sociedad; incluso para mantener un habilidoso pulso con ella. Todos sabemos, por ejemplo, que sin ese pulso y esa labor de diálogo y pedagogía no se habrían podido llevar a cabo proyectos importantes de movilidad. Por ejemplo, el de rescatar las zonas de prioridad para los peatones. Porque incluso los principales beneficiarios objetivos de estas medidas (léase muchos comerciantes en el tema peatonal) habrían ahogado la decisión con una escandalera. El político en ese cuarteto ha de ser como el piano, que atempera, que mantiene una presencia constante, como hilo conductor de la melodía,

y que a veces puede destacar su discurso en un solo apasionado, capaz de hacer vibrar a la sociedad. Pero tiene que estar bien integrado en el conjunto. En estos últimos años hemos visto ejemplos en los que el político ha tomado distancias, ha interpuesto gente no técnica, importada, que ni siquiera se ha dignado participar en los ensayos del cuarteto. Y ha querido imponer una partitura rígida que mata el alma de nuestro metafórico jazz: el alma viva de ese arte de inventar cada día el funcionamiento dinámico y armónico de la movilidad urbana. Algunas de esas imposiciones fuera de control han resultado incluso caras, muy caras; y nos han dejado endeudamientos excesivos e innecesarios.

- Los técnicos son como el clarinete o la trompeta del cuarteto. Han de investigar de forma permanente nuevos registros que mantengan el tono, y que a la vez introduzcan novedades. El tráfico es como el fuego: consume todo lo que encuentra a su paso; las novedosas medidas de hoy pasado mañana quedan obsoletas. Y los técnicos deben mantenerse a la vanguardia de la investigación y de la innovación. Tener la audacia de experimentar, siempre conscientes de no hacer los experimentos con champán. No apoltronarse, no acomodarse a la rutina cotidiana que te lleva a escuchar solamente las sugerencias de las empresas que te rodean: las famosas "empresas de mano". Por desgracia hemos conocido algún que otro técnico convertido en la imagen de una especie de "madame Récamier" recostada pasivamente en su diván, sin más aportación que la de hacer que nada cambie para que todo siga igual. Por el contrario, muchos somos testigos de cómo el dinamismo cotidiano y la inquietud de muchos técnicos municipales han logrado una innovación tecnológica que han situado a nuestro país a la vanguardia y están consiguiendo



que nuestras ciudades sean más habitables.

Por eso choca una tendencia de la que en determinados casos pienso que se ha abusado en la contratación de "direcciones técnicas" externas que en ocasiones actúan como oráculos desencajados de la armonía del concierto. Un mecanismo que ha contribuido a veces a desvirtuar el protagonismo y la responsabilidad de los técnicos de las Administraciones. Y como es algo que he vivido desde las dos orillas, podría echar mano de muchos ejemplos que avalan mi afirmación, pero que harían demasiado prolongada y prolija esta nota.

- En el cuarteto no puede faltar el contrabajo. La policía municipal podría estar representada por ese instrumento. No destaca en apariencia, pero está constantemente presente en la ejecución de las medidas. Experimenta sobre el terreno las consecuencias de las decisiones y su aplicación, y es una fuente permanente de experiencia, que avala que su voz haya de ser tenida en cuenta a la hora de planificar. En muchas ocasiones encarna el papel de los que ponen los "peros" a cualquier innovación. Pero su participación flexible y abierta en el equipo es fundamental. En algún sitio, por falta de medios y de técnicos, ha tenido que suplir a éstos, con diversa fortuna y resultados.

Es fundamental que la policía municipal se integre de manera armónica en ese equipo que ha de trabajar por una movilidad inteligente. Las adscripciones orgánicas de cada cuerpo de funcionarios pueden ser diferentes. Pero debe haber una dependencia funcional clara e integradora. La dispersión de esfuerzos, la descoordinación de los centros de donde emanan las instrucciones y directrices son una fuente de disonancia y de ineficiencia. Sigue siendo como en el jazz donde, precisamente porque se necesita improvisar y crear sobre la marcha, hace falta mucho ensayo. En el ámbito sobre el que tratamos, es muy importante que ese ensayo se traduzca en reuniones, intercambio, y formación conjunta. Si elevamos el nivel de formación de nuestros agentes, y les convertimos en partícipes del proyecto y no en meros ejecutores, habremos ganado mucho terreno y eficacia.

- ¿Qué sería de un cuarteto de jazz sin percusión? En nuestro análisis falta un intérprete que no aparece vinculado a la gestión de la movilidad. Pero que cuanto más separado esté de esta gestión, más puede convertirse en un estorbo y hasta en una estridencia. Son los demás grupos de funcionarios, los que se encargan de las áreas legales y administrativas, y del área económica. Sin ellos el concierto no sale.

En este campo hay que retomar la labor del político. Está entre sus misiones hacer que los funcionarios de esas áreas conozcan el proyecto para el que se trabaja, y que se comprometan con él, aportando su esfuerzo colaborativo.

Podría contar al respecto una anécdota real. En Madrid, en 1980 estuvimos a punto de no poder poner en marcha los proyectos de centralización semafórica y el de la instalación de las cámaras de control de tráfico. Al interventor no le gustaban esos dos expedientes, por más que estuvieran incluidos en el presupuesto municipal y que se ajustaran a derecho. Tuvimos que movilizar el hábil hacer de don Enrique Tierno Galván para que el señor interventor tomara conciencia de la importancia que para la ciudad tenían ambos proyectos. Por desgracia –sea por causa del interventor, del secretario, o del informante preceptivo que correspondía– podríamos entre todos relatar muchos otros ejemplos. Es la percusión: y no le he asignado este papel con la fácil mala intención de hacerlos aparecer como los “golpeadores”. Es porque son los intérpretes que pueden generar más discordancia, e incluso ruidos, si no están identificados con el alma de la composición.

El peso que con las normas comunitarias de contratación han adquirido los aspectos estrictamente administrativos y económicos, ha trastocado mucho la creatividad y la dinamización de los proyectos de movilidad. Me atrevería a decir incluso que al concederle tanta importancia en las contrataciones a la baja económica, se ha lastrado la innovación. Y se llega a contradicciones que modestamente considero surrealistas. Pongamos un ejemplo: si un pliego de condiciones técnicas y administrativas está bien hecho, una baja del 30, del 40 y hasta del 50 % no es viable, y lo que supone es una descalificación *de facto* a quienes elaboraron esos pliegos. Y si se adjudica con esas bajas, por ejemplo, un contrato de mantenimiento, habrá que ver si realmente están cumpliendo internamente las

prestaciones requeridas, y la propia legalidad (laboral por ejemplo) en la que tiene que desenvolverse. Les garantizo que si se calcularon bien los requisitos de los pliegos y las prestaciones requeridas, cualquier adjudicación con esas bajas, o inferiores, desafina el concierto y degrada el terreno en el que trabajamos. Basta con que pensemos en ello con un poco de detenimiento para darnos cuenta. Y si lo hacemos vendría muy bien que pudiéramos soluciones.

Es importante, pues, que el cuarto intérprete también participe del espíritu de los proyectos y que se comprometa con un tema como el de la movilidad, que afecta tan directamente a la convivencia social, a la calidad de vida en las ciudades y a la vida misma de las personas, en su faceta de seguridad vial.

Por último, me atrevería a proponerles que ampliáramos el grupo de jazz para convertirlo en un quinteto. Se puede añadir un violín, o un vocalista incluso. Y sería más completo. El nuevo intérprete no puede ser otro que la empresa. Algunos desafortunados sucesos derivados de comportamientos ético-políticos deleznable, o de ciertas actuaciones de “espectáculo judicial”, han hecho que la relación entre las Administraciones y las empresas se haya llevado en muchas ocasiones al terreno de la sospecha. Por mi modesta experiencia puedo decirles que si en nuestro país no hubiera existido una colaboración intensa entre ambas partes, nuestro nivel de tratamiento de los problemas de la movilidad sería más rudimentario, y nuestra tecnología sería mediocre.

También en ese terreno una aplicación rígida y no imaginativa de la normativa que regula los contratos públicos contribuye a empobrecer el panorama. Las mejoras tecnológicas en los concursos públicos, que durante algunos años ayudó a impulsar el desarrollo y la innovación, cuando se plantean como algo demasiado tasado y medido estrechan el margen de creatividad y reducen las posibilidades de colaboración de las empresas.



En la actualidad nos situamos ante un reto muy interesante desde el punto de vista tecnológico: el de incorporar herramientas de última generación para optimizar la gestión tecnológica de la información al servicio de la movilidad, y para facilitar a los ciudadanos los accesos a la información, a la participación y al uso de medios adecuados para su desenvolvimiento en ese proceso de movilidad. En este contexto, si logramos agilizar la colaboración Administraciones-empresas, buscando fórmulas más flexibles para la contratación (y más flexibles no quiere decir ni laxas ni fuera de control), estaremos impulsando el esfuerzo de desarrollo e innovación de las empresas.

Bastarían medidas cooperativas, desde volver a primar en los concursos públicos las mejoras tecnológicas dando más protagonismo a la iniciativa empresarial, promover concursos de ideas, o establecer posibilidades dentro de la ley para la realización de convenios entre las Administraciones y las empresas. Hoy confluyen organizaciones como la Asociación de Ingenieros de Tráfico y Técnicos de Movilidad y como ITS España, que podrían constituirse –junto a algunos Institutos Tecnológicos, por ejemplo– en mediadores y árbitros externos para estos convenios.

Es una modesta sugerencia en la línea de contribuir a que nuestra música suene bien, vaya bien armonizada y desate la pasión de la creatividad y la originalidad. Porque vocación y potencial estoy convencido de que existe. ❖

# XVIII CILA Congreso

**Félix Pérez Jiménez**

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y  
Catedrático de la Universidad Politécnica de Barcelona

El Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA) se celebra cada dos años en noviembre en algún país ibero o latinoamericano, y en él se presentan los trabajos más actuales e interesantes que estos países están llevando a cabo sobre diseño, construcción y gestión de carreteras, tratando especialmente las mezclas y materiales bituminosos. El último congreso, XVIII CILA, tuvo lugar en noviembre en la ciudad de San Carlos de Bariloche, Argentina.

En el congreso se presentaron un total de 168 artículos, de los cuales más de la mitad trataban sobre investigaciones y trabajos relacionados con ligantes y mezclas bituminosas. Analizar y comentar los trabajos allá presentados puede ayudarnos a conocer cuál es el estado del conocimiento en estos países y cuáles son los temas de interés en el área del diseño y construcción de pavimentos asfálticos.

La innovación en el desarrollo de ligantes ha ido fundamentalmente dirigida a la presentación de ligantes y aditivos que permitan fabricar, extender y compactar mezclas en caliente a menor temperatura. En este sentido merece la pena destacar el artículo colombiano de D. A. Rojas Avellaneda *et al.*, "Desarrollo de un aditivo para la producción de mezclas asfálticas tibias", que recibió el premio Doctor Jorge Agnusdei al mejor artículo del Congreso. Premio que ha sido creado en honor del que fue durante muchos años su Secretario Permanente, principal impulsor de este congreso, y que se entregó por primera vez en este Congreso. Este trabajo tiene interés por partida doble: por una parte, al presentar un nuevo aditivo polimérico que permite bajar la temperatura de

fabricación de las mezclas bituminosas; y por otra parte, a que el aditivo es obtenido a partir de un subproducto agroindustrial, como es el caso del glicerol.

Los autores señalan "cómo la incorporación de este aditivo en concentraciones tan bajas como en un 0,1% en peso era suficiente para producir cambios químicos, térmicos y estructurales significativos en el asfalto".

Este artículo es también interesante por la metodología y ensayos empleados en la valoración del efecto de los aditivos, como es el caso del uso de la calorimetría diferencial de barrido M-DSC, o la caracterización morfológica por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM), Figura 1. Ensayos novedosos que permiten determinar la capacidad calorífica del ligante y observar su estructura coloidal. También analizan la respuesta mecánica del ligante aditivado mediante el reómetro de corte dinámico (DSR).

Los autores señalan las ventajas del aditivo para bajar la temperatura de fabricación y mejorar las propiedades

reológicas y la resistencia a las deformaciones del ligante aditivado antes y después de envejecido.

Dentro del uso de aditivos para la fabricación de mezclas tibias resulta también instructivo el artículo del argentino F. Morea con el título "Propiedades reológicas de fatiga y ahuellamiento de asfaltos recuperados de mezclas tibias (WAM)". En este trabajo el autor presenta resultados de los ensayos de caracterización reológica de diferentes betunes, aditivados y sin aditivar, después de fabricar con ellos una mezcla patrón a diferentes temperaturas, entre 120 y 160°C, y ser posteriormente recuperados. Los aditivos usados en este caso son tenso-activos. Como método de valoración se usan los ensayos reológicos relacionados con el ahuellamiento (*Multiple Stress Creep Recovery*), Figura 2, fallo por fatiga (*Dissipated Energy Ratio*) y viscosidad cinemática (Ensayo de barrido de velocidades de corte), realizados todos ellos mediante el reómetro de corte dinámico (DSR). Los resultados muestran que la incorporación de aditivos y la

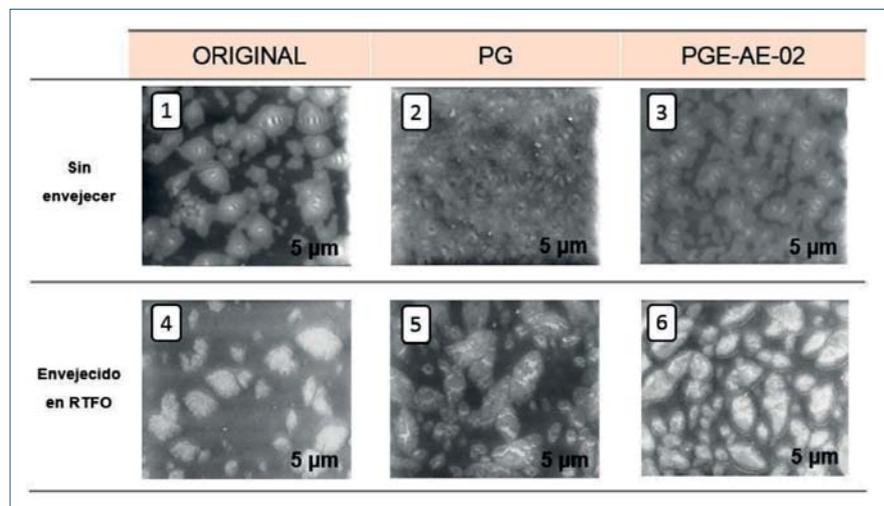


Figura 1. Microfotografías SEM de las muestras de asfalto original, PG y PGE-AE-02, antes y después del envejecimiento en RTFO

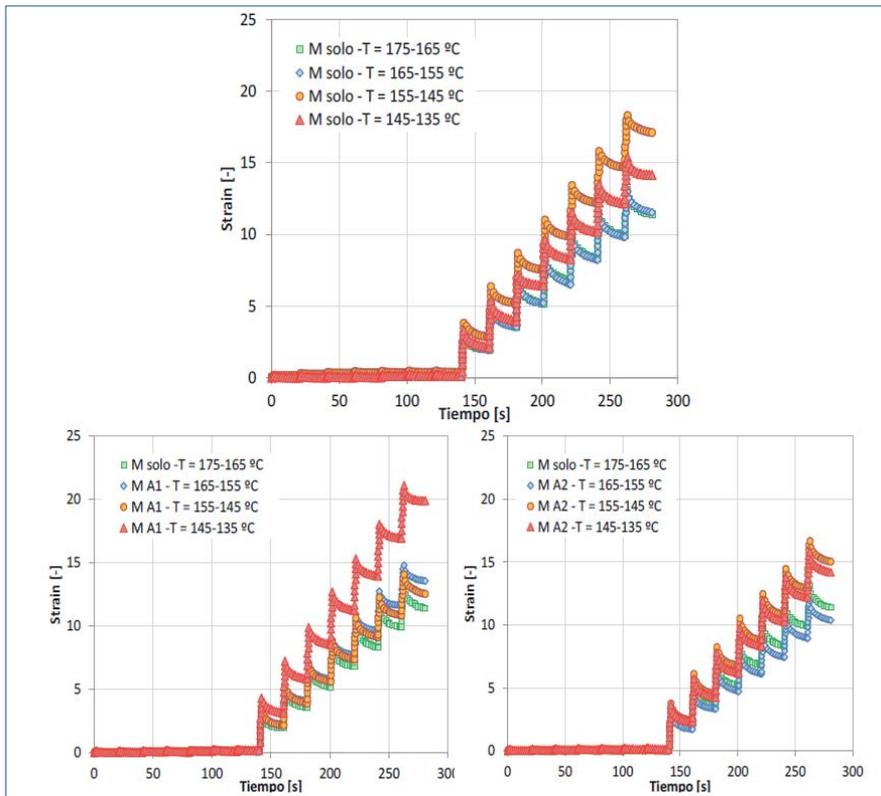


Figura 2. Resultados de MSCR a 60°C para los asfaltos modificados

variación de la temperatura de fabricación puede modificar la respuesta de los ligantes, más en los resultados de ahuellamiento y fatiga que en los de viscosidad.

Dentro de las innovaciones y nuevos productos presentados llama también la atención la incorporación de nanomateriales para mejorar la reología y el comportamiento mecánico del mástico bituminoso. El mástico bi-

tuminoso es la película que envuelve y aglomera los áridos en la fabricación de una mezcla bituminosa. Se forma a partir de la mezcla del ligante bituminoso con las partículas minerales más finas, el polvo mineral o *filler*. La adición de nanopartículas o de filler especiales puede mejorar estas propiedades; y esto es lo que se ha puesto de manifiesto en el trabajo presentado desde Brasil por J.V. Staub de Melo et

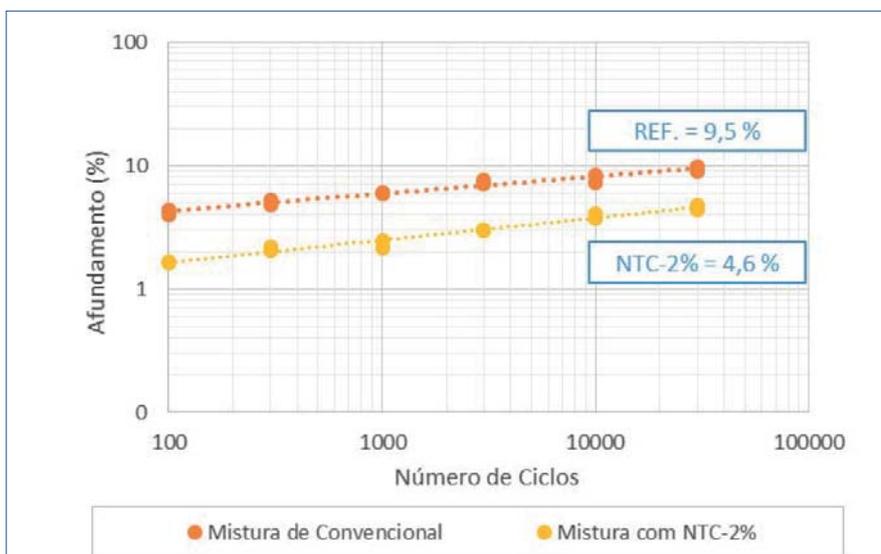
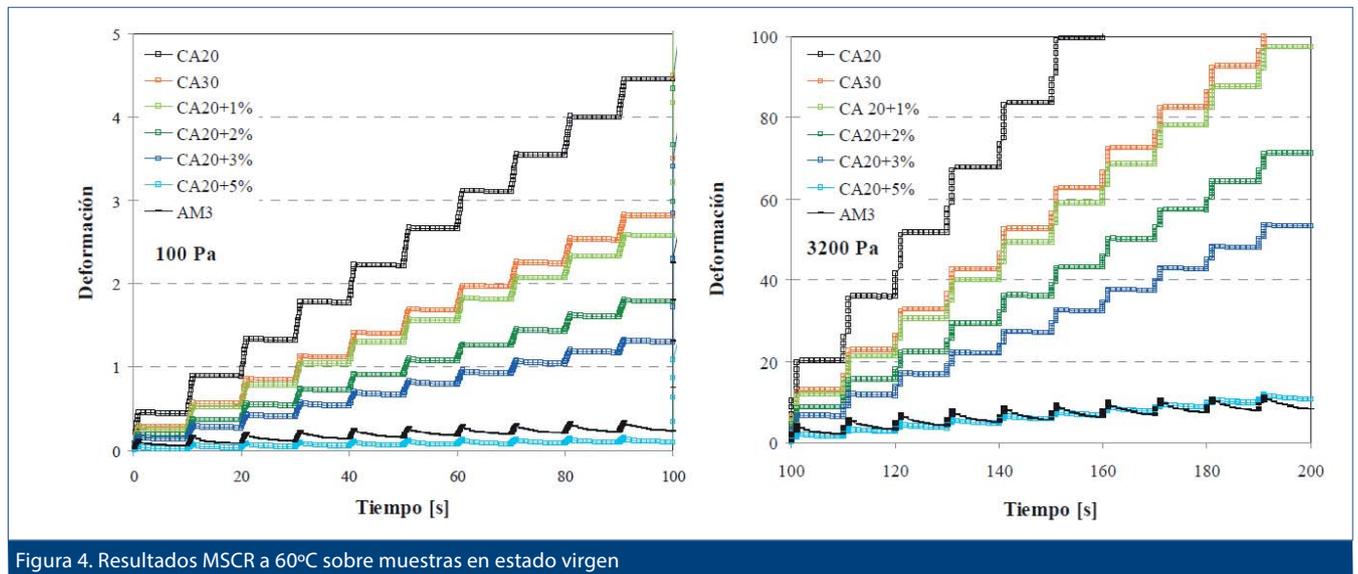


Figura 3. Comportamiento a deformación permanente de las mezclas asfálticas fabricadas

al. "Desenvolvimento de nanocompositos asfálticos a deformação permanente". En este artículo se presenta el efecto que dan los nanotubos de carbono para mejorar la resistencia a las deformaciones plásticas de la mezcla. Para mostrar este efecto se recurre al ensayo en el equipo de simulación de tráfico francés (*ornièreur*) donde se evaluaron mezclas fabricadas con un betún convencional, B 50/70, y la misma mezcla fabricada con la incorporación de nanotubos, Figura 3.

En este congreso tuvo también una gran presencia, al igual que en otras muchas de las jornadas que han tenido lugar sobre pavimentos en otros lugares a lo largo del año, los temas relacionados con la sostenibilidad y el medio ambiente. En sus dos modalidades más comunes, la utilización de desechos y residuos industriales (neumáticos fuera de uso, plásticos) en la fabricación y mejora de las propiedades de las mezclas bituminosas; y por otra parte, la relacionada con el uso de mezclas envejecidas en la fabricación de nuevas mezclas (reciclado de pavimentos y mezclas bituminosas). A este último tema se dedicó toda una sesión del congreso. Un artículo interesante relacionado con el uso de desechos es el artículo presentado desde Argentina por Silvia Angelone *et al.* "Alternativas sustentables en la producción de asfaltos: modificaciones con polvo de poliestireno reciclado". En el trabajo se describe la metodología para el mezclado e incorporación del polvo de poliestireno a un asfalto CA20. Se comparan los resultados de los ensayos de caracterización física (penetración, punto de ablandamiento, viscosidad y recuperación elástica) y reológica mediante el uso del DSR (grado de performance PG, curvas de flujo y MSCR test, Figura 4) para el asfalto base, los asfaltos modificados con PE y dos asfaltos de control. Los autores señalan que la adición de PE produce una modificación significativa de las propiedades de los asfaltos; y atendiendo a razones ambientales



y comprometidas con soluciones tecnológicas sustentables, estos asfaltos podrían ser una opción valiosa respecto a la falla por ahuellamiento de las mezclas asfálticas.

En las actuaciones de reciclado un grupo chileno-español recoge en la ponencia "Proyecto Pasos: investigación y desarrollo de nuevos pavimentos asfálticos sostenibles de baja temperatura de fabricación y extendido", de F. Guisado *et al.*, sobre la rehabilitación de un tramo de carretera en que parte del material bituminoso fresado del firme a rehabilitar ha sido llevado a una central en caliente para la fabricación de una mezcla templada (temperatura de fabricación sobre 100°). Estas mezclas han sido fabricadas mediante el uso de emulsiones bituminosas es-

peciales, de estabilidad al almacenamiento y dureza del betún superior a las convencionales. Las mezclas fabricadas, de características similares a las convencionales en caliente, han sido extendidas y compactadas en obra a temperatura inferior sobre 80-90°C. Se han fabricado y extendido varios tipos de mezclas templadas con diferentes contenidos de material fresado (0-50%).

También se muestra dentro de los artículos recogidos en el apartado de construcción, el interés por el uso de las mezclas de alto módulo en la rehabilitación de pavimentos. Trabajo "Aplicación de mezclas de alto módulo de rigidez en la provincia de Río Negro" de M. Jair *et al.* El trabajo presenta el interés adicional de recoger los ensa-

yos de control de calidad de ejecución de la obra (extracciones, densidades alcanzadas en obra y ensayos mecánicos sobre testigos), y su comparación con respecto a la fórmula de trabajo, Tabla 1.

En este congreso se han presentado también nuevos ensayos y procedimientos que permiten una mejor caracterización y diseño de las mezclas bituminosas: tal es el caso del ensayo presentado por los españoles F. Moreno-Navarro *et al.* "Desarrollo de un nuevo método global para el estudio del año por fatiga en materiales bituminosas" o el recogido en el artículo "Influencia de la temperatura y el envejecimiento en la resistencia a fatiga de las mezclas bituminosas" de R. Botella *et al.*, presentado por otro grupo de congresistas también español. Ambos artículos están basados sobre dos procedimientos para evaluar la resistencia a la fatiga de la mezcla. El primero es un ensayo de simulación que pretende reflejar el estado de flexotracción y tracción a que están sometidas las mezclas en el firme, Figura 5; mientras que el segundo es un ensayo fundamental de tracción-compresión, pero que permite valorar de forma rápida la respuesta de las mezclas ante su fallo por fatiga, pero que además permite determinar los parámetros básicos para la caracterización de materiales y poder usar así los modelos analíticos de cálculo

Tabla 1. Parámetros volumétricos y propiedades mecánicas (testigos carril izquierdo)

	Carril izquierdo		
Testigos	0.100	0.400	0.700
Fecha de ejecución	24-ene	24-ene	26-ene
Huella	HI	HD	HD
Espesor, mm	71.5	72.0	73.6
Da, g/cm <sup>3</sup>	2 278	2 414	2 406
% compactación	97.2	96.9	101.2
DRice, g/cm <sup>3</sup>	2,414	2,414	2,406
Vacios, %	5.6	5.9	2.1
RTI, kPa	1 229	1 235	1 620
Módulo, (rise time 0,124s, 20°C), MPa			9 590

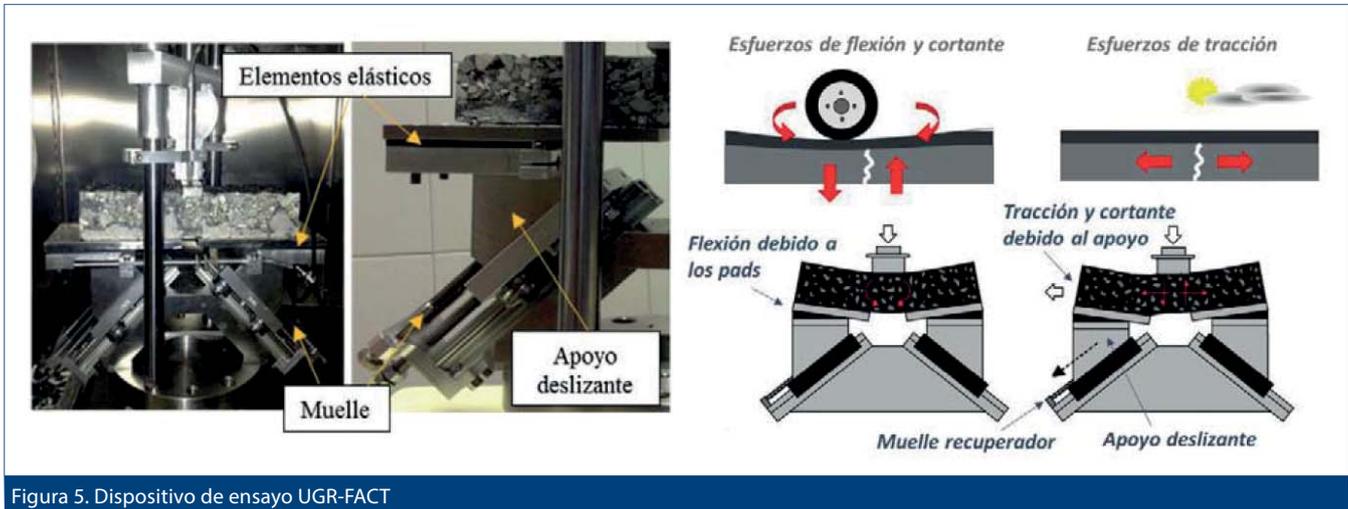


Figura 5. Dispositivo de ensayo UGR-FACT

en el estudio del estado tensional del firme, módulo complejo  $[E^*]$  y ángulo de desfase.

También se presenta una nueva metodología para el diseño de mezclas bituminosas, R. Miró *et al.*, "Diseño de mezclas discontinuas para capas de rodadura a partir de la determinación de su resistencia a la fisuración y energía de fractura mediante el ensayo Fénix". Este ensayo permite valorar el efecto de la composición y naturaleza del betún sobre la rigidez, energía de fractura y ductilidad de las mezclas bituminosas. Este ensayo es también usado por el profesor Valdés en su artículo "Evaluación del efecto de la forma y textura de los áridos sobre la resistencia a fisuración de las mezclas asfálticas". En la Figura 6

se recogen los resultados de aplicar el ensayo en el análisis del efecto del tipo de árido (AC, AF1 y AF2), del tipo de betún y de la temperatura sobre la energía de fractura de una mezcla bituminosa. El ensayo Fénix fue desarrollado en la UPC, habiendo sido el tema de la tesis doctoral del profesor Valdés.

En definitiva, el CILA es un congreso que edición a edición va mejorando su calidad técnica, donde se tratan temas parecidos y a un nivel similar a otros congresos de carreteras en países europeos y americanos. En este sentido hay que mencionar que varios trabajos han sido presentados por grupos de investigación en el que colaboran países latinoamericanos y países

europeos y norteamericanos, lo que pone de manifiesto la transferencia y globalización del conocimiento que se está produciendo en la técnica de carreteras. Esta colaboración es muy positiva para el desarrollo y mejora del conocimiento sobre las mezclas y pavimentos bituminosos, y congresos como el CILA son sin duda un aliciente para la misma. Sólo falta para terminar esta presentación del congreso que animar a los lectores a la lectura directa de los artículos presentados, que les resultará mucho más rica y valiosa que este mero resumen y comentario.

AGRADECIMIENTOS: el Comité Editorial de la revista Rutas agradece la ayuda de los organizadores del CILA en la elaboración de esta presentación-resumen del Congreso. ❖

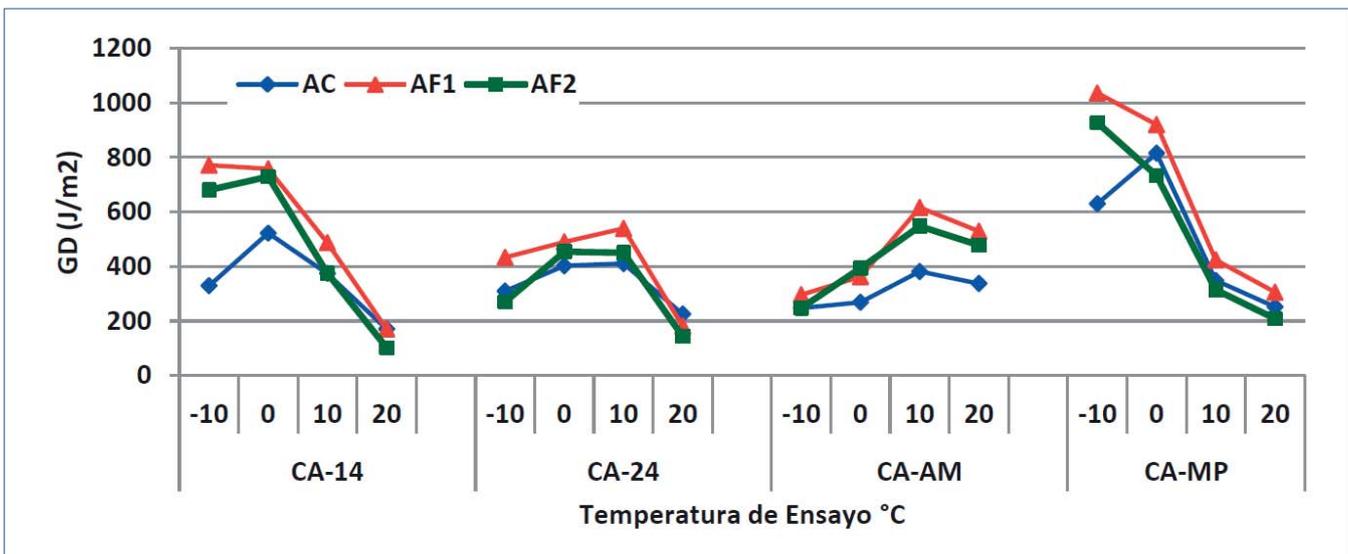


Figura 6. Energía disipada por unidad de superficie, GD

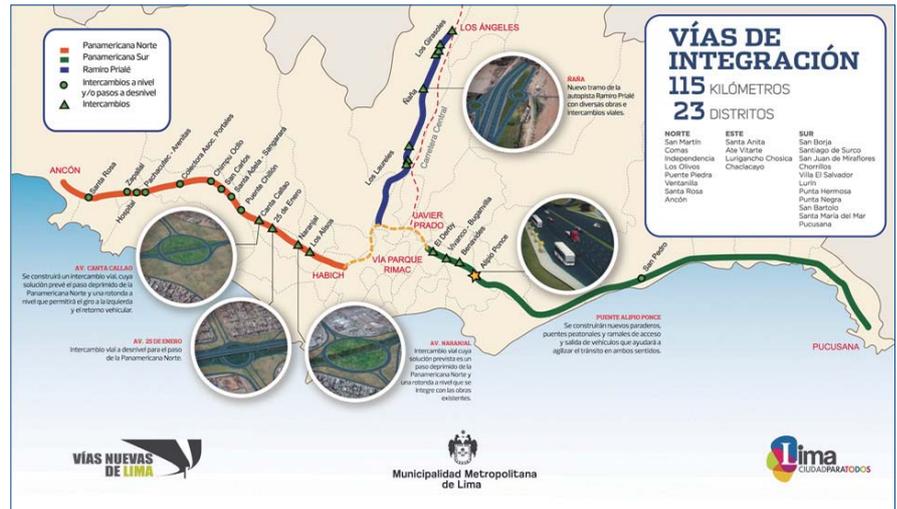
# Autopista Panamericana Sur en Lima

La Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) declaró de interés, en 2012, la iniciativa privada denominada “Vías Nuevas de Lima”, con objeto de intervenir en los puntos más conflictivos del conjunto de autopistas urbanas de la capital para mejorar su capacidad y niveles de servicio, así para optimizar la gestión del transporte público.

El proyecto que desarrollaba la citada iniciativa privada fue adjudicado por la MML a la empresa concesionaria Rutas de Lima S.A.C, y contempla la rehabilitación y mejora de las autopistas Panamericana Norte, Panamericana Sur y de la Autopista Ramiro Prialé, sumando las tres una longitud de más de 115 km. Estas actuaciones contribuirán, sin lugar a dudas, a mejorar la integración de 23 distritos de Lima, reduciendo los tiempos de viaje, aumentando la seguridad vial y garantizando, así mismo, la calidad de la operación y mantenimiento de las vías durante todo el periodo de concesión.

En términos generales, las obras contempladas en el proyecto se llevan a cabo en los principales nudos y su entorno, y consisten en la modificación o incorporación de nuevos movimientos, en la segregación de los mismos, en la creación de entradas y salidas, en la continuidad de las vías de servicio, en la reordenación de paradas de autobús y en la creación de nuevos itinerarios y pasarelas peatonales.

En julio de 2012 TYPESA resultó ad-



judicataria del proyecto de 54,1 km de la “Panamericana Sur” (a partir de ahora PS) comprendido entre la autopista Javier Prado y la ciudad de Pucusana, que constituye un eje vertebrador de vital importancia, destinado a conectar el centro de Lima con los distritos metropolitanos y poblaciones periféricas situados al sur y sureste de la capital.

En la actualidad este tramo de la PS se encuentra muy congestionado,

con tráficos que van desde los 50 000 veh./día, en los tramos más alejados del centro de Lima, hasta superar los 150 000 en el tramo inicial más cercano al mismo. A la falta de capacidad de la vía existente se une la generada por las deficiencias de una inadecuada infraestructura de transporte público, que provoca numerosas situaciones de conflicto con pérdida de sección en el tronco de la autopista.





concentran de manera desordenada autobuses, "combis" y taxis, produce el estrangulamiento de las calzadas de la PS. Además, el emplazamiento de algunas pilas de los viaductos, como el situado enfrente de la avenida de San Borja Norte, que están esviadas respecto al flujo de la PS hace que presenten problemas de gálibo: prueba de ello son impactos en los capiteles y en el tablero. Por otra parte se comprobó que la insuficiente capacidad de la intersección entre la Calle Manuel Olgúin y la avenida de El Derby, al norte del enlace, afectaba sobremedida en el viaducto de acceso a la avenida de El Derby.

Como resultado del intenso diagnóstico realizado por TYPISA, en el que las simulaciones de tráfico desempeñaron un papel primordial, se optó por una remodelación completa del enlace, que le dotó de una tipología "hipódromo" que ha permitido, además, recuperar la sección normal de la autopista, habiéndose eliminado el cuello de botella que suponía la presencia de una pila de uno de los puentes en plena sección de la PS.

El contrato de concesión no contempla la aportación de fondos públicos para la construcción de las obras propuestas, su operación y mantenimiento por 30 años. La inversión cubierta bajo financiamiento a largo plazo es 100% privada y se estima en más de US\$ 590 millones.

El proyecto adjudicado a TYPISA recoge la ejecución inmediata de cinco enlaces viales urbanos, y en el futuro se agregarían cinco más según el crecimiento de la demanda, además de la remodelación de casi todas las paradas de autobús y pasarelas del tramo. Estos cinco enlaces son:

- Enlace de San Borja Norte-El Derby (en construcción)
- Enlace de Vivanco-Buganvillas (proyecto en redacción)
- Enlace de Benavides (Benavides Este -túnel urbano- : en construcción, Benavides Oeste -viaducto- : proyecto recién aprobado)
- Enlace de Alipio Ponce (en servicio)
- Enlace de San Pedro (en servicio)
- Vías de servicio, pasarelas peatonales y paradas de autobús (proyecto redactado, pendiente de ejecución)

## Remodelación del enlace de San Borja Norte-El Derby

Es el primer enlace de la Panamericana Sur y se localiza en los distritos de Santiago del Surco y San Borja, entre los enlaces de las avenidas Javier Prado (al norte) y Angamos (al sur).

Actualmente la conexión entre la PS y las avenidas San Borja Norte y El Derby, lejos de llevarse a cabo mediante un enlace completo y que se ajuste a una tipología definida, se realiza mediante ramales y puentes, de forma parcial y en condiciones inseguras en algunos de los casos. El acceso sur al hipódromo de Monterrico también se realiza de manera precaria a través de la Avda. El Derby, lo cual genera congestiones gravísimas durante los eventos deportivos, fiestas y espectáculos.

La localización inadecuada de varias paradas de autobús, donde se







TYPSA llevó a cabo un detallado estudio de tipologías, en el que los gálibos normativos y los reducidos radios de las directrices de los tableros fueron condicionantes clave. Finalmente se optó por una tipología tipo pérgola que, gracias a su pequeño canto, facilitó el encaje del trazado en planta y alzado de los ramales en retorno.

## Remodelación del enlace de Benavides

El enlace entre la PS y la Avenida Alfredo Benavides Diez Canseco se encuentra más o menos equidistante entre las avenidas Primavera, al norte, y Tomás Marsano, al sur, y constituye un punto neurálgico del área metropolitana de Lima al entroncar con la avenida Allende, vía de más de 6 km de longitud de vital importancia para los tráficos con destino a los distritos del Sureste de Lima.

En el entorno del enlace se encuentra la universidad Ricardo Palma, al oeste; y el colegio de la Inmaculada, al este, frente a la avenida Allende.

El enlace presenta en la actualidad una tipología de diamante con intersecciones en cruz. La avenida Alfredo Benavides cruza sobre la Panamericana mediante un puente de unos 35 m de anchura, con la calzada norte con tres carriles y la sur con cuatro.

Este nudo urbano se encuentra muy congestionado como consecuencia de las interferencias de

los tráficos junto a los estribos del puente, especialmente los giros a la izquierda que generan los movimientos Avenida Alfredo Benavides -PS, y el giro desde la calle Allende hacia la avenida de Benavides.

El tramo entre el puente y la avenida Allende presenta también problemas añadidos que se agudizan con la incorporación de la calle Cerro Azul. Por último, el entronque con la ave-

nida Allende también está muy congestionado, formándose colas que se prolongan hasta afectar al propio enlace.

Esta congestión se agrava con las entradas y salidas a las dos gasolineras situadas en la esquina de la avenida Alfredo Benavides con el ramal del enlace hacia el norte y en la esquina de la citada avenida con la calle Allende, estando las conexiones entre ambas semaforizadas.

En la zona oeste se repiten los problemas, en este caso, por la situación caótica que ocasiona el aparcamiento desordenado frente a la zona comercial, junto con flujo que genera la Universidad Ricardo Palma y la multitud de accesos existentes en la propia avenida Alfredo Benavides, en total 13 accesos y muchos de ellos dobles, a lo largo de 380 m de vía. Se suma a estos problemas la falta de capacidad de la propia vía.

A partir de este diagnóstico tan complejo TYPSA planteó un número





elevado de alternativas, que contemplaban actuaciones que iban desde la remodelación integral del nudo hasta actuaciones puntuales, basadas en la ordenación y segregación de movimientos, que mejorasen la funcionalidad y niveles de servicio sin ocasionar un caos circulatorio en el entorno durante las obras, y con una inversión razonable.

Finalmente se propusieron dos actuaciones básicas.

En la primera la construcción de un túnel urbano de 840 m de longitud, que dotara de un movimiento directo entre la autopista PS y la Calle Allende. La alternativa se estudió en profundidad como consecuencia del riesgo que representaba el cruce sesgado de la PS con sus más de 150 000 veh./día, las afecciones a la multitud de servicios urbanos y a los edificios aledaños, entre ellos el colegio de la Inmaculada, durante la ejecución de las pantallas del túnel.

La sección tipo del túnel contempla una altura libre mínima de 5,25 m, alcanzando hasta los 6,25 m, y un ancho libre horizontal de 9,0 m, de manera que den cabida a dos carriles para circulación de vehículos, arcenes y aceras.

Como tipología constructiva, atendiendo los condicionantes de zona urbana muy costreñida.

A lo largo de la traza del túnel se desarrollan 4 secciones tipo:

- Rampas con muros de hormigón armado "in situ",
- Pantallas de pilotes de hormigón armado en ménsula, en las zonas de rampas de entrada y salida al túnel.
- Pantalla de pilotes de hormigón armado, con cubierta formada por losa de hormigón armado "in situ". Esta sección se emplea en la zona donde se materializa la ventilación natural mediante huecos en dicha losa.
- Pantalla de pilotes cerrada, con cubierta formada por vigas prefabricadas de hormigón armado.

Todas las secciones se ejecutan con losa inferior apoyada sobre el terreno natural, cuya misión es doble: de tipo estructural al funcionar como puntal, y de tipo funcional al constituir la capa de rodadura para el tráfico.

Asimismo se optó por reordenar el tráfico en superficie en la intersección de la calle Allende con la Avda. Benavides.

También se consideró necesario reordenar las vías y el esquema de tráfico en su conjunto, incluyendo las calles aledañas de la zona de influencia.

Todos los esquemas fueron analizados iterativamente mediante modelos de tráfico hasta conseguir unos niveles de servicio aceptables.

La segunda actuación básica del enlace de Alfredo Benavides ha consistido en la remodelación de la zona oeste de dicho enlace. La actuación principal consiste en la segregación del movimiento oeste-norte, es decir del tráfico procedente de la Avenida Alfredo Benavides que se dirige a



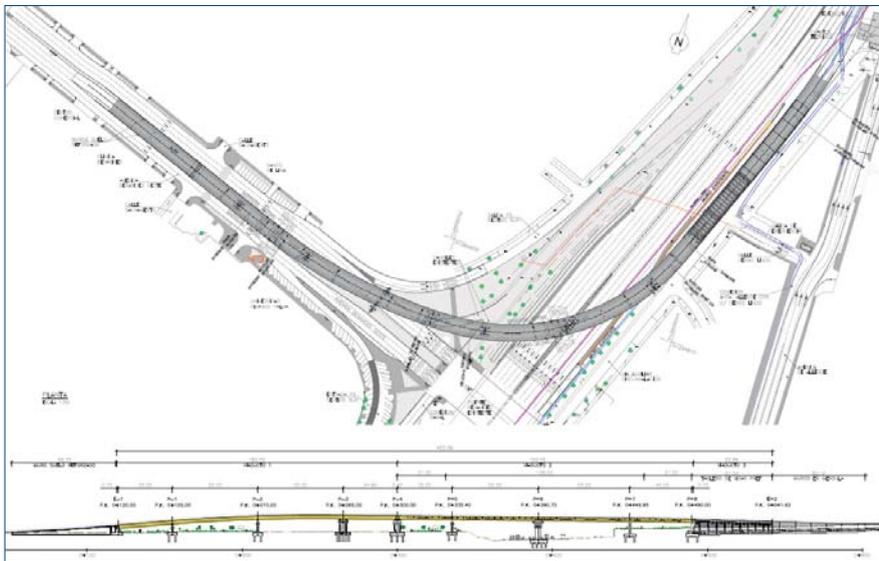
la PS en sentido norte, mediante un puente de 422 m de longitud de dos carriles en único sentido. Además se ha previsto mejorar el trazado de los ramales del enlace, facilitar la entrada a la calle Los Ingenieros y ampliar en un carril la avenida Alfredo Benavides desde la PS a la avda. Caminos del Inca.

La estructura diseñada contempla tres sectores con diferentes tipologías:

- El Viaducto 1, de 180 m de longitud total, se plantea como un puente mixto continuo de 4 vanos, (35+55+55+35 m). Comienza en el Estribo 1, tras una rampa con muro de suelo reforzado, y termina en la Pila 4. Esta pila marca la separación entre el Viaducto 1 y el Viaducto 2, y sirve como apoyo de ambos. En los extremos se coloca junta de dilatación.

El procedimiento constructivo previsto para la estructura contempla el empleo de apoyos provisionales y el izado y montaje de los diferentes tramos.





- Rampa de descenso, de 60 m de longitud, compuesta de muros ménsula de hormigón armado.

## Remodelación del Enlace de Alipio Ponce

El enlace entre la avenida Alipio Ponce Vázquez y la PS se encuentra situado a unos 2000 m al sur del intercambio de Atocongo, PS- Avda.Tomás Marsano, en el distrito de San Juan de Miraflores.

Desde el enlace se accede al cementerio de Santa Rosa y al Centro de Instrucción de la Policía Nacional del Perú (al suroeste) y a las diferentes zonas residenciales del distrito de San Juan de Miraflores por la Avenida Ramón Vargas Machuca.

En paralelo a la PS y al oeste de la misma, discurre la avenida de los Álamos y su prolongación Los Girasoles, que cruzan Alipio Ponce en el extremo suroeste del enlace.

El enlace tiene tipología de trébol parcial con fuerte esvía. Contempla dos lazos, uno al noreste para el movimiento PS (sur) Alipio Ponce (oeste) y otro al suroeste para el movimiento PS (norte) Alipio Ponce (este). La avenida Alipio Ponce cruza bajo la PS mediante un paso inferior de dos vanos, de diferentes tipologías estructurales cada uno de ellos, cuyo estado actual y diseño estructural es de dudosa bondad. Uno de los vanos está constituido por una bóveda de tubo corrugado y el otro por vigas de

- El viaducto 2 presenta una longitud total de 190 m, dividida en 4 vanos continuos de 35+55,7+59,3+40 m. Tiene su inicio en la llamada Pila P-4, donde se une al Viaducto 1 mediante la citada junta de dilatación. El tablero se diseña como estructura mixta, con un cajón metálico y costillas laterales, con losa superior de hormigón armado.
- El viaducto 3 tiene 52 m de longitud, y está compuesto por un tablero de vigas prefabricadas ortogonales al eje de trazado.



hormigón. El puente lleva adyacentes dos pasarelas peatonales de hormigón armado.

El enlace se complica con la incorporación de la avenida de los Álamos y, además, existen cuatro paradas de autobuses, dos de ellas en Alipio Ponce y otros dos en la PS, así como las correspondientes sendas peatonales que interfieren con los movimientos del propio enlace.

En definitiva, el enlace presenta-

ba un funcionamiento caótico ante la multitud de movimientos permitidos y sin canalizar ni semaforizar, giros a la izquierda, interferencias de tráficos peatonales y de vehículos, paradas mal emplazadas que obstruían las calzadas de la PS, etc.

A partir de este diagnóstico tan complejo y después de analizar numerosas alternativas, se optó por respetar, a grandes rasgos, el esquema funcional del enlace, modificando y

adaptando a la normativa peruana el diseño de los ramales, de los accesos a la PS, suprimiendo giros a la izquierda y tramos de trenzado indeseables, reordenando los accesos a la estación de servicio y creando itinerarios peatonales sin interferencias con el tráfico. Concretamente las principales actuaciones fueron:

- Inclusión de una única entrada y una vía auxiliar paralela a la PS que discurre hasta entroncar con la avenida de Alipio Ponce, eliminando el ramal directo S-E y por tanto, reordenando los accesos al enlace.
  - Traslado de dos paradas de autobús que se ubican en la autopista PS fuera del área de influencia del puente y del lazo directo.
  - Segregación del tráfico de peatones y de vehículos gracias a la implementación de un itinerario peatonal iluminado y dotado de mobiliario urbano. A lo largo de este itinerario se ubican pasarelas peatonales y sus respectivas escaleras/rampas que permiten a los peatones el acceso desde las paradas de autobús desde y hacia las paradas de la avenida de Alipio Ponce, pasando por la pasarela existente en la zona oeste del puente de Alipio Ponce.
  - Para completar el ordenamiento de la circulación en el enlace de Alipio Ponce, se han suprimido los giros a la izquierda que actualmente se realizan con cruces a nivel no semaforizados, gracias al diseño de:
    - Una nueva glorieta en forma de gota ubicada aproximadamente en la intersección de Avda. Alipio Ponce y la calle Los Eucaliptos;
    - Una nueva intersección tipo "hipódromo" ubicada en la intersección de Av. Alipio Ponce con las Avda. Pedro José Miotta y Ramón Vargas Machuca;
- En ambos casos se ha buscado el cumplimiento de las normativas técnicas vigentes en lo referente al mayor radio de giro posible en las glorietas, y abrir

# Actividad Internacional

con giros libres a la derecha (de disponerse áreas complementarias); con segregación completa

en el separador central e isletas en el tramo de avenida entre ambas intersecciones.

En las imágenes siguientes se aprecia un antes y un después de las actuaciones realizadas en el enlace



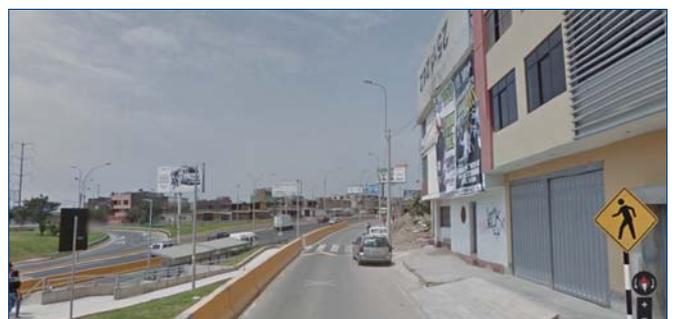
Avda. Alipio Ponce desde el puente de la PS



Cruce de la Avda. Alipio Ponce con la avda. Pedro Miota



Paradas de autobús en la PS



Ramal del enlace del movimiento sur-este



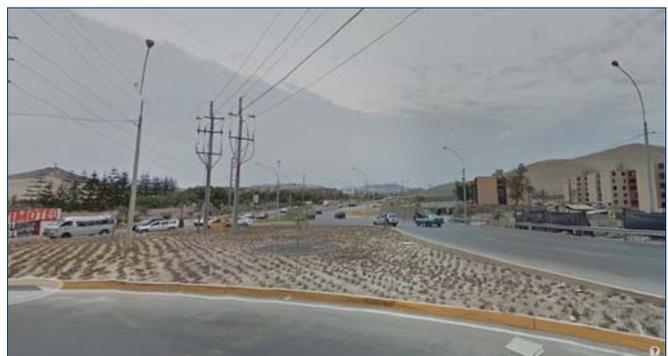
Pasarela en la avda. Alipio Ponce



Talud en Avda. Alipio Ponce



Calle los Eucaliptos



## Remodelación del enlace de San Pedro

El enlace de San Pedro se encuentra situado en el p.k. 28+125 de la Panamericana Sur, incluye una estación de peaje y sirve de acceso a Lurín al este y a las playas de San Pedro al oeste.

El enlace presentaba una tipología de diamante con intersecciones en cruz.

El paso sobre la PS se realiza mediante dos puentes adyacentes de unos 45 m de luz que contienen un carril para cada sentido

Este enlace presenta un tráfico elevado durante la temporada de ve-

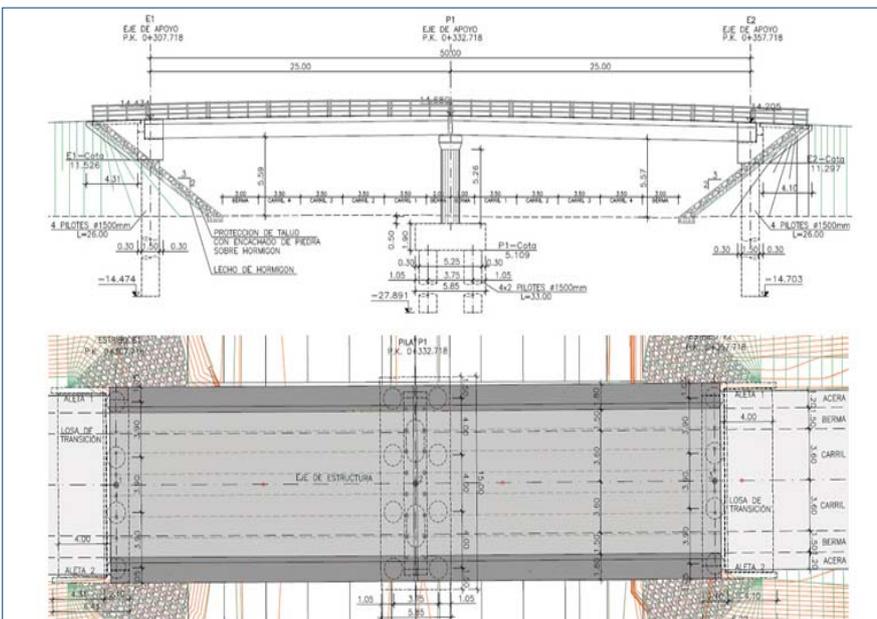
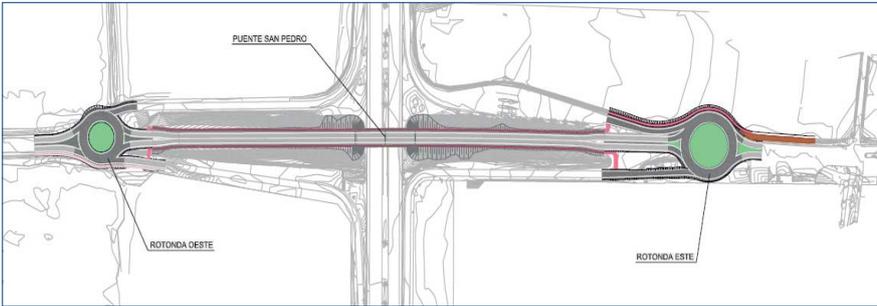
rano, produciéndose cruces de los vehículos que provienen de Lurín o de las playas de San Pedro con los que entran desde la autopista al puente y los que deban pasar por la estación de peaje de San Pedro.

La actuación propuesta, menos compleja que las anteriores, consiste en mejorar los movimientos disponiendo elementos que mejoren la capacidad y la fluidez del tráfico. En este sentido se han proyectado dos glorietas que sustituyen a las intersecciones en cruz y sustituido dos puentes existentes por un puente nuevo, una vez que el mes de julio de 2013, en plena fase de redac-

ción del proyecto, se produjera un accidente que provocó la rotura de unos de los tableros del puente existente.

Un camión, golpeó el tablero de uno de los puentes y tras circular por el puente un camión cisterna cargado de combustible, el tablero se vino abajo cayendo y chocando el camión con una furgoneta que circulaba por la PS. Por esta razón hubo que realizar el proyecto y ejecutar la obra antes de la época de verano en Lima, pues el tráfico, como se ha mencionado anteriormente, en ese enlace es muy fuerte por las playas de Lurín.

# Actividad Internacional



El puente de San Pedro es un puente continuo de hormigón de dos vanos de 25 m cada uno, 50,0 m en total, similar a la longitud del puente al que sustituye.

La tipología de tablero elegida está formada por 8 vigas de hormigón en doble T, con continuidad en pila, y de 1,0 m de canto, más una losa de compresión de espesor variable entre los 20 cm en el borde del tablero y 32 cm en el centro del mismo. El ancho del tablero de 12,00 m, más 90 cm a cada lado que forman parte del bloque imposta-acera-barandilla.

El apoyo central consta de dos pilas de 3,00 x 1,50 m con bordes circulares, que apoyan en un encepado de 1,90 m de canto con 8 pilotes de 33 m de profundidad y 1500 mm de diámetro.

En los extremos el tablero se apoya sobre un estribo tipo cargadero pilotado, de 1,50 m de canto y 2,00 m de ancho con 4 pilotes de 1500 mm de diámetro y profundidades de 26 m. En el estribo se disponen murete de guarda y aletas en vuelta para la contención de tierras. En ambos estribos se disponen juntas de dilatación, así como sus respectivas losas de transición.



# REVISTA RUTAS DIGITAL



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

La Revista Rutas también se distribuye a través de la página web del Comité Nacional Español.

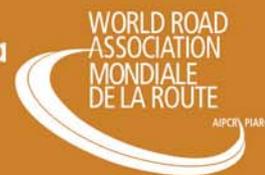
Navega por nuestros números y artículos:

- Descarga los tres últimos números de la revista si eres suscriptor en Rutas Online.
- Accede a los artículos de la revista, desde su primera edición en 1986, de manera sencilla y gratuita (los dos últimos años solo para suscriptores).  
Gracias a nuestro buscador avanzado en Rutas Digital



**Asociación Técnica de Carreteras**

Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera





**Vicente Vilanova Martínez-Falero**

Presidente Adjunto del Comité Conservación A.T.C.

Del 5 al 7 de abril se han celebrado en Córdoba las XIV jornadas de Conservación, cuyo lema ha sido "La conservación al servicio del usuario".

Han pasado más de 3 años desde que se celebraron las anteriores y estas han tenido muy buena aceptación, contándose más de 550 asistentes.

Los discursos inaugurales se han centrado en la importancia de la conservación para el país por facilitar la actividad económica y la seguridad vial. Todos han coincidido en que el usuario debe circular en condiciones de comodidad y seguridad. También se ha insistido en que la conservación debería suponer un porcentaje del valor patrimonial.

El Secretario General de Infraestructuras ha destacado que la inver-

sión en la legislatura en carreteras ha ascendido a 10 757 millones de euros, de los cuales 3650 millones han sido en conservación. También destacó que la conservación se ha incrementado un 8,8 % en 2016 respecto a 2015, ascendiendo a 1058 millones de euros en 2016.

La Subdirectora General de Conservación del Ministerio de Fomento, D<sup>a</sup> Carmen Sánchez Sanz, dió la bienvenida a todos los asistentes y agradeció a los ponentes el trabajo realizado. Explicó el programa del congreso que se celebraría durante tres días, con 9 sesiones técnicas que comprendieron un total de 32 ponencias, una mesa redonda y 5 comunicaciones libres.

Destacó la importancia de la conservación de carreteras como imprescindible para prestar otros servicios

públicos ya que facilita el acceso a colegios y hospitales, permite el transporte de mercancías y personas y sirve de acceso a las principales infraestructuras del país.

### SESIÓN I - GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN EN REDES DE PRIMER NIVEL

La primera sesión se dedicó a la gestión de las redes principales en España y otros países, analizando la gestión actual de la conservación y su posible evolución futura. Un breve resumen de lo destacado por cada ponente es el siguiente:

**Fernando Hernández Alastuey** ha hablado de los pliegos actuales de conservación integral. Comentó que se ha constituido un grupo de trabajo que ha analizado el pliego

actualmente en vigor y ha concluido que sigue siendo válido con algunos cambios y actualizaciones. Así los subgrupos del grupo I se reordenan y se crea alguno nuevo.

Se ha discutido también en el grupo de trabajo sobre los indicadores y se mantienen los existentes en el pliego actual con nuevos conceptos (indicadores operacionales). Los indicadores estructurales (firmes etc.) en general se mantienen

**Jorge Lucas Herranz** en su exposición ha explicado la existencia de un grupo de trabajo en la Dirección general de carreteras del Ministerio de Fomento para analizar las operaciones de los pliegos de conservación integral y se han introducido cambios para adaptarlo a la nueva normativa y a las nuevas exigencias. Se incluirán también en el pliego la confección de partes operacionales, seguridad y salud y aspectos de calidad en las operaciones.

Se modifica la medición de algunas partidas y se suprimen las unidades de obra actualmente vigentes y que creaban cierta confusión, creándose una nueva partida de materiales Grupo II

**Jaime López Cuervo** ha comentado las nuevas características de los sectores de conservación, habiéndose revisado los kilómetros equivalentes, la sectorización y los límites competenciales.

Se fijan nuevos requisitos en los equipos de vialidad invernal y se refuerzan aspectos como la disponibilidad de personal para la atención a la vialidad, el mantenimiento de instalaciones, el control de calidad o la seguridad y salud.

El Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares se ha modificado para adaptarlo a la nueva normativa, con nuevos criterios para la solvencia técnica y económica.

Se ha redactado la Nota de Servicio 1/2016 sobre inventarios y reconocimientos de estado que implanta el TEREX de forma generalizada en todos los contratos.



Mesa Inaugural compuesta por, de izquierda a derecha, D. Luis Alberto Solís Villa, D<sup>a</sup>. Amparo Pernichi López, D. Jesús Huertas García, D. Manuel Niño González, D.<sup>a</sup> M<sup>a</sup> del Carmen Sánchez Sanz, D. Juan Ignacio Beltrán García-Echamiz.

**Ángel García Garay** ha abordado la norma ISO 55000 de Gestión de Activos que se subdivide en la ISO 55001 (requisitos de los sistemas de gestión) y ISO 55002 (directrices para la aplicación de la 55001). En ambos casos se trata de implementar un sistema de gestión de activos determinando todas las características para su implementación.

También ha comentado que la *Federal Highway Administration* (FHA) tiene su propia guía y abundante documentación sobre gestión de activos que puede ser consultada en su WEB.

Hizo especial hincapié en que un sistema de gestión de activos debe tener en cuenta la previsión del comportamiento del activo y la gestión de riesgos

**Salvador Urquía y Tim Harbot** explicaron a grandes líneas la conservación de la red inglesa y las fuertes inversiones previstas en carreteras que ascienden a 2000 millones de libras en 2016 y 3000 millones de libras en 2020; han comentado también que su red está dividida en trece zonas, y cuentan todas ellas con un sistema de gestión.

**Vicente Ariño y Greg Ehman** han comentado los diferentes contratos existentes en Canadá, que van des-

de los que incluyen indicadores (con muchos problemas en la actualidad) hasta los del tipo sin indicadores. En muchos casos son muy parecidos a los contratos de conservación integral vigentes en nuestro país, con procesos de contratación más o menos complicados y con problemas con la subrogación de personal.

## SESIÓN II- SISTEMAS DE GESTIÓN DE REDES AUTONÓMICAS

La segunda sesión incluía como novedad en unas jornadas de conservación la participación de las administraciones autonómicas

**Pedro Luis Mayordomo García** comentó el funcionamiento del centro de control de túneles de Vic, y cómo se lleva a cabo la gestión integral de todos los túneles de la red de la Generalidad de Cataluña.

**Miguel Núñez Fernández** comentó la red de Madrid y de los contratos de conservación con indicadores (13 indicadores), y ha explicado con detalle cada indicador y la estructura de los contratos de conservación.

**Luis Barroso Párraga** ha hablado de la importancia de la red de Andalucía y del sistema mixto de conservación existente en la actualidad. Tienen treinta y cinco contratos de



Las Jornadas se celebraron en el Real Circulo de la Amistad de Córdoba.

conservación integral, cubriendo el cien por cien de la red con plazos de dos años prorrogables. Además disponen de contratos específicos para gestión de firmes por importe de 12,5 millones de euros, sin subrogación de personal, lo que les permite agilizar las actuaciones en firmes. También ha presentado las aplicaciones de ofimática de que disponen para la gestión de su red

**Julio González Arias**, de la Junta de Castilla y León, ha hablado de la ley de carreteras de Castilla y León y del plan sectorial 2008-2020, que contempla unas actuaciones prioritarias por importes de 217 millones de euros en modernización y 2287 millones de euros en conservación

### SESIÓN III - AVANCES Y TENDENCIAS DE LOS COMITÉS INTERNACIONALES DE PIARC

**Rafael López Guarga** ha realizado una presentación del documento de la AIPCR titulado "Importancia de la conservación de carreteras", explicando todos los apartados del documento.

Ha destacado que la red viaria de la OCDE son 500 000 kilómetros y supone del 3 al 5% del PIB, recomendando el citado documento que la conservación suponga del 2 al 3% de la inversión inicial.

El documento pone ejemplos de determinados países y de los efectos causados por una falta de conservación, así como los efectos beneficiosos creados por una buena política de conservación. Las principales conclusiones a las que llega el citado documento son:

1. Fuertes impactos por no conservar las infraestructuras de forma adecuada.
2. La conservación es una prioridad.
3. La inversión preventiva ahorra costes futuros.
4. Deben administrarse los fondos de forma ordenada.

Oscar Gutiérrez Bolívar ha explicado las sesiones del congreso mundial de Seúl y los trabajos del CT-4 sobre gestión de activos

### SESIÓN IV - AVANCES EN TECNOLOGÍA

**Julio Vaquero García** ha hablado de las modificaciones introducidas en el nuevo PG-3 en materiales como betunes, capas granulares y geotextiles, otras unidades como riegos y mezclas bituminosas.

En especial se han incluido las mezclas semi-calientes (fabricación a 140°) y las fabricadas con material procedente de fresado, habiendo aumentado el porcentaje mínimo exento de incorporación de fresado al 15%.

En mezclas bituminosas, como novedad, se evalúa la adherencia entre capas y entre capas y base tratada.

En pavimentos de hormigón se han incluido los bi-capa, creando una nueva categoría de hormigón para la capa superior, con mayor CPA y exigiendo dos centrales de fabricación y dos equipos de puesta en obra.

También comentó las futuras modificaciones del PG-3, que se centrarán en el control térmico de las mezclas bituminosas, en las nuevas técnicas de prefisuración de capas tratadas con cemento y en el empleo de geotextiles en firmes.

**Javier Payán de Tejada González** ha explicado en profundidad la panorámica actual de las mezclas bituminosas, explicando las nuevas mezclas ensayadas como por ejemplo las SMA, las ultradelgadas, las mezclas fabricadas a baja temperatura y los reciclados de alto porcentaje (superiores al 50%).

También incidió en las mezclas con caucho y en la necesidad de aumentar su uso, por los efectos favorables que se han encontrado relativos a durabilidad, impacto sonoro etc.

Explicó con detalle sus experiencias realizadas en la red del Estado en Valladolid, donde se han obtenido buenos resultados con todas estas mezclas

Sus principales conclusiones fueron:

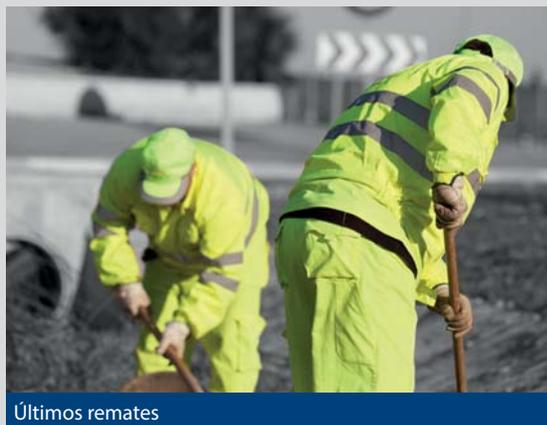
- Emplear soluciones sostenibles.
- Reciclar más en caliente de lo que se hace en la actualidad.
- Utilizar mezclas a baja temperatura.
- Las mezclas SMA deben todavía demostrar su durabilidad.

**Ferrán Camps i Roqué**, de la Generalidad de Cataluña, ha explicado dos actuaciones de la Generalitat en carreteras, que son la gestión integrada del corredor formado por las carreteras C-55 (convencional) y la C-16 (autopista de peaje), consistente en bonificaciones de peaje en horas punta y desvíos por la autopista en caso de incidencias. Adicionalmente también se han

## EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA

Con motivo de las XIV Jornadas Técnicas de Conservación, se organizó un concurso de fotografía. Las fotografías recibidas fueron expuestas en la sede de las Jornadas durante la celebración de las mismas. Las fotografías ganadoras en las diferentes categorías fueron:

- Snow Road  
(Categoría Vialidad Invernal)
- Camino al cielo  
(Categoría Seguridad Vial)
- Últimos remates  
(Categoría Operaciones de Conservación)
- Montaña Rusa  
(Categoría Conservación y Sociedad)



llevado a cabo actuaciones de mejora del tipo 2+1 en la convencional C-55

Esta solución ha supuesto un ahorro importante frente a la alternativa de duplicación de la C-55 (10 millones de euros frente a los 114 millones de euros que cuesta la duplicación).

El programa 2+1 se ha llevado a cabo en ocho kilómetros de carretera convencional, y se han destinado 50 millones de euros a esta actuación. La reducción de víctimas mortales ha sido del 25% hasta ahora.

La ejecución ha sido complicada, ya que se requieren actuaciones especiales (como trabajos nocturnos, definición de carriles de transferencia y problemas de ubicación de la

barrera para una visibilidad adecuada etc.)

**Fernando Pedraza Majárrez**, explicó con detalle todas las tipologías y elementos empleados para una mejor explotación y conservación del puente de la bahía de Cádiz ya en servicio. Es una estructura muy compleja con muchas tipologías diferentes y con elementos de elevada complicación, como por ejemplo las juntas de pavimento.

Ha sido necesario desarrollar diversos documentos, esenciales para la posterior conservación y explotación de la obra como el Manual de Explotación, el Plan de Inspección y el Plan de Mantenimiento.

Se han analizado los riesgos reales, especialmente el viento, y se han

establecido protocolos con AEMET que incluyen el cierre del puente para velocidades de viento superiores a 30 m/s.

Ha habido que adoptar soluciones estructurales y de equipamiento especiales para poder conservar e inspeccionar adecuadamente la estructura.

Como conclusión ha explicado que las grandes estructuras deben integrar el sistema de explotación de forma muy similar a la establecida para los túneles.

**Antonio Martínez Menchón** explicó las actuaciones realizadas en Murcia para la mejora de la eficiencia energética, explicando con detalle el sistema RAIL para alumbrado de túneles, que consiste en un sis-

tema que partiendo de una serie de datos captados en el túnel permite al sistema adaptarse a la curva CIE de iluminación.

Los ahorros obtenidos alcanzan el 20% del consumo y se consiguen ratios de consumo excepcionales del orden de 21 kWh/m<sup>2</sup> año y 17 kWh/m<sup>2</sup> año.

También ha explicado la implantación de la iluminación de una glorieta con luminarias con tecnología LED, alimentadas por baterías y energía solar, consiguiendo ahorros equivalentes a 16 000 € durante el periodo de vida útil de la instalación (10 años).

**Francisco García Sánchez** de ACEX comentó las particularidades de la gestión ambiental de los contratos de conservación integral. En especial las relativas a la eliminación de animales muertos, la aplicación de herbicidas y la huella de carbono.

**Oscar Albarracín y Jesús Campuzano** presentaron la aplicación DANA-E desarrollada por MATINSA para mejorar la gestión energética de los túneles, y explicaron cómo se ha aplicado a la red de carreteras del Estado en Andalucía Oriental.

La aplicación consta de un equipo compacto e integrado formado por un PLC que recibe señales de varios luminancímetros ubicados en las bocas de los túneles y medidas de aforos de tráfico y luxómetros interiores. A partir de estos datos y mediante salidas analógicas o digitales conecta o desconecta los circuitos de alumbrado. Sirve para cualquier túnel y dispone de su propio SCADA específico, siendo accesible por vía web y consiguiendo reducciones del orden del 20% en el consumo del túnel.

**Ángel Luis Martínez Muñoz y Miguel Roucher Iglesias** hablaron de los DRONES, de la legislación y sus requerimientos y de sus aplicaciones que van desde inventarios e inspecciones hasta cualquier toma del terreno. Son especialmente útiles en inspecciones de firmes

Se ha hablado también de la plataforma SIGCAR que recoge de manera gratuita y accesible vía web todas las características de la red actualmente en servicio con sus puntos kilométricos, ejes etc.

### SESIÓN V - EXPLOTACIÓN Y SEGURIDAD VIAL

**Agustín Sánchez Rey** comentó la nueva Ley de carreteras 37/2015. En la actualidad existe una comisión funcionando con la misión de redactar el nuevo Reglamento de Carreteras.

La ley se ha redactado por un grupo de trabajo constituido por funcionarios técnicos y jurídicos de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento que prepararon el anteproyecto, habiendo consultado a más de cien asociaciones. Se produjeron 137 enmiendas al texto en el Congreso y 145 enmiendas en el Senado.

Los motivos de la actualización de la ley es que habían transcurrido más de 25 años desde la promulgación de la ley anterior, y se habían producido cambios importantes en la consideración social de la seguridad vial y en los criterios ambientales.

En general la nueva ley facilita al Estado la explotación de las redes y fija nuevas exigencias, como la necesidad de redactar estudios económicos y ambientales para cualquier tipo de actuación.

**Rosalía Bravo Antón** habló de explotación inteligente de carreteras, y comentó los expedientes de la Subdirección de Explotación y Gestión de la Red, en la que se han tramitado más de 8700 expedientes de autorizaciones, 3300 expedientes de transportes especiales y se han impuesto sanciones por valor de 750 000 euros. También comentó que se ha retomado el nuevo programa de Áreas de Servicio, habiéndose licitado en el último periodo unas cuantas. En el periodo 2014-2016 está prevista la licitación de más de diez áreas de servicio.

En cuanto al tratamiento del ruido, explicó que los mapas de ruido se han concluido en 2013 y actualmente están en desarrollo los Planes de Acción, en los cuales se consideran diferentes soluciones para cada problema específico del ruido

**Roberto Llamas Rubio** habló de las auditorías de seguridad vial. Hace ya cuatro años que se implantaron y se han realizado en ese periodo más de cien auditorías. Su regulación está fijada por el real decreto 345/2011 que traspone la Directiva 2008/96/CE.

Presenta ejemplos de problemas detectados en las auditorías y que se repiten de forma bastante común, como las vías de escape en las transiciones a terraplenes, las barreras en mediana mal ubicadas porque no tienen en cuenta la amplitud de trabajo, el balizamiento de los desvíos provisionales, la ubicación de aceras etc.

Comentó que los problemas principales vienen dados por descuido en proyectos y poca sensibilidad en obra. Hay que definir bien todos los detalles hasta el cerramiento, la señalización etc.

Comentó que en la actualidad existen problemas derivados de la falta de auditores en la fase de proyecto

Respecto a los TT.CC.AA., comentó que se ha cambiado la definición aunque son muy similares a los anteriores. Sigue existiendo la diferencia entre TCA y punto negro.

Comentó que en 2015 los TT.CC.AA. existentes ascienden a 120, de los cuales 62 en vías de gran capacidad y 58 en carretera convencional, abarcando una longitud de red de 86,3 kilómetros. En la actualidad se encuentran todos señalizados.

**Manuel de Lucas Téllez de Menezes**, Jefe del Área de Tráfico y Datos Básicos, nos ha hablado de las aplicaciones existentes en la web del Ministerio de Fomento y en las cuales puede accederse a todos los datos de tráfico, así como al catálogo de la red y datos de tráfico de las redes de otras administraciones.



Interior de la sala de conferencias durante la intervención de D. Juan Barrios Baquero.

Se está desarrollando en la actualidad el visor WEB del mapa de tráfico, que será del tipo GIS aunque no contendrá toda la información actual, porque parte de ella será suministrada a través de publicaciones del Ministerio de Fomento mediante pago, tal y como sucede en la actualidad.

## SESIÓN VI - ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DE LA CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN

**Jaime Moreno García Cano** de la DGT comentó las actuaciones de este organismo en materia de seguridad vial. Mencionó la antigüedad del parque de vehículos español, superior a diez años de media, y que renovar de manera urgente. Comentó que se observa que han aumentado los desplazamientos después de tres años disminuyendo; y que también se ha observado un aumento de la edad media de los conductores.

La accidentalidad ha disminuido en las autovías, pero sin embargo ha aumentado en las carreteras convencionales.

Mencionó que están revisando en la actualidad los límites de velocidad en las carreteras convencionales, y también están promocionando actuaciones en las carreteras convencionales del tipo 2+1, colocación de

frangas sonoras longitudinales y que se está realizando una revisión de las zonas de adelantamiento.

Comentó que han redactado la instrucción 15/TV-85 para restricciones temporales en vías con elevada circulación de ciclistas.

Comentó que se ha procedido a la categorización de la red con cuatro colores (verde, amarillo, rojo y negro) en función de su peligrosidad, y que se han elegido 30 tramos por provincia que serán analizados con periodicidad trimestral

En convencionales se va a reforzar también la presencia de helicópteros y se van a realizar actuaciones tipo "video-stop" y que se va a ser exigente con el uso del cinturón, ya que se observa que el 25% de los fallecidos iban sin cinturón de seguridad.

Otras actuaciones que están preconizando conjuntamente con el Ministerio de Fomento son el desvío de tráfico por vías de alta capacidad, como la aplicada ya en el tramo Oropesa-Nules, donde se ha conseguido que no haya ningún fallecido. También se plantea la bonificación de peajes.

Como conclusiones destaca que nos encontramos en un contexto exigente, en el que es necesaria una visión cero de la seguridad vial, siendo asimismo necesaria una colaboración importante entre adminis-

traciones ya que hay oportunidades de mejorar que deben ser aplicadas entre todos.

**Xavier Flores García** Director de Infraestructuras y Movilidad Terrestre explicó el Plan Estratégico de Gestión y Mejora continuada de la Generalidad de Cataluña para la red catalana.

La red catalana asciende a más de 6000 kilómetros con una IMD media de 7231 vehículos/día. El plan estratégico contempla actuaciones de eficiencia y eficacia y parte de una visión cero de la seguridad vial. Hay diversos programas definidos con sus objetivos, sus indicadores y con su revisión. Ejemplos de estos son los programas de puentes, el programa de seguridad vial, el de usuarios vulnerables, el de separadores de flujo, el de eficiencia energética o el de protección acústica.

**Pablo Pérez de Villar** en su ponencia, puso de relieve el sistema concesional como alternativa de gestión frente al modelo tradicional de provisión de infraestructuras. Destacó que las empresas de nuestro país son referente internacional y que en España alrededor de un tercio de todas las vías de gran capacidad son concesiones. Después se centró en los contratos de autovías de primera generación del Ministerio de Fomento explicando las ventajas e inconvenientes del sistema. Subrayó que probablemente los ejes cubiertos por estos contratos no se encontrarían en tan buen estado como ahora si no se hubieran licitado a través del modelo concesional, especialmente por teniendo en cuenta la coyuntura. En cuanto a los retos a afrontar destacó la puesta en práctica de los indicadores de estado y calidad de servicio, que implican correcciones al alza y a la baja en las retribuciones a las sociedades concesionarias. Sobre este tema, Pablo Pérez de Villar señaló que el desafío debe aprovecharse como una oportunidad de mejora, tal y como lo está haciendo el Ministerio en coordinación con el CEDEX para una mejor aplicación de los indicado-

res. Finalmente mostró ejemplos de buenas prácticas llevadas a cabo y facilitadas por tratarse de concesiones.

**Carmen Sánchez Sanz**, Subdirectora General de Conservación, explicó las novedades en materia de seguridad y salud incluidas en los pliegos de conservación.

Si bien no se han producido novedades legislativas al respecto, sí se han redactado guías y recomendaciones por parte del INSHT, que aclaran y concretan su aplicación en los contratos de conservación integral, y que constituyen la necesidad de aplicar en los contratos de conservación integral las determinaciones del Real Decreto 1627/1997. Las conservaciones integrales no son obras y no tienen por lo tanto Estudio de Seguridad y Salud ni Plan derivado del mismo. Sería una situación asimilable a la de las obras sin proyecto.

En su ponencia destacó que consultando con expertos se ha determinado que la aplicación del Real Decreto pasa por la redacción, por parte de la Administración, de un documento denominado de información preventiva, que se entregará por parte del Director del Contrato. El adjudicatario estará obligado a realizar o redactar un documento de gestión preventiva que se parecerá en su contenido a los actuales Planes de Seguridad y Salud.

El documento de información preventiva incluirá entre otros la determinación de los riesgos y la coordinación de actividades empresariales.

Los nuevos pliegos a licitar en 2016 ya llevan incorporadas estas modificaciones.

Indicó que para facilitar el trabajo de los Directores de Contratos, se ha redactado un borrador de documento de información preventiva, que se someterá a comentarios de las Demarcaciones, y que habrá que particularizar para cada sector de conservación.

## SESIÓN VII - COMUNICACIONES LIBRES

Se han presentado cinco comunicaciones libres

**Andres Costa** de Elsan ha hablado de las mezclas especiales tipo SMA y ultra-delgadas que Elsan ha desarrollado y que está aplicando en la actualidad. Son mezclas de altísima calidad, cuya durabilidad esperada es muy superior a las rodaduras actuales con un costo algo inferior.

**Antonio José Pérez Martínez** de la empresa CHM ha explicado un sistema novedoso para mejorar la adherencia en carreteras existentes a través de un proceso denominado microincrustación de determinados áridos en el firme. El sistema, patentado por la empresa, consiste en incrustar unos áridos de alta calidad y alto CPA en el firme ya sea nuevo o existente.

Se han realizado dos pruebas, una con capas de rodadura nueva y otra sobre pavimento existente, obteniendo unos resultados muy satisfactorios y con una durabilidad elevada. Además el sistema va permitir valorizar subproductos como el árido 0-2 mm porfídico que se obtiene en los procesos de machaqueo.

**Aquilino Molinero** de CIDAUT nos ha hablado de la necesidad de que los sistemas de contención a aplicar en zona urbana sean sistemas con marcado CE y que hayan sido ensayados previamente. Se ha observado que en los sistemas actuales que se utilizan en zona urbana cuando se han ensayado se han obtenido resultados no satisfactorios

**Julia Pascual Balea** de ALAUDA nos ha hablado de la aplicación SIG-CAR, y de su objetivo y de su disponibilidad prevista a lo largo del tiempo

**Felipe Collazos Arias** nos ha hablado de las diferentes actuaciones realizadas en la demarcación de Cantabria para desprendimientos y tratamiento de taludes, habiéndose utilizado sistemas novedosos muy integrados ambientalmente.

## SESIÓN VIII - MESA REDONDA SOBRE LA OPINIÓN DEL USUARIO Y LA CONSERVACIÓN

También en estas jornadas, se ha dado participación por primera vez a los usuarios de la carretera mediante el sistema de mesa redonda.

La mesa redonda ha estado constituida por Mario Arnaldo, de Automovilistas Unidos Europeos, Javier Moscoso Teniente Coronel de la Guardia Civil, Francisco Luis Córdoba de la prensa local cordobesa, y Pablo Sáez Villar de ACEX, asociación de empresas de conservación y explotación, no habiendo podido asistir por imposibilidad los representantes del RACE y de ANFAC.

La opinión de la mesa redonda y las conclusiones han sido que disponemos de una red de carreteras muy buena y muy superior a las de otros países europeos pero que es necesario mantener y conservar.

Se está produciendo un repunte de los accidentes en carreteras convencionales y es conveniente reforzar la señalización, mejorar los márgenes etc.

Se observa que la mayor parte de las víctimas mortales se producen por salidas de vía y por colisiones frontales. Es necesario pues mejorar los márgenes de la carretera y evitar los adelantamientos en carreteras convencionales

## SESIÓN IX - VIALIDAD INVERNAL

**Ángel Sánchez Vicente** insistió en su ponencia en la importancia de los tratamientos preventivos, en que es un error muy grave ahorrar en fundentes para no dañar los firmes y las estructuras, en seguir el planteamiento de otras Administraciones Europeas informando a los usuarios de los medios disponibles y del estado probable en que encontrarán las carreteras y que sean ellos quienes decidan qué hacer, en los problemas a resolver sobre la coordinación con Tráfico y en elaborar con detalle los

planes operativos replanteándolos después de un temporal si se han producido situaciones graves, en particular bloqueos.

**Juan Barios Baquero** ha dado un repaso al Congreso de Vialidad Invernal celebrado en Andorra el año 2014, en el que se produjeron 152 comunicaciones y 177 sesiones poster

Ha comentado los temas de las sesiones, que van desde el cambio climático (que era una novedad en este congreso) hasta la mejora en la eficiencia del uso de fundentes y de la maquinaria de vialidad invernal.

También se trató en este congreso de forma específica la afección de los tratamientos de vialidad invernal a los elementos estructurales.

En este congreso se presentaron determinados materiales muy novedosos como los firmes antihielo, consistentes en disponer de una flexibilidad que permite la rotura de la capa de hielo al paso de los vehículos.

El próximo congreso está previsto para el año 2018 en Polonia

**Álvaro Navareño Rojo** nos ha hablado de la influencia de los fundentes en las estructuras

Ha puesto ejemplos de daños en viaductos debidos al ciclo congelación-deshielo y a los fundentes.

Comenta que se han hecho ensayos de congelación-deshielo en el hormigón en aplicación de la norma UNE 12390-9:2008. Se han realizado probetas en laboratorio y se ha conseguido asimilar el proceso real de congelación-deshielo. Hay diferentes teorías de cómo se desarrolla el proceso de congelación-deshielo, que van desde la teoría de la presión debida al aumento de volumen hasta la de presión osmótica y por último la integradora termodinámica

Como conclusiones obtenidas se observa que la existencia de firme en las estructuras retarda la aparición del daño y que cuanto más impermeable es un firme mejor es el resultado. También se ha observado que los hormigones antiguos son mucho más susceptibles de ser afectados



Mesa de Clausura compuesta por, de izquierda a derecha, D. Vicente Vilanova, D. Pablo Sáez, D. Jesús Huertas García, D. Jorge Urrecho Corrales, D.ª M.ª del Carmen Sánchez Sanz y D. Luis Alberto Solís Villa.

por el efecto congelación-deshielo que los modernos.

**Gonzalo Arias Hoffman** de INES CONSULTORES habló de la protección de los tableros en las estructuras. Habló de protecciones para mejorar el drenaje mediante la disposición de gárgolas y de la importancia de la impermeabilización en los tableros. Mencionó los tipos existentes en impermeabilización, que van desde las membranas líquidas, las láminas asfálticas, los morteros, las resinas epoxi-brea y otro tipo de láminas, y de los requisitos necesarios para su ejecución. Es muy importante que la ejecución se realice de forma muy esmerada y controlada, para evitar futuros problemas que no pueden ser resueltos a posteriori sin incurrir en grandes gastos.

**Luis Azcue Rodríguez** comentó la campaña de vialidad invernal 2014-2015

Habló de diversos proyectos existentes en la Subdirección, como la encomienda de gestión al CEDEX para estudiar los tipos de fundentes, así como la ayuda inteligente a la toma de decisiones a la vialidad invernal.

Se ha analizado la campaña pasada y en la actualidad existen 1273

quitanieves con una capacidad de almacenamiento de fundentes de 236 000 toneladas. En cuanto a la campaña en sí se han producido 693 incidencias y el coste de la campaña ha ascendido a 65 millones de euros.

Los consumos de la campaña 2014-2015 han sido de 200 000 toneladas de sal y 130 000 m<sup>3</sup> de salmuera. Otras estadísticas por ejemplo que se obtienen de la aplicación WEB de vialidad invernal existente en el Ministerio de Fomento son que han trabajado el 92% de los quitanieves a lo largo de la campaña y el 80% de ellos en tratamientos preventivos. Otro fenómeno que se observa es que se consolida el empleo de salmueras, y como se ha preconizado desde hace ya muchos años en la Dirección General de Carreteras.

Como conclusiones, podemos decir que estas jornadas se han caracterizado por su intensidad, por el alto nivel técnico de sus ponencias y por las numerosas novedades introducidas, destacando entre ellas la participación de las Comunidades Autónomas, la participación de los usuarios de la carretera y las novedades en la gestión de la conservación. ❖

# La ATC convoca el IV Premio Jóvenes Profesionales

La Asociación Técnica de Carreteras (ATC) lanzó a finales del mes de mayo la convocatoria de la cuarta edición del Premio Jóvenes Profesionales. Éste se dirige a todos los profesionales menores de 35 años que trabajan en el sector de la carretera en cualquiera de los campos de interés de la Asociación Técnica de Carreteras y de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC), a la que pertenece como Comité Nacional.

## BASES DEL PREMIO

**P**ara poder optar a esta distinción se requiere tener una edad inferior a 35 años a fecha 1 de enero del presente año, ser socio de la ATC o estar presentado por Socios, Organizaciones o Empresas que lo sean; además se deberá ser español o haber desarrollado, al menos durante los últimos 5 años, la actividad en territorio nacional.

Se entregará un diploma y el premio estará dotado con una gratificación económica de 3000€, una afiliación gratuita durante un año a la Asociación Técnica de Carreteras, y la publicación del trabajo en la Revista RUTAS. El Jurado podrá declararlo desierto o repartir el premio entre varios aspirantes al mismo.

Este Premio valorará trabajos que estén basados en el ejercicio de la actividad profesional de los candidatos quienes, habiendo encontrado un asunto de interés para la comunidad de carreteras y vías urbanas, deciden desarrollarlo y divulgarlo.

Los trabajos deberán estar realizados por un único autor y serán inéditos, es decir, no habrán sido previamente publicados ni presentados a otras convocatorias de premios. Respecto al tamaño, no excederán de 8000 palabras ni de 20 páginas, incluyendo fotos, gráficos y dibujos.

El idioma utilizado en la presentación de los trabajos deberá ser el español.

Los trabajos de los candidatos deberán presentarse antes del 1 de octubre del año en curso, en la Secretaría de la Asociación Técnica de Carreteras (C/ Monte Esquinza, 24, 4º derecha, 28010 Madrid). Cada uno de los trabajos se presentará en sobre cerrado indicando claramente "IV Premio de la ATC para jóvenes profesionales", e irán acompañados del Curriculum Vitae del autor y de una proposición razonada de los méritos que fundamentan la calidad del trabajo en cuestión.

## Jurado

El Jurado estará compuesto por los siguientes miembros de la Junta Directiva:

- El Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras
- Un vocal entre los representantes de los Ministerios de Fomento e Interior
- Uno de los vocales representantes de las Comunidades Autónomas
- Uno de los vocales representantes de los Departamentos universitarios de las Escuelas Técnicas y del Cedex
- Un vocal representante de los socios individuales
- Dos vocales representantes del resto de los socios, no vinculados a las anteriores representaciones mencionadas.

La participación en la convocatoria supone la aceptación de estas bases y la renuncia a cualquier reclamación derivada de su interpretación. Asimismo, el Presidente, hasta la constitución del Jurado, y el Jurado desde su constitución, resolverán todos aquellos aspectos no contemplados en estas bases que pudieran surgir a lo largo del proceso de concesión del premio

## Entrega del Premio

El fallo del Jurado se comunicará a todos los participantes durante el periodo comprendido dentro de los últimos diez días del mes de noviembre; y la entrega del premio se realizará coincidiendo con la fecha en la que se celebre la Junta Directiva de la ATC, correspondiente al mes de diciembre. .

Mas información en nuestra pagina web:  
[www.atc-piarc.com](http://www.atc-piarc.com)

## Composición de la Junta Directiva de la ATC

<b>PRESIDENTE:</b>	- D. Luis Alberto Solís Villa
<b>CO-PRESIDENTES DE HONOR:</b>	- D. Jorge Urrecho Corrales - D.ª María Seguí Gómez
<b>VICEPRESIDENTES:</b>	- D. Carlos Bartolomé Marín - D. Jesús Díaz Minguela
<b>TESORERO:</b>	- D. Pedro Gómez González
<b>DIRECTOR:</b>	- D. Alberto Bardsi Orúe-Echevarría
<b>SECRETARIO:</b>	- D. Pablo Sáez Villar



**Asociación Técnica de Carreteras**  
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



### VOCALES:

- Presidente Saliente:
  - D. Roberto Alberola García
- Designados por el Ministerio de Fomento:
  - D. Carlos Bartolomé Marín
  - D.ª María del Carmen Sánchez Sanz
  - D. Jesús Santamaría Arias
  - D. José Manuel Cendón Albarte
  - D. Jorge Lucas Herranz
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
  - D. Jaime Moreno García-Cano
  - D.ª Ana Isabel Blanco Bergareche
  - D.ª Garbiñe Sáez Molinuevo
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
  - D. Luis Alberto Solís Villa
  - D. José Trigueros Rodrigo
  - D. Xavier Flores García
  - D. José María Pertierra de la Uz
  - D. Carlos Estefanía Angulo
  - D. Juan Carlos Alonso Monge
- Designados por los órganos de la Administración General del Estado con competencia en I+D+i:
  - D. Ángel Castillo Talavera
  - D. Antonio Sánchez Trujillano
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
  - D. Félix Edmundo Pérez Jiménez
- Representantes de las sociedades concesionarias de carreteras:
  - D. Bruno de la Fuente Bitaine
  - D. Rafael Gómez del Río
- Representantes de las empresas de consultoría:
  - D. José Polimón López
  - D. Casimiro Iglesias Pérez
  - D. Juan Antonio Alba Ripoll
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
  - D. Aniceto Zaragoza Ramírez
  - D. Francisco Javier Lucas Ochoa
  - D. Sebastián de la Rica Castedo
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
  - D. Carlos Gasca Cuota
  - D. Juan José Potti Cuervo
  - D. Alejandro Llorente Muñoz
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
  - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados
  - D. Anselmo Soto Pérez
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
  - D. Jesús Díaz Minguela
  - D. Enrique Soler Salcedo
- Entre los Socios de Honor:
  - D. José María Morera Bosch
  - D. Pedro Gómez González
  - D. Francisco Javier Criado Ballesteros
  - D. Sandro Rocci Boccaleri
- Nombrado a propuesta del presidente:
  - D. José Luis Elvira Muñoz

## Comités Técnicos de la ATC

### COMITÉ DE VIALIDAD INVERNAL

- Presidenta	D.ª María del Carmen Sánchez Sanz
- Presidente Adjunto	D. Luis Azcue Rodríguez
- Secretaria	D.ª Lola García Arévalo

### COMITÉ DE FINANCIACIÓN

- Presidente	D. Gerardo Gavilanes Ginerés
- Vicepresidente	D. José María Morera Bosch
- Secretario	D. José A. Sánchez Brazal

### CARRETERAS INTERURBANAS Y TRANSPORTE INTEGRADO INTERURBANO

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

### TÚNELES DE CARRETERAS

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

### CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidenta	D.ª María del Carmen Sánchez Sanz
- Presidente Adjunto	D. Vicente Vilanova Martínez-Falero
- Vicepresidente	D. Pablo Sáez Villar

### FIRMES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Julio José Vaquero García
- Secretario	D. Francisco José Lucas Ochoa

### PUENTES DE CARRETERAS

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

### GEOTECNIA VIAL

- Presidente	D. Fernando Pedraza Majarrez
- 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
--------------	-------------------------------

### CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

- Presidente	D. Andrés Costa Hernández
- Secretaria	D.ª Paloma Corbí Rico

## Socios de la ATC

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

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

### Socios de Honor

D. ENRIQUE BALAGUER CAMPHUIS  
D. JOSÉ LUIS ELVIRA MUÑOZ  
D. FRANCISCO CRIADO BALLESTEROS  
D. SANDRO ROCCI BOCCALERI  
D. JOSÉ MARÍA MORERA BOSCH  
D. LUIS ALBERTO SOLÍS VILLA  
D. JORDI FOLLIA I ALSINA  
D. PEDRO D. GÓMEZ GONZÁLEZ  
D. ROBERTO ALBEROLA GARCÍA

### Socios de Mérito

D. FRANCISCO ACHUTEGUI VIADA  
D. CARLOS OTEO MAZO  
D. ADOLFO GÜELL CANCELADA  
D. ANTONIO MEDINA GIL  
D. CARLOS DELGADO ALONSO-MARTIRENA  
D. ALBERTO BARDESI ORUE-ECHEVARRIA  
D. RAFAEL LÓPEZ GUARGA  
D. ÁLVARO NAVAREÑO ROJO  
D.ª MERCEDES AVIÑÓ BOLINCHES  
D. FEDERICO FERNANDEZ ALONSO  
D. JUSTO BORRAJO SEBASTIÁN  
D. JESÚS RUBIO ALFÉREZ  
D. JESÚS SANTAMARÍA ARIAS  
D. ENRIQUE DAPENA GARCÍA  
D. ROBERTO LLAMAS RUBIO  
D. FÉLIX EDMUNDO PÉREZ JIMÉNEZ

### Socios Protectores y Socios Colectivos

#### Administración General del Estado

- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO
- DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. MINISTERIO DEL INTERIOR
- DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIA. MINISTERIO DEL INTERIOR
- SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. MINISTERIO DE FOMENTO

#### Comunidades Autónomas

- COMUNIDAD DE MADRID
- GENERALITAT DE CATALUNYA
- GOBIERNO DE ARAGÓN, DEPARTAMENTO DE VERTEBRACIÓN DEL TERRITORIO, MOVILIDAD Y VIVIENDA
- GOBIERNO DE CANARIAS
- GOBIERNO DE CANTABRIA
- GOBIERNO DE EXTREMADURA. CONSEJERÍA DE ECONOMÍA E INFRAESTRUCTURAS
- 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
- PRINCIPADO DE ASTURIAS
- XUNTA DE GALICIA. CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE

#### Ayuntamientos

- AYUNTAMIENTO DE BARCELONA
- MADRID CALLE 30

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

- EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE ÁLAVA
- EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE BARCELONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE GIRONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE 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 SEVILLA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALLADOLID
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ZARAGOZA
- CABILDO INSULAR DE TENERIFE
- CABILDO DE GRAN CANARIA
- CONSELL DE MALLORCA. DIRECCIÓN INSULAR DE CARRETERAS

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

- COLEGIO DE INGENIEROS TÉCNICOS DE OBRAS PÚBLICAS E INGENIEROS CIVILES
- 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 NACIONAL DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE OBRA PÚBLICA, AERCO
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASE-METRA
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE AUSCULTACIÓN Y SISTEMAS DE GESTIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURAS, AUSIGETI
- 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.
- AP - 1 EUROPISTAS, CONCESIONARIA DEL ESTADO, S.A.U.
- 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 DE LOS ANDES, S.A. (COVIANDES)
- SACYR CONCESIONES, S.L.
- TÚNEL D'ENVALIRA, S.A.
- TÚNELS DE BARCELONA I CADÍ, CONCESIONARIA DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, S.A.

## Empresas

- 3M ESPAÑA, S.A.
- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- ACCIONA INGENIERÍA, S.A.
- ACENTO INGENIERIA, S.L.
- AECOM INOCSA, S.L.U.
- A. BIANCHINI INGENIERO, S.A.
- ACEINSA MOVILIDAD, S.A.
- AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
- ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
- ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
- ALVAC, S.A.
- API MOVILIDAD, S.A.
- ARCS ESTUDIOS Y SERVICIOS TÉCNICOS, S.L.
- AUDECA, S.L.U.
- AZUL DE REVESTIMIENTOS ANDALUCES, S.A.
- BARNICES VALENTINE, S.A.U.
- BASF CONSTRUCTION CHEMICALS, S.L.
- BETAZUL, S.A.
- CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.
- CEPSA COMERCIAL PETROLEO, S.A.
- CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- COMPOSAN PUENTES Y OBRA CIVIL, S.L.
- CONSERVACIÓN INTEGRAL VIARIA, S.L. (CONSVIA)
- CORSAN - CORVIAM, CONSTRUCCIÓN, S.A.
- CLOTHOS, S.L.
- CYOPSA - SISOCIA, S.A.
- DRAGADOS, S.A.
- DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
- EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS GESTIÓN Y DESARROLLO, S.L.
- ELSAMEX, S.A.
- EMPRESA DE MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LA M-30, S.A. (EMESA)
- ESTEYCO, S.A.P.
- ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.
- EUROCONSULT, S.A.
- EUROESTUDIOS, S.L.
- FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.
- FCC INDUSTRIAL E INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS, S.A.U.
- FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
- FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
- FIBERTEX ELEPHANT ESPAÑA, S.L. SOCIEDAD UNIPERSONAL
- FREYSSINET, S.A.
- GEOCONTROL, S.A.
- GEOTECNIA Y CIMIENTOS, S.A. (GEOCISA)
- GETINSA - PAYMA, S.L.
- GINPROSA INGENIERÍA, S.L.
- GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
- HUESKER GEOSINTÉTICOS, S.A.
- IKUSI - ÁNGEL IGLESIAS, S.A.
- IMPLASER 99, S.L.L.
- INCOPE CONSULTORES, S.L.
- INDRA SISTEMAS, S.A.
- INES INGENIEROS CONSULTORES, S.L.
- INGENIERÍA IDOM INTERNACIONAL, S.A.
- INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A. (INECO)
- INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
- INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
- INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A. (INCOSA)
- KAO CORPORATION, S.A.
- LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.
- MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- OBRAS HERGÓN, S.A.U.
- PADECASA OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
- PAVIMENTOS BARCELONA, S.A. (PABASA)
- PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.
- PROES CONSULTORES, S.A.
- PROSEGUR SOLUCIONES INTEGRALES DE SEGURIDAD ESPAÑA, S.L.
- PUENTES Y CALZADAS INFRAESTRUCTURAS, S.L.U.
- RAUROSZM.COM, S.L.
- REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.
- RETINEO, S.L.
- 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.
- SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)
- SGS TECNOS, S.A.
- TALHER, S.A.
- TALLERES ZITRÓN, S.A.
- TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPASA)
- TECNIVIAL, S.A.
- TECYR CONSTRUCCIONES Y REPARACIONES, S.A. (TECYRSA)
- TELVENT TRÁFICO Y TRANSPORTE, S.A.
- TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.
- TEVASEÑAL, S.A.
- TRABAJOS BITUMINOSOS, S.L.
- ULMA C Y E, SOCIEDAD COOPERATIVA
- VALORIZA CONSERVACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- V.S. INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
- ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

## Socios Individuales

Personas físicas (56) técnicos especialistas de las administraciones públicas; del ámbito universitario; de empresas de ingeniería, construcción, conservación, de suministros y de servicios; de centros de investigación; usuarios de la carretera y de otros campos relacionados con la carretera. Todos ellos actuando en su propio nombre y derecho.

# RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



Asociación Técnica de Carreteras  
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



Si quiere suscribirse por un año a la revista **RUTAS**, en su edición impresa y digital, 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 Fax o por correo postal a la sede de la Asociación:  
**C/ Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha. 28010 Madrid.**

Si quiere anunciarse en **RUTAS** póngase en contacto con nosotros:  
Tel.: 913082318 Fax: 913082319  
**info@atc-piarc.com www.atc-piarc.com**

[http://www.atc-piarc.com/rutas\\_digital.php](http://www.atc-piarc.com/rutas_digital.php)



Para más información:  
puede dirigirse a:  
**Asociación Técnica de Carreteras**  
Tel.: 913082318 Fax: 913082319  
**info@atc-piarc.com**  
**www.atc-piarc.com**

Desde este link [http://www.atc-piarc.com/rutas\\_digital.php](http://www.atc-piarc.com/rutas_digital.php), podrá consultar los artículos de la Revista *Rutas*, así como los de otras publicaciones, Congresos y Jornadas que organiza la ATC

Forma de pago:

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

Transferencia al numero de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa  NIF

Dirección  Teléfono

Ciudad  C.P.  e-mail

Provincia  País

Fecha  Firma

# Nueva página web de la ATC

The screenshot shows the ATC website homepage. At the top, there are logos for ATC (Asociación Técnica de Carreteras) and World Road Association (WORLD ROAD ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE). A navigation bar includes links for ATC, AIPCR/PIARC, Socios ATC, Congresos y formación, Comités técnicos, Revista RUTAS, Publicaciones, and Noticias. A user login area is visible with 'Acceso Cursos On-Line' and an 'ENTRAR' button. A 'Comités técnicos' area shows 'Área privada' and an 'Acceder' button. Two main banners are present: 'INSCRIPCIÓN ABIERTA PARA EL CONGRESO: VI SIMPOSIO DE TÚNELES DE CARRETERA. EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE EN TÚNELES' with an 'Inscripción' button, and 'JORNADAS Y CURSOS ONLINE Y PRESENCIALES' with a 'Más información' button. Below these are two event announcements: 'VI SIMPOSIO DE TÚNELES DE CARRETERA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE TÚNELES ZARAGOZA - 11, 12 y 13 de marzo de 2015' and 'I CONGRESO MULTISECTORIAL DE LA CARRETERA' in Valladolid from May 11-12, 2015, with a 'CAMBIO DE FECHAS' notice.

La Asociación Técnica de Carreteras ha puesto en marcha su nueva página web

<http://www.atc-piarc.com>

con la que queremos continuar siendo una referencia esencial para el sector de las carreteras, contribuir de forma determinante a facilitar la transferencia de tecnología, y al progreso y excelencia de nuestras carreteras y de la ingeniería española

The grid contains eight informational cards:

- ATC:** La ATC desarrolla una intensa labor en la transferencia de tecnología de carreteras y en su difusión.
- AIPCR/PIARC:** La Asociación Mundial de la Carretera fue creada en 1909 y agrupa a más de 140 países de todo el mundo.
- Socios ATC:** La condición de socio de la ATC implica simultáneamente la condición de socio de la Asociación Mundial de la Carretera.
- Congresos y formación:** ATC organiza por propia iniciativa o en cooperación con diversas entidades cursos, jornadas técnicas, simposios, congresos, etc.
- Comités Técnicos:** Están formados por profesionales especialistas en distintos temas del sector de las carreteras y del transporte por carretera.
- Revista RUTAS:** La ATC publica desde 1986 la revista RUTAS, compuesta por artículos técnicos y noticias sobre carreteras y vías de circulación.
- Publicaciones:** Puede comprar los libros que edita la Asociación referentes a jornadas técnicas, simposios, cursos u otros temas de interés para el sector.
- Noticias:** La ATC ofrece de forma gratuita un resumen actualizado de las noticias más relevantes del sector de las carreteras.



# Innovar está en nuestros genes

En Repsol, la innovación forma parte de nuestra esencia. Por eso, en el Centro de Tecnología Repsol, dedicamos todo nuestro esfuerzo a la investigación y desarrollo de asfaltos que hacen nuestras carreteras más seguras, eficientes y sostenibles.



**REPSOL**

*Inventemos el futuro*

Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.  
Más información en [repsol.com](https://www.repsol.com)